

第二次  
世界海洋评估

世界海洋评估二

第一卷



联合国



第二次

# 世界海洋评估

世界海洋评估二

第一卷



联合国

封面图片: Yung-Sen Wu  
联合国世界海洋日图片竞赛

联合国出版物  
eISBN 978-92-1-604010-9

版权 © 联合国2019年  
保留一切权利  
纽约联合国印刷

# 秘书长的序言

过去一年带来了史无前例的挑战。2019冠状病毒病(COVID-19)大流行扰乱了人们的生活和生计,暴露了我们社会的脆弱性。不幸的是,这场大流行病并不是人类面临的唯一危机。气候变化和生物多样性的丧失有增无减,威胁着可持续发展和我们人类作为一个物种的生存能力。当我们观察我们地球的生命维持系统(海洋)的状况时,就发现这些挑战尤为明显。

2015年,《第一次世界海洋评估》就警示,海洋的许多区域已严重退化,对海洋的最大威胁是未能应对人类活动造成的许多压力。而《第二次世界海洋评估》发出的讯息则是,情况并未改善,海洋提供的许多益处都面临风险。《第二次评估》建议,为了确保可持续性,我们必须共同努力改善综合海洋管理,包括通过联合研究、能力发展以及共享数据、信息和技术。

海洋对实现可持续发展目标和维系数以十亿计人的生计起着至关重要的作用。我们迫切需要改变我们与海洋互动的方式。我们应以即将到来的联合国海洋科学促进可持续发展十年和联合国生态系统恢复十年为契机,增进认知,扭转已经造成的损害。《第二次评估》中的信息有助于这一进程,并为定于2021年召开的相关政府间会议提供参考。

我们正努力养护和可持续地管理我们地球的海洋环境,当此之时,我敦促所有领导人和所有利益攸关方注意到《第二次评估》中的警示。让我们开辟一条不仅是绿色的而且是蓝色的复苏之路,从而走出COVID-19大流行疫情的阴影。

安东尼奥·古特雷斯



# 摘要

大会第57/141号和第58/240号决议决定在联合国主持下建立一个经常程序，在现有区域评估的基础上，提交有关海洋环境，包括社会经济方面的现况和前景的全球报告和评估。大会在其第71/257号决议中回顾，经常程序第一周期的范围集中在建立基线，并决定第二周期的范围将扩大到评估趋势和查明差距。经常程序第二周期2017-2020年期间工作方案的一项内容是，由海洋环境状况包括社会经济方面问题全球报告和评估经常程序专家组在《第一次全球海洋综合评估》(《第一次世界海洋评估》)确定的基线基础上编写《第二次世界海洋评估》。大会在其第72/73号决议中决定，专家组应在单一全面评估的基础上开展工作。本文件是专家组根据上述决定编写的。

## 免责声明

本文件由海洋环境状况包括社会经济方面问题全球报告和评估经常程序专家组编写，该专家组对本出版物的内容负责。参加编写《第二次世界海洋评估》的专家组成员和专家库成员系以个人身份撰稿。专家组和专家库的成员不是任何政府或任何其他当局或组织的代表。

本出版物(包括引文、地图和参考书目)中使用的名称，包括地名和材料的呈现并不意味着联合国对任何国家、领土、城市或地区或其当局的名称和法律地位或其边界或划界发表任何意见，也不意味着联合国予以正式认可或接受。本出版物所载源自各国行动和决定的信息并不意味着联合国正式认可、接受或承认这些行动和决定，列入这些信息不影响联合国任何会员国的立场。



# 前言

大会设立海洋环境状况(包括社会经济方面问题)全球报告和评估经常程序的目标是确保全面概述海洋以及海洋与人类之间的关系,涵盖所有环境、社会和经济方面。这样的概述将作为国际、国家和地方各级为追求可持续发展而须在该领域作出的许多决定的一个背景资料。《第一次世界海洋评估》于2015年完成,是朝着这一目标迈出的重要一步。

有了这样一个雄心勃勃的目标,一个必然的结果是,不仅经常程序的第一个产出没有完全涵盖某些方面,而且随着时间的推移,截至2015年所作的评估也需要更新。因此,大会规定进行进一步的全球海洋综合评估,以记录在《第一次评估》提供的基线基础上的新发展,并在可能的情况下显示趋势。2016年,大会决定在2020年底之前编写第二次全面评估。

本卷所载即是《第二次世界海洋评估》。其中提供了关于海洋的各个方面及其与人类关系的更多信息,包括对深海平原和海洋水合物的单独评估,并对《第一次评估》中不同部分分别述及的事项,如鱼类物种状况和海洋基础设施,专章合而论之。

与《第一次评估》一样,本《评估》的出版是一项重大任务,主要是依靠许多领域数百名专家的自愿努力,也得到联合国经常预算的支持。一如既往,海洋环境状况包括社会经济方面问题全球报告和评估经常程序专家组很荣幸组织、参与并最后完成《评估》。秘书处,包括海洋事务和海洋法司、若干国际组织和一些联合国会员国再次提供了至关重要的支持,详见第2章。专家组感谢上述所有人士和机构的支持,但根据大会核准的职权范围和工作方法,专家组对最后文本负有最终责任。

文本的大部分是在冠状病毒病(COVID-19)大流行爆发前撰写的。有些撰稿人(例如,在第8A章关于渔业、航运和旅游业的各节中)提到了这场大流行病的一些效应,但疫情对人类与海洋互动的全部影响仍在研究中,需要在经常程序的第三周期中进行充分探讨。然而,海洋及其提供的服务将在疫后恢复过程中发挥重要作用。希望本《评估》中的信息将有助于这一过程。

与《第一次评估》一样,根据大会核准的指导方针,本文件不包含任何政策分析或建议。因此,应由各国政府和国际主管当局根据在经常程序下所作评估决定采取何种行动。

经常程序专家组联合协调人  
雷尼森·鲁瓦和艾伦·西姆科克

经常程序专家组成员(协助联合协调人)  
约恩·施密特



# 目录

## 第一卷

	页码
秘书长的序言 .....	iii
摘要 .....	v
前言 .....	vii
<b>第一部分 摘要 .....</b>	<b>1</b>
<b>第 1 章 总体摘要 .....</b>	<b>3</b>
主旨要点 .....	5
1. 导言 .....	5
2. 驱动因素 .....	6
3. 清理海洋 .....	6
4. 保护海洋生态系统 .....	8
5. 了解海洋, 实现可持续管理 .....	10
6. 从海洋促进安全 .....	12
7. 来自海洋的可持续粮食 .....	13
8. 海洋的可持续经济利用 .....	14
9. 有效实施《联合国海洋法公约》所体现的国际法 .....	16
<b>第二部分 导言 .....</b>	<b>27</b>
<b>第 2 章 评估方法 .....</b>	<b>29</b>
主旨要点 .....	31
1. 《第二次世界海洋评估》的目的 .....	31
2. 《第二次世界海洋评估》的主要目标读者和框架 .....	32
3. 《第二次世界海洋评估》的编写 .....	32
4. 术语 .....	33
5. 鸣谢 .....	33
参考资料 .....	34
<b>第 3 章 科学认识海洋 .....</b>	<b>35</b>
主旨要点 .....	37
1. 导言 .....	37

	页码
2. 描述自《第一次世界海洋评估》以来数据、技术和模型的变化及其对整体认识的影响, 包括社会经济影响.....	37
3. 各区域的关键变化和后果.....	38
4. 科学认识海洋的前景.....	42
5. 知识方面仍然存在的主要差距.....	42
6. 能力建设方面仍然存在的主要差距.....	43
参考资料.....	43
<b>第三部分 海洋环境变化的驱动因素.....</b>	<b>49</b>
<b>第4章 驱动因素.....</b>	<b>51</b>
主旨要点.....	53
1. 导言.....	53
2. 海洋环境变化的驱动因素.....	54
3. 与驱动因素相关的关键区域特定问题或方面.....	57
4. 展望.....	58
5. 知识和能力建设方面仍然存在的主要差距.....	59
参考资料.....	60
<b>第四部分 海洋环境的现状与趋势.....</b>	<b>63</b>
<b>第5章 海洋物理化学状况方面的趋势.....</b>	<b>65</b>
主旨要点.....	67
1. 导言.....	67
2. 海洋的物理化学状况.....	68
3. 知识差距.....	78
4. 概要.....	79
参考资料.....	80
<b>第6章 海洋生物主要分类群的生物多样性趋势.....</b>	<b>89</b>
导言.....	91
<b>第6A章 浮游生物(浮游植物、浮游动物、微生物和病毒).....</b>	<b>93</b>
主旨要点.....	95
1. 导言.....	95
2. 《第一次世界海洋评估》第6章摘要.....	96
3. 本《评估》的目标区域.....	96
4. 浮游生物多样性估算.....	97
5. 浮游微生物.....	98
6. 后生浮游动物.....	100

	页码
7. 记录的趋势.....	101
8. 展望.....	104
参考资料.....	104
第 6B 章 海洋无脊椎动物.....	117
主旨要点.....	119
1. 导言.....	119
2. 《第一次世界海洋评估》所记录情况摘要.....	119
3. 环境变化的描述(2010—2020年).....	120
4. 国际和政府的应对措施.....	125
5. 相关可持续发展目标的实现情况 和对爱知生物多样性目标11的贡献.....	127
6. 知识和能力建设方面仍然存在的主要差距.....	127
参考资料.....	127
海洋环境状况(包括社会经济方面问题)全球报告和评估经常程序专家组的增编.....	132
参考资料.....	132
第 6C 章 鱼类.....	135
主旨要点.....	137
1. 导言.....	137
2. 鱼类生物多样性状况有案可查的变化.....	138
3. 生物多样性变化对人类社区、经济和福祉的影响.....	141
4. 特定区域的主要变化和后果.....	141
5. 展望.....	143
参考资料.....	144
第 6D 章 海洋哺乳动物.....	149
主旨要点.....	151
1. 导言.....	151
2. 鲸目动物.....	153
3. 鳍脚类动物.....	155
4. 海牛类.....	156
5. 水獭和北极熊.....	156
6. 变化对人类社区、经济和福祉的影响.....	157
7. 展望.....	158
8. 知识方面仍然存在的主要差距.....	158
9. 能力建设方面仍然存在的主要差距.....	159
参考资料.....	159

	页码
第 6E 章 海洋爬行动物.....	165
主旨要点.....	167
1. 导言.....	167
2. 海洋爬行动物的养护状况.....	167
3. 区域趋势.....	169
4. 威胁.....	171
5. 海洋爬行动物种群变化的经济和社会后果.....	172
6. 知识和能力建设方面的主要差距.....	172
参考资料.....	173
第 6F 章 海鸟.....	179
主旨要点.....	181
1. 导言.....	181
2. 环境变化说明(2010-2020年).....	181
3. 海鸟种群变化对人类社区、经济和福祉的影响.....	184
4. 展望.....	184
5. 知识方面的主要差距.....	186
6. 能力建设方面的主要差距.....	186
参考资料.....	186
第 6G 章 海生植物和大型藻类.....	191
主旨要点.....	193
1. 导言.....	193
2. 红树属植物.....	193
3. 盐沼植物.....	195
4. 海草.....	195
5. 大型藻类.....	197
6. 这些变化对人类社区、经济和福祉的影响.....	203
7. 知识和能力建设方面仍然存在的主要差距.....	204
8. 展望.....	204
参考资料.....	205
第 7 章 海洋生境生物多样性状况的趋势.....	213
导言.....	215
第 7A 章 潮间带.....	217
主旨要点.....	219
1. 导言.....	219

	页码
2. 2010-2020年间环境变化介绍.....	220
3. 经济和社会影响.....	222
4. 特定区域的关键变化和后果.....	222
5. 展望.....	223
6. 知识方面仍然存在的主要差距.....	223
7. 能力建设方面仍然存在的主要差距.....	224
参考资料.....	224
第 7B 章 生物礁及砂质、泥质和岩质海岸附着基.....	227
主旨要点.....	229
1. 导言.....	229
2. 记录在案的生物礁及砂质、泥质和岩质海岸附着基的状况变化.....	231
3. 变化对人类社区、经济和福祉的影响.....	234
4. 特定区域的关键变化和后果.....	235
5. 展望.....	237
6. 知识和能力建设方面仍然存在的主要差距.....	237
参考资料.....	238
第 7C 章 环礁和岛屿泻湖.....	245
主旨要点.....	247
1. 导言.....	247
2. 环礁和岛屿泻湖状况方面有记录可查的变化.....	248
3. 变化对人类社区、经济和福祉造成的后果.....	250
4. 特定区域的主要变化及其后果.....	251
5. 展望.....	251
6. 知识方面仍然存在的主要差距.....	252
7. 能力建设方面仍然存在的主要差距.....	252
参考资料.....	253
第 7D 章 热带和亚热带珊瑚礁.....	259
主旨要点.....	261
1. 导言.....	261
2. 2010-2020年期间环境变化情况介绍.....	261
3. 经济和社会后果及(或)其他经济或社会变化介绍.....	262
4. 特定区域的主要变化及后果.....	263
5. 展望.....	264
6. 知识方面仍然存在的主要差距.....	265
7. 能力建设方面仍然存在的主要差距.....	266

	页码
参考资料.....	266
第 7E 章 冷水珊瑚.....	273
主旨要点.....	275
1. 导言和《第一次世界海洋评估》摘要.....	275
2. 2010-2020年之间的环境变化说明.....	276
3. 经济和社会影响.....	280
4. 特定区域的主要变化和影响.....	281
5. 展望.....	281
6. 知识方面仍然存在的主要差距.....	281
7. 能力建设方面仍然存在的主要差距.....	282
参考资料.....	283
第 7F 章 河口和三角洲.....	289
主旨要点.....	291
1. 导言.....	291
2. 记录显示的河口和三角洲状态变化情况.....	291
3. 变化对人类社区、经济和福祉的影响.....	293
4. 特定区域的主要变化和影响.....	294
5. 展望.....	295
6. 知识和能力建设方面仍然存在的主要差距.....	295
参考资料.....	296
第 7G 章 海草场.....	301
主旨要点.....	303
1. 导言.....	303
2. 社会经济后果.....	304
3. 区域特有风险.....	305
4. 展望.....	305
5. 知识方面仍然存在的主要差距.....	306
6. 能力建设方面仍然存在的差距.....	306
参考资料.....	308
第 7H 章 红树林.....	311
主旨要点.....	313
1. 导言.....	313
2. 2010-2020年间红树林状态记录在案的变化.....	314
3. 这些变化对人类社区、经济和福祉的影响.....	315

	页码
4. 区域特有的主要变化和后果 .....	316
5. 展望 .....	317
6. 知识和能力建设方面仍然存在的主要差距 .....	317
参考资料 .....	318
第 7I 章 盐沼 .....	325
主旨要点 .....	327
1. 导言 .....	327
2. 2010-2020年期间环境变化说明 .....	328
3. 这些变化对人类社区、经济和福祉的影响 .....	329
4. 特定区域的主要变化和后果 .....	329
5. 展望 .....	330
6. 知识方面仍然存在的主要差距 .....	330
7. 能力建设方面仍然存在的主要差距 .....	331
参考资料 .....	331
第 7J 章 大陆坡和海底峡谷 .....	337
主旨要点 .....	339
1. 导言 .....	339
2. 对大陆坡和海底峡谷的认知发展情况 .....	341
3. 大陆坡和海底峡谷的生态系统服务和惠益 .....	345
4. 人类影响 .....	346
5. 知识方面仍然存在的主要差距 .....	346
6. 能力建设方面仍然存在的主要差距 .....	347
参考资料 .....	348
第 7K 章 高纬度海冰 .....	361
主旨要点 .....	363
1. 导言 .....	363
2. 2010-2020年之间的环境变化介绍 .....	363
3. 经济及社会影响 .....	367
4. 展望 .....	368
5. 知识和能力建设方面仍然存在的主要差距 .....	368
参考资料 .....	369
第 7L 章 海山和尖礁 .....	375
主旨要点 .....	377
1. 导言 .....	377

	页码
2. 2010-2020年之间的知识变化介绍.....	377
3. 对经济和社会变化的描述.....	378
4. 近年来对具体区域的主要研究.....	379
5. 展望.....	380
6. 知识方面仍然存在的主要差距.....	381
7. 能力建设方面仍然存在的主要差距.....	382
参考资料.....	382
第 7M 章 深海平原.....	389
主旨要点.....	391
1. 导言.....	391
2. 基线转移和深渊带生物多样性现状和变化的记录情况.....	392
3. 主要自然压力和人为压力.....	398
4. 变化对人类社区、经济和福祉的影响.....	401
5. 展望.....	401
6. 知识方面仍然存在的主要差距.....	401
参考资料.....	402
第 7N 章 开阔洋.....	411
主旨要点.....	413
1. 导言.....	413
2. 2010年以来开阔洋的环境变化.....	414
3. 上述变化给人类社区、经济和福祉带来的后果.....	417
4. 特定区域的主要变化和后果.....	418
5. 前景.....	419
6. 知识方面仍然存在的主要差距.....	419
7. 能力建设方面仍然存在的主要差距.....	419
参考资料.....	419
第 7O 章 海脊、海台和海沟.....	425
主旨要点.....	427
1. 《第一次世界海洋评估》介绍与综述.....	427
2. 对2010-2020年期间环境变化的描述.....	428
3. 对2010-2020年期间经济和社会变化的描述.....	431
4. 特定领域的主要变化和后果.....	433
5. 展望.....	434
6. 知识方面仍然存在的主要差距.....	434
7. 能力建设方面仍然存在的主要差距.....	435

	页码
参考资料 .....	435
第 7P 章 热液喷口与冷渗漏 .....	441
主旨要点 .....	443
1. 导言 .....	443
2. 《第一次世界海洋评估》以来的环境变化 .....	445
3. 经济和社会后果 .....	447
4. 区域特定的主要变化和后果 .....	448
5. 展望 .....	449
6. 知识方面仍然存在的主要差距 .....	450
7. 能力建设方面仍然存在的主要差距 .....	450
参考资料 .....	450
第 7Q 章 马尾藻海 .....	457
主旨要点 .....	459
1. 导言 .....	459
2. 状态的改变 .....	460
3. 体制安排 .....	462
4. 变化的后果 .....	463
5. 展望 .....	463
参考资料 .....	464
<b>第二卷</b>	
第 8 章 人类社会与海洋关系状况的趋势 .....	1
第 8A 章 沿海社区和海洋产业 .....	3
主旨要点 .....	5
1. 导言 .....	5
2. 沿海社区 .....	5
3. 捕鱼业、贝类捕捞和水产养殖 .....	8
4. 航运业 .....	9
5. 海底采矿 .....	12
6. 近海碳氢化合物 .....	12
7. 旅游和娱乐 .....	12
8. 海洋遗传资源 .....	17
9. 海洋可再生能源 .....	17
10. 海水淡化 .....	17

	页码
11. 制盐 .....	18
12. 知识和能力建设方面的主要差距 .....	18
13. 展望 .....	19
参考资料.....	20
<b>第 8B 章 海洋对人类健康的影响 .....</b>	<b>27</b>
主旨要点.....	29
1. 导言 .....	29
2. 关于人类健康和海洋之间关系的一般性方面.....	29
3. 沿海社区相对于内陆社区的健康状况.....	33
4. 因暴露于受污染海水而造成的影响.....	34
5. 海洋食品给人类健康带来的问题 .....	35
6. 知识和能力建设方面仍然存在的主要差距 .....	37
7. 展望 .....	38
参考资料.....	38
<b>第五部分 海洋环境所面临压力的趋势 .....</b>	<b>47</b>
<b>第 9 章 气候和大气变化产生的压力 .....</b>	<b>49</b>
主旨要点.....	51
1. 导言 .....	51
2. 气候压力: 极端气候事件和海洋物理化学状况变化带来的压力 .....	52
3. 能力建设: 全球海洋酸化监测网络和全球海洋氧气网络 .....	58
4. 总结 .....	59
参考资料.....	60
<b>第 10 章 海洋环境营养物输入的变化.....</b>	<b>67</b>
主旨要点.....	69
1. 导言 .....	69
2. 《第一次世界海洋评估》报告的情况.....	70
3. 全球范围的模式和趋势 .....	71
4. 区域内的模式和趋势 .....	73
5. 展望 .....	78
参考资料.....	78
<b>第 11 章 自陆地(含地下水)、船舶和海上设施进入海洋环境的液体和大气输入物的变化 .....</b>	<b>87</b>
主旨要点.....	89
1. 导言 .....	89
2. 《第一次世界海洋评估》记录的情况.....	90

	页码
3. 持久性有机污染物, 包括因使用农用杀虫剂而导致的径流 .....	90
4. 金属 .....	96
5. 放射性物质 .....	103
6. 药品与个人护理品 .....	107
7. 大气污染物(氮氧化物、硫氧化物) .....	110
8. 来自土地、船舶和海上设施(包括溢漏和排放的应对安排)的碳氢化合物 .....	111
9. 海上设施使用 and 排放的其他物质 .....	113
10. 与可持续发展目标的关系 .....	113
11. 关键知识方面仍然存在的主要差距 .....	114
12. 能力建设方面仍然存在的主要差距 .....	115
参考资料 .....	116
<b>第 12 章 除疏浚物外的固体废物在海洋环境中的输入和分布情况变化 .....</b>	<b>129</b>
主旨要点 .....	131
1. 产生海洋废弃物、包括塑料、废弃渔具、微颗粒和纳米颗粒的活动, 以及对陆地、船舶和海上设施的来源估计 .....	131
2. 海洋倾倒, 包括船舶垃圾和污水污泥 .....	146
参考资料 .....	150
<b>第 13 章 侵蚀和沉积的变化 .....</b>	<b>157</b>
主旨要点 .....	159
1. 导言 .....	159
2. 海岸侵蚀和沉积状态的变化 .....	159
3. 变化对人类社区、经济和福祉的影响 .....	163
4. 具体区域的主要变化和影响 .....	163
5. 展望 .....	164
6. 知识和能力建设方面仍然存在的主要差距 .....	165
参考资料 .....	165
<b>第 14 章 沿海和海洋基础设施的变化 .....</b>	<b>171</b>
主旨要点 .....	173
1. 导言 .....	173
2. 海洋和沿海基础设施状况记录在案的变化 .....	173
3. 变化对人类社区、经济和福祉的影响 .....	175
4. 具体区域的主要变化和影响 .....	176
5. 展望 .....	178
6. 知识和能力建设方面仍然存在的主要差距 .....	178
参考资料 .....	179

	页码
<b>第 15 章 捕捞渔业和捕捞海洋野生无脊椎动物方面的变化</b> .....	<b>183</b>
主旨要点.....	185
1. 导言.....	185
2. 渔获上岸量差异、可持续发展目标和小规模渔业.....	187
3. 无脊椎动物上岸量.....	191
4. 兼捕渔获物水平和带来的影响.....	191
5. 捕捞后鱼类损失.....	191
6. 渔业资源增殖的潜力.....	192
7. 农业和水产养殖中的海洋蛋白质和油类.....	192
8. 非法、未报告和无管制捕捞活动.....	192
9. 展望.....	193
10. 主要的知识差距.....	194
11. 主要的能力建设差距.....	194
参考资料.....	194
<b>第 16 章 水产养殖的变化</b> .....	<b>201</b>
主旨要点.....	203
1. 现状和主要改进之处.....	203
2. 水产养殖业与环境.....	205
3. 水产养殖业与社会.....	206
4. 知识方面仍然存在的主要差距.....	206
5. 能力建设方面仍然存在的主要差距.....	207
6. 展望.....	207
参考资料.....	208
<b>第 17 章 海藻收捞和利用的变化</b> .....	<b>211</b>
主旨要点.....	213
1. 导言.....	213
2. 记录的海藻生产和使用状况的变化(2012-2017年).....	214
3. 海藻收捞和使用的变化对社区、经济和福祉的影响.....	216
4. 关键区域特有的变化和后果.....	216
5. 展望.....	216
6. 知识和能力建设方面仍然存在的主要差距.....	217
参考资料.....	217
<b>第 18 章 海底采矿的变化</b> .....	<b>219</b>
主旨要点.....	221

	页码
1. 导言 .....	221
2. 海底采矿规模和意义的变化 .....	223
3. 环境方面 .....	228
4. 经济和社会影响 .....	232
5. 能力建设需求 .....	234
参考资料 .....	235
<b>第 19 章 油气勘探开采方面的变化 .....</b>	<b>239</b>
主旨要点 .....	241
1. 导言 .....	241
2. 近海油气勘探、生产和退役情况 .....	242
3. 海上油气勘探、生产和退役的经济、社会和环境方面的问题 .....	244
4. 知识和能力建设方面的主要差距 .....	246
5. 近海油气行业在促进海洋可再生能源行业方面的作用 .....	247
6. 结论 .....	247
参考资料 .....	248
<b>第 20 章 输入海洋环境的人为噪声的趋势 .....</b>	<b>251</b>
主旨要点 .....	253
1. 导言 .....	253
2. 环境状况说明 .....	254
3. 经济和社会影响以及其他经济或社会变化说明 .....	259
4. 具体区域的主要变化和影响 .....	259
5. 展望 .....	260
6. 知识方面仍然存在的主要差距 .....	262
7. 能力建设方面仍然存在的主要差距 .....	262
参考资料 .....	263
<b>第 21 章 可再生能源的发展 .....</b>	<b>271</b>
主旨要点 .....	273
1. 导言 .....	273
2. 全球一级海洋可再生能源状况 .....	273
3. 发展海洋可再生能源的潜在环境影响 .....	277
4. 发展海洋可再生能源的社会经济效益和影响 .....	280
5. 知识和能力建设方面仍然存在的主要差距 .....	281
6. 预期的未来趋势 .....	282
参考资料 .....	283

	页码
<b>第 22 章 入侵物种</b> .....	<b>289</b>
主旨要点.....	291
1. 导言.....	291
2. 记录的非本地物种基线和变化情况.....	292
3. 人类社区、经济和福祉受到的影响.....	293
4. 关键的区域性基线、变化和后果.....	294
5. 前景.....	298
6. 其他.....	299
参考资料.....	300
<b>第 23 章 海洋遗传资源的勘探和利用情况</b> .....	<b>307</b>
主旨要点.....	309
1. 导言.....	309
2. 2010-2020年的趋势.....	310
3. 经济社会影响及变化.....	312
4. 具体区域在知识上取得的主要发展及其影响.....	313
5. 能力建设差距.....	314
6. 方法上的挑战和未来趋势.....	315
7. 海洋遗传资源和可持续发展目标.....	316
参考资料.....	316
<b>第 24 章 海洋水合物——一个可能出现的新问题</b> .....	<b>321</b>
主旨要点.....	323
1. 导言.....	323
2. 什么是海洋水合物?.....	323
3. 海洋甲烷水合物的潜在风险.....	325
4. 作为能源来源的海洋水合物.....	327
5. 关键知识和能力建设差距.....	328
6. 展望.....	328
参考资料.....	328
<b>第 25 章 积累效应</b> .....	<b>333</b>
主旨要点.....	335
1. 导言.....	335
2. 积累效应评估.....	336
3. 海洋环境积累效应评估的区域应用: 分布和方法.....	338
4. 展望.....	342

	页码
参考资料.....	347
<b>第六部分 海洋环境管理方法的趋势 .....</b>	<b>355</b>
<b>第 26 章 海洋空间规划的发展动态.....</b>	<b>357</b>
主旨要点.....	359
1. 导言 .....	359
2. 海洋空间规划类型.....	359
3. 海洋空间规划: 循序渐进走向生态系统管理 .....	360
4. 海洋空间规划工具.....	361
5. 海洋空间规划实施进展 .....	362
参考资料.....	366
<b>第 27 章 管理方法的发展.....</b>	<b>371</b>
主旨要点.....	373
1. 导言 .....	373
2. 管理方法.....	374
3. 海洋管理方法的进展 .....	377
4. 支持缓解和适应气候变化的管理工具, 包括复原力建设 .....	384
5. 区域特有的关键问题 .....	385
6. 能力建设.....	386
7. 差距和未来前景.....	387
8. 展望 .....	388
参考资料.....	388
<b>第 28 章 认识海洋对人类的总体惠益方面的发展动态 .....</b>	<b>395</b>
主旨要点.....	397
1. 导言 .....	397
2. 惠益及其分布情况 .....	400
3. 对人类的非惠益.....	401
4. 海洋生态系统服务面临的威胁.....	401
5. 通过区域和国际合作以及更好地实施《联合国海洋法公约》所体现的国际法来 维护海洋惠益.....	401
参考资料.....	403
<b>附件 .....</b>	<b>409</b>
附件一 经主席团核准的编写小组初始成员.....	411
附件二 为各章提名的同行评审员 .....	419



# 第一部分

## 摘要



# 第1章

# 总体摘要

撰稿人：Maria João Bebianno、Hilconida Calumpang、Sanae Chiba、Karen Evans、Carlos Garcia-Soto、Osman Keh Kamara、Enrique Marschoff、Essam Yassin Mohammed、Henn Ojaveer、Chul Park、Ylenia Randrianarisoa、Renison Ruwa、Jörn Schmidt、Alan Simcock、Anastasia Strati、Joshua T. Tuhumwire、Ca Thanh Vu、王菊英和Tymon Zielinski (海洋环境状况(包括社会经济方面问题)全球报告和评估经常程序专家组)。



## 主旨要点

- 对海洋的了解继续加深。传感器和自主观察台的创新大大增加了海洋的观测。区域观察方案扩大, 协调和一体化程度加强。
- 自《第一次世界海洋评估》<sup>1</sup>以来, 一些旨在缓解或减少各种压力及其对海洋相关影响的对策有所改善。这些对策包括扩大和实施养护海洋环境的管理框架, 包括建立海洋保护区, 以及在一些地区改善对污染和捕捞活动的管理。然而, 来自人类活动的许多压力继续造成海洋退化, 包括红树林和珊瑚礁等重要生境的退化。这些压力包括: 与气候变化相关的压力; 不可持续的捕捞活动, 包括非法、未报告和无人管制的捕捞; 外来入侵物种的引入; 造成酸化和富营养化的大气污染; 营养物质和有害物质, 包括塑料、微塑料和纳米塑料的过量流入; 不断增加的人为噪声; 管理不善的沿海开发和自然资源开采。
- 仍然缺乏对这些压力的影响及其积累效应的量化。人类对海岸和海洋的利用普遍没有实现综合管理, 这给人们从海洋中所获利益增加了风险, 这些利益包括食品安全和粮食安全、物料供应、人类健康和福祉、海岸安全和关键生态系统服务的维护等。
- 为确保可持续性而加强对人类对海洋的利用的管理, 需要改善协调与合作, 以期向缺乏能力的地区提供能力建设, 创新海洋技术, 整合多学科观测系统, 实施综合管理和规划以及改善海洋知识和技术的获取和交流。
- 冠状病毒病(COVID-19)大流行正在对人类在海洋上开展的许多活动产生重大影响。这一大流行病对人类与海洋之间互动的全面影响仍有待充分评估。

## 1. 导言

海洋覆盖地球表面的70%以上, 构成生物圈的95%。海洋的变化驱动着影响陆地和海洋生态系统的天气系统。海洋及其生态系统还为全球社会带来了重大利益, 包括气候调节、海岸保护、粮食、就业、娱乐和文化福祉。这些利益在很大程度上依赖于对海洋进程、海洋生物多样性和相关生态系统服务的维护。

出于对不断恶化的海洋状况的关切, 联合国会员国通过大会设立了海洋环境状况(包括社会经济方面问题)全球报告和评估经常程序。经常程序的目的是对全球海洋状况、全球海洋提供的服务和影响全球海洋状况的人类活动进行评估。《第一次世界海洋评估》于2015年完成。《第一次评估》得出的结论是, 海洋的许多部分已经严重退化, 并且如果评估所描述的问题得不到解决, 这些问题将产生一个破坏性的退化循环, 导致海洋无法再提

供人类赖以生存的许多惠益。编写了三份针对具体进程的技术摘要, 扼要介绍了《第一次世界海洋评估》中与气候变化、国家管辖范围以外区域的生物多样性和可持续发展目标14 (水下生物)(见大会第70/1号决议)有关的内容, 这是为经常程序第二周期确定的工作的组成部分。

《第二次世界海洋评估》考虑到了自2015年以来已知的发展和变化, 更新了《第一次评估》, 并加以补充, 即进一步描述了人类与海洋的互动。《第二次评估》的大部分内容都是在COVID-19大流行暴发之前撰写的, 而疫情的全面影响需要时间才能显现。《第二次评估》酌情评估自《第一次世界海洋评估》以来的发展和变化如何促进实现相关的可持续发展目标。并指出了与联合国海洋科学促进可持续发展十年的社会目标(见大会第72/73号决议)相关的发展和变化。

<sup>1</sup> 联合国, 《第一次全球综合海洋评估: 第一次世界海洋评估》(剑桥, 剑桥大学出版社, 2017年)。

## 2. 驱动因素

在《第二次世界海洋评估》中，驱动因素被描述为各社会中会给海洋施加压力的社会、人口和经济发展，包括生活方式以及相关消费和生产模式的变化(第4章)。驱动因素和压力之间的关系(及其影响)是复杂和动态的，其相互关联性导致累积的相互作用。第4章确定的驱动因素有：

- (a) **人口增长和人口结构变化。**世界人口继续增长，尽管增长速度与1960年代晚期相比已经放缓，国际移民率也在增加。不断增加的全球人口对海洋环境造成压力的程度不定，取决于一系列因素，包括人们在何处生活和如何生活、其消费模式以及使用何种技术生产能源、粮食和材料、提供运输和管理废物；
- (b) **经济活动。**尽管因为制造业和贸易疲软，全球经济增速不及《第一次世界海洋评估》所报告的数据，但经济仍在继续增长。随着全球人口的增长，对商品和服务的需求也在增加，随之而来的是能源消耗和资源使用的增加。许多国家已经或正在制定发展海洋经济(蓝色经济)战略。然而，海洋经济增长的一个重要制约因素是目前每况愈下的海洋健康状况以及海洋所承受的压力；
- (c) **技术进步。**技术进步继续提高效率、扩大市场和促进经济增长。创新为海洋环境带来了积极的结果(比如提高了能源生产的效率)和消极的结果(比如渔业能力过剩)；

- (d) **不断变化的治理结构和地缘政治不稳定性。**在国际和国家两级，一些区域合作方法的改进和有效政策的实施帮助减轻了海洋所承受的一些压力。然而，在资源获取和海洋边界存在冲突的地区，注重可持续性的政策和协定可能会遭受损害；
- (e) **气候变化。**源于人类活动的温室气体排放量继续上升，将造成进一步的长期气候变化，其在整个海洋产生的广泛效应将持续几个世纪并影响到海洋。《联合国气候变化框架公约》缔约方大会在其第1/CP.21号决定中认识到气候变化的影响，通过了旨在加强对气候变化威胁的全球应对的《巴黎协定》。<sup>2</sup>

这五个驱动因素在全球的影响并非均匀分布。人口分布不均，不同国家和地区的人口增长也各不相同。自1980年代以来，经济增长的地域差异一直在扩大。技术进步方面的相关差异意味着一些国家可以从以前无法进入的地区开采资源，这可能增加这些地区的压力。许多区域，特别是最不发达国家所在区域，仍然无法获得有助于可持续<sup>3</sup>利用海洋资源的技术。区域争端和地缘政治的不稳定性可能妨碍全球和区域条约及协定的执行，从而影响经济增长、技术转让和海洋使用管理框架的实施。气候变化的影响也不均匀，一些地区(包括北冰洋)的变暖速度高于全球平均水平(第5章)。

## 3. 清理海洋

缺乏适当的废水处理以及制造业、农业、旅游业、渔业和航运业的污染物排放继续给海洋增加压力，给粮食安全、食品安全和海洋生物多样性带来负面影响。从纳米材料到大分子材料的海洋垃圾

构成了另一个问题，因为除了其存在所造成的损害之外，海洋垃圾还会长距离携带污染物和非本土物种(第10至12章)。

<sup>2</sup> 见FCCC/CP/2015/10/Add.1, 第1/CP.21号决定, 附件。

<sup>3</sup> 除非另有说明, 否则“可持续”和“可持续性”指所有方面——环境、社会和经济。

### 3.1. 与可持续发展目标和联合国海洋科学促进可持续发展十年之间的联系

#### 可持续发展目标具体目标14.1

到2025年,预防和大幅减少各类海洋污染,特别是陆上活动造成的污染,包括海洋废弃物污染和营养盐污染。

#### 海洋科学十年的成果

查明、减少或消除污染源,建设清洁海洋。

一些区域的一些污染物(例如持久性有机污染物和金属)的浓度正在下降,但是关于浓度的信息在空间上并不均衡。不仅是在已知的污染物方面依然存在知识差距,在新出现的污染物方面也是如此。在几个区域,在实施连贯一致的政策和相关执法行动以防止和控制污染物进入海洋方面仍然存在能力差距(第10至12和20章)。

表1列出了在实现其他可持续发展目标方面取得进展将以哪些具体方式协助实现具体目标14.1。表2列出了实现具体目标14.1将以哪些具体方式协助在实现其他可持续发展目标方面取得进展。

### 3.2. 营养盐污染

尽管加强对排放的控制正在减少流进一些水体的营养物,但通过直接排放、陆地径流、河流和大气进入沿海生态系统的源于人类活动的氮磷流入量普遍持续上升。由于这些营养物质的过度汇入,营养盐污染成为一个日益严重的问题,全球缺氧区(有时称为“死亡区”)的数量从2008年的400多个增加到2019年的700个左右。受影响最大的生态系统包括墨西哥湾北部、波罗的海、北海、孟加拉湾、南海和东海。据估计,沿海地区源于人类活动的氮流入量将在二十一世纪上半叶增加一倍。此外,气候变化导致海洋温度上升以及海洋分层和洋流的变化(第5章),预计将加重缺氧现象,特别是在非洲、南美洲、南亚和东南亚以及大洋洲的沿海地区(第10章)。

### 3.3. 有害物质

工业发展继续推进,农业强度继续增加,不仅导致有害物质不断进入海洋,还导致流入了新的有害物质。新流入的物质种类包括世界大部分地区无法通过废水处理去除的药物和个人护理产品以及纳米材料。在整个海洋中,包括在北冰洋和南大洋,检测到的药物和个人护理产品不断增加。已观察到许多这种产品会对植物和动物造成伤害,但这些物质对海洋生物的影响规模尚不清楚,主要是因为它们普遍没有得到监测(第11章)。

尽管《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》<sup>4</sup>总体上对全球持久性有机污染物浓度产生了积极影响,但仍然在远离污染物产生和使用源头的海洋区域和海洋生物中检测到了持久性有机污染物。即使浓度很低,也会降低海洋物种包括北极海豹的繁殖成功率。在大多数海洋区域,缺乏关于趋势的信息(第11章)。

《关于汞的水俣公约》<sup>5</sup>总体上正在降低全球汞浓度,有证据表明,在大多数地区,海洋中的汞浓度正在趋于稳定。然而,有报告表示营养级较高的生物体内一些金属的浓度略有增加。为了更好地评估金属浓度的趋势,需要在全全球范围内扩大沿海时间序列分析,包括对海洋中金属纳米材料水平的分析(第11章)。

大多数放射性物质的浓度随着历史输入的衰减而继续下降。自2011年以来,没有发生重大核事故,欧洲核燃料后处理厂的排放继续大幅减少。在30个国家运行的核能反应堆继续释放少量的放射性核素(第11章)。

### 3.4. 固体废物

因无意排放和故意倾倒废物而向海洋输入的固体废物(包括海洋垃圾)在全球范围内很大程度上没有量化。塑料占海洋垃圾的80%,每年从河流流入海洋的垃圾总量估计为115至241万吨。根据记录,已在1 400多种海洋物种中发现塑料。尽管已观察

<sup>4</sup> 联合国,《条约汇编》,第2256卷,第40214号。

<sup>5</sup> UNEP(DTIE)/Hg/CONF/4, 附件二。该公约于2017年8月16日生效。

到纳米塑料能够进入生物体细胞，但人们对微塑料(小于5毫米的碎片)和纳米塑料(小于100纳米)的影响知之甚少。这两种塑料要么来源于大分子塑料的分解，要么是有意制造(例如，作为个人护理产品的成分)。由于《1972年防止倾倒废物及其他物质污染海洋的公约》(《伦敦公约》)<sup>6</sup>及其1996年议定书<sup>7</sup>和许多区域性公约的实施，污水污泥和有机及无机废物的倾倒量保持在有限的水平，污水污泥的倾倒量继续下降。然而，根据这些协定开展的报告工作仍然不够，导致无法确定废物倾倒的程度。倾倒在海上的弹药对海洋生态系统和渔民(当弹药被渔网捕获时)构成的风险保持在低水平。然而，最近的研究表明，弹药释放的化合物有可能对海洋生物的遗传和代谢造成亚致死性影响(第12章)。

### 3.5. 噪声

影响海洋的人为噪声来源很多(比如船舶、石油和天然气勘探和开采、工业活动和声纳)，并且因空间和时间而异。最受影响的是那些用于重工业的地区，如墨西哥湾、北海和大西洋。噪声与许多其他海洋污染源不同，一旦从环境中移除声源，就不

会持续存在。过去20年来，人们进一步了解了人为噪声对海洋生物多样性的影响，在从浮游动物到海洋哺乳动物的许多类群中都观察到了一系列直接和间接的影响。随着对这些影响了解的加深，人们越来越认识到需要监测进入海洋环境的噪声，并查明和减少任何影响。虽然正在努力减少各种来源产生的噪声，但对海洋的使用日增增加，可能会抵消这些努力(第20章)。

### 3.6. 关键知识和能力建设差距

迫切需要对污染物(包括噪声)的标准化监测方法和数据集，以便能够评估污染物的空间和时间差异，并确定优先事项。需要进行能力建设，以减少向海洋排放污染物，特别是通过引进更加清洁的生产模式、更加安静的技术以及更加便宜且易于部署的废水处理技术。为了减少重复劳动，需要创建一个关于有害物质的通用数据库并制定环境噪声基线，以支持风险评估和建模。世界许多地方对跨界海洋污染的程度知之甚少，特别是对空气污染物，需要关于其排放和运输的更准确数据。最后，需要更好地了解污染物(包括人为噪声)对海洋环境的影响(第10至12和20章)。

## 4. 保护海洋生态系统

海洋生态系统面临的主要威胁来自人类活动，如捕鱼、水产养殖、航运、海沙和矿物开采、石油和天然气开采、可再生能源基础设施建设、沿海基础设施发展以及包括温室气体排放在内的污染。

### 4.1. 与可持续发展目标和联合国海洋科学促进可持续发展十年之间的联系

#### 可持续发展目标具体目标14.2

到2020年，通过加强抵御灾害能力等方式，可持续管理和保护海洋和沿海生态系统，以免产生重大负面影响，并采取行动帮助它们恢复原状，使海洋保持健康，物产丰富。

#### 可持续发展目标具体目标14.5

到2020年，根据国内和国际法，并基于现有的最佳科学资料，保护至少10%的沿海和海洋区域。

#### 海洋科学十年的成果

了解和管理海洋生态系统，建设健康和具有复原力的海洋。

许多海洋物种和生境继续受到不断增加的人为压力的不利影响。(第6A至G和7A至Q章；另见下文第5节)。正在进一步了解物种和生境的分布和状况以及人为压力正在如何影响着它们。2020年，海洋保护区覆盖了国家管辖范围内海洋的18%，约占整

<sup>6</sup> 联合国，《条约汇编》，第1046卷，第15749号。

<sup>7</sup> 伦敦议定书于2006年3月24日生效。

个海洋的8%。国家管辖范围以外区域的海洋约有1%得到了保护(第27章)。

表1列出了在实现其他可持续发展目标方面取得进展将以哪些具体方式协助实现具体目标14.2和14.5。表2列出了实现上述具体目标将以哪些具体方式协助在实现其他可持续发展目标方面取得进展。

各项国际协定,例如《联合国海洋法公约》<sup>8</sup>和《生物多样性公约》,<sup>9</sup>以及区域性公约和国家立法,都包含了保护海洋生态系统的内容。尽管这些协定和公约设立了目标,但许多海洋物种和生境在全球范围内的状况继续下降,因此生态系统的功能运作面临风险。此外,气候变化正在导致海洋变暖、酸化现象、环流变化、溶解氧浓度问题和水文循环放大效应。因此,与初级生产力相关的营养盐从地表水向深海的转移正在减少。在全球范围内,约有2 000种海洋物种因为人类活动而被引入它们天然生境之外的地方(第5、6A至G、7A至Q和22章)。

许多保护海洋生态系统的管理框架侧重于某一个部门,因此各部门保护海洋环境的目标可能不同。管理工具可以是基于区域的(例如海洋保护区和禁渔区),也可以是非基于区域的(例如全球排放控制、捕获量和捕捞努力量管制和技术限制)。管理方法正越来越多地从侧重于部门用途转向融入生态和社会/经济/文化方面的不同联系。生态系统方法综合了全球、区域、国家或地方的环境、社会和经济方面。无论是在基于社区的管理中,还是出于保护海洋环境文化层面的目的,文化信息正在成为管理框架的一个组成部分。文化信息可以是多样和无形的,例如传统的海洋资源使用、海上航线、古代航海技能、海洋性特征、传说、仪式、信仰和习俗、美学上和启发人心的特质、文化遗产以及具有精神以及神圣和(或)宗教意义的场所(第27章)。

在一些地区,特别是在东南亚,正在引入“蓝色基础设施发展”以及基于自然的解决方案等方法,以努力协调沿海发展和保护与生境和生态保护(第8A、13和14章)。

## 4.2. 沿海生态系统

尽管海洋保护区增加,拉姆萨尔湿地扩大,<sup>10</sup>但红树林(红海的除外)和海底草原(特别是在东南亚)继续减少,19%的红树林和21%的海底草原物种确认为近危。海洋暖化和人类活动的综合效应正日益影响全球热带和亚热带珊瑚礁和海藻森林。近年来,珊瑚礁每年都发生大规模漂白,而海藻森林则受到海洋热浪(第9章)的影响,导致急剧损失(第6G、7D和7H章)。

总体而言,约6%的已知鱼种和近30%的板鳃亚纲鱼种被列为近危或易危物种。在全球范围内,海洋哺乳动物的状况各不相同,某些物种群(海牛、淡水豚、北极熊和水獭)有75%的物种被列为易危、濒危或极危。由于禁止和监管商业捕捞以及实施国家恢复计划,许多大型鲸目动物现在正从以往捕捞的影响中恢复过来。海洋爬行动物的养护状况参差不齐:某些区域的保护活动使得一些种群数量得以增加;而在其他地区,由于对种群产生的威胁持续不断甚至仍在增加,种群数量正在下降。全球海鸟养护状况恶化,目前超过30%的物种被列为易危、濒危或极危(第6C至F章)。

## 4.3. 开阔洋和深海生态系统<sup>11</sup>

开阔洋继续受到海洋暖化、酸化、脱氧以及海洋污染的影响。来自亚马逊河的营养盐输入被西非沿岸的上升流带到海洋表面,似乎助长了漂浮马尾藻的大规模藻华:2 000万吨藻华于2011年开始在赤道大西洋出现,到2018年,已在该地区绵延8 850公里(第7N、10和12章)。

<sup>8</sup> 联合国,《条约汇编》,第1833卷,第31363号。

<sup>9</sup> 同上,第1760卷,第30619号。

<sup>10</sup> 见《关于特别是作为水禽栖息地的国际重要湿地公约》(联合国,《条约汇编》,第996卷,第14583号)。

<sup>11</sup> 关于术语“开阔洋”和“深海”的定义,见本评估第2章第4节。

对冷水珊瑚分布的了解有所增加。众所周知，冷水珊瑚分布在世界各地的大陆边缘、大洋中脊和海山上。它们和其他深海地物(海山、尖岩、海底洋脊、海沟、热液喷口和冷渗漏)仍然受到捕鱼、近海石油钻探、深海海底采矿和塑料废物等污染的威胁，其次还受到气候变化的威胁。在遏制深海海底拖网捕捞、建立冷水珊瑚海洋保护区方面所做的工作使一些受损的冷水珊瑚群落部分恢复。然而，这些生境可能需要几十年甚至几百年才能恢复，因此难以确定改善的趋势(第7E、7L、7O和7P章)。

#### 4.4. 关键知识和能力建设差距

自2015年以来，平均每周描述一个鱼类新物种，突出表明仍有许多物种有待发现。尽管自《第一次评估》发布以来，已增进了对生态系统构成和功能运作的知识，但仍然存在差距，特别是在深海生态系

### 5. 了解海洋，实现可持续管理

只有深入了解海洋各项进程及其功能、连贯认识人类活动对海洋的影响，才能实现海洋的可持续利用(第8A和27章)。

#### 5.1. 与可持续发展目标和联合国海洋科学促进可持续发展十年之间的联系

##### 可持续发展目标具体目标14.3

通过在各层级加强科学合作等方式，减少和应对海洋酸化的影响。

##### 可持续发展目标具体目标14.a

根据政府间海洋学委员会《海洋技术转让标准和准则》，增加科学知识，培养研究能力和转让海洋技术，以便改善海洋的健康，增加海洋生物多样性对发展中国家，特别是小岛屿发展中国家和最不发达国家发展的贡献。

##### 海洋科学十年的成果

社会理解并能够应对不断变化的海洋状况，建设可预测的海洋。

##### 海洋科学十年的成果

开放和公平地获取数据、信息和技术以及创新成果，建设无障碍海洋。

统以及开阔洋浮游和底栖生物物种方面。对沿海物种，特别是对发展中国家领水内沿海物种的生物学和生态学认识也仍然存在差距。目前没有一个严密的结构来研究因人类活动而扩散到新地区的大约2 000个外来物种及其对自然生态系统的影响。只有不到1%的大型藻物种的养护状况得到了评估(第6A至C、6G、7N和22章)。

尽管普遍认为生态系统方法是管理人类影响的有效框架，但需要加强研究和能力建设，以便在全世界的海洋充分发挥这种方法的潜力。许多区域缺乏所需信息以确立生态因果间联系，确立此种联系是为了制定决策时平衡生态因果和社会经济优先事项。加强监测方面的协作将有助于跨部门和跨机构能力共享，并提供更有效的监测、数据和信息。在管理方法的理解和落实方面加强能力，将有助于各国政府和其他利益攸关方了解海洋区域管理和治理的各种备选办法(第27章)。

##### 海洋科学十年的成果

社会理解和珍视海洋对人类福祉和可持续发展的作用，建设鼓舞人心、引人入胜的海洋。

二氧化碳仍继续输入海洋，尽管输入状况没有规律可循，但造成了海洋酸化。这加上其他压力，对大量生物体特别是那些长有碳酸钙外壳的生物体造成负面影响，有可能改变生物多样性和生态系统结构。海洋酸化再加上温度上升、海平面上升、脱氧和日益严重的极端气候事件，进一步对沿海生态系统提供的货物和服务造成威胁(第5和第9章)。

对海洋、海洋功能及其所受影响的科学认识增长得越来越快。然而，对于海洋的许多地方，特别是在国家管辖范围以外区域，知识和能力建设的差距依然存在。就压力对海洋造成的积累效应进行量化的工作刚刚起步，海洋健康标准化综合指标的量化工作也是如此。有能力让民众获取和使用科学知识，仍是应用综合方法管理人类对海洋影响的一项必要条件(第3、25和27章)。

表1列出了在实现其他可持续发展目标方面取得进展将以哪些具体方式协助实现具体目标14.3和14.a。表2列出了实现上述具体目标将以哪些具体方式协助在实现其他可持续发展目标方面取得进展。

## 5.2. 全球科学理解

与传感器和自主观察平台有关的技术和工程创新使得海洋数据收集的时间和空间分辨率更加精细,并将这些观测活动扩大至遥远区域。成本效益高而且便于使用的传感器、移动应用、公民加大参与以及在非科研船上部署传感器等也促进了扩大收集海洋观测数据方面的工作。此类进展也加深了对海洋中的物理和生物地球化学系统、海洋如何因应气候变化而改变等方面的理解,并增强了在全球和区域尺度上的海洋建模能力(第3和第5章)。

推动区域观测方案之间建立联系并相互协调,促进了在同一个综合体系内进一步发展全球海洋观测。目前正通过各项国际举措实现观测方法的标准化和统一。为改善海洋数据的有效利用并造福社会,还建立了平台以分享海洋观测、数据共享和社区对话方面的最佳做法(第3章)。

## 5.3. 可持续管理

过去二十年使用了不同的方法和术语制定了多个框架,用于评估人类活动与自然事件之间相互作用(“积累效应”),并在不同规模上加以应用。与其他环境评估一样,这些框架包括环境影响评估和环境战略评估,是为海洋空间规划和资源管理提供信息的有用工具(第25至27章)。

海洋空间规划和管理框架均包括一系列进程,但都有统一的目标,即确定海洋环境的使用者、规划这些使用者的活动、对海洋环境的使用进行某种形式的管制以确保可持续性。总体而言,在所有相关当局和利益攸关方的参与下,海洋空间规划的制定工作相当有成效,并纳入了经济、环境和社会视角。社会视角以及社会和文化价值在管理框架

中越来越得到体现,但协调多种不同的价值观殊为不易。解决多重价值观的最佳方式是让受影响社区参与进来,因此,有必要在生态系统管理方法中认可对海洋的文化层面具有敏感度的社区管理。对近岸海洋环境的权利、长期占有以及传统和土著习惯用途的了解得到增加,从而促进了对社区管理优势的认可。文化具有潜在力量,既是需要管理和监测的因素,也可作为基础,用于在可持续发展背景下制订结合生态系统方法的管理措施(第26和27章)。

## 5.4. 关键知识和能力建设差距

在全球范围内,在为基于生态系统的管理提供知识支持方面,仍然参差不齐。现有的大多数研究和资料(基于出版物数量)是关于北大西洋、北太平洋和北冰洋的。基础设施和专业能力发展不平衡限制了海洋研究,导致各区域和各国在科学理解上各不相同。为了更好地监测物理和生物地球化学环境的重大变化及其对生态系统和社会的影响,需要进一步整合多学科观测系统并改进模型。为维持这类系统,还需要供资战略方面的创新(第3章)。

对积累效应所作的大多数评估往往侧重于海洋环境中现有和过去的活动。同样,海洋空间规划大多是在正持续进行活动的区域实施,许多管理框架应用于现有的资源开采和利用活动,使得这些规划和框架本质上是回顾性的。需要开展具有“前瞻性”的评估,以便为未来活动的规划提供信息,为适应未来条件并维持生态系统和人类福祉的管理提供支持。制定此类方法并非一帆风顺,需要付出大量努力。为支持全面管理,需要提高跨界合作的能力,加强科学与政策能力,加强社会科学与自然科学之间以及科学与民间社会包括产业之间的协调,并对传统知识、文化和社会历史予以承认(第25至27章)。

## 6. 从海洋促进安全

海洋中和海洋上发生的各种事件威胁着那些生活在海洋附近、在海洋上工作或依赖海洋获得粮食的人。这类事件的例子有海啸、风暴潮、异常巨浪、气旋、飓风和台风、沿海洪水、侵蚀、海洋热浪和藻类密集孳生为害。在季内时间尺度和年际(甚至更长)时间尺度上,海洋在造成陆地干旱和暴雨等水文变化方面发挥重要驱动作用(第9章)。这类事件加上危险物质和过量营养盐导致的各种影响,有可能威胁粮食安全,阻碍可持续发展。

### 6.1. 与可持续发展目标和联合国海洋科学促进可持续发展十年的联系

#### 可持续发展目标具体目标14.1

到2025年,预防和大幅减少各类海洋污染,特别是陆上活动造成的污染,包括海洋废弃物污染和营养盐污染。

#### 可持续发展目标具体目标14.3

通过在各层级加强科学合作等方式,减少和应对海洋酸化的影响。

#### 海洋科学十年的成果

保护生命和生计免遭与海洋有关的危害,建设安全海洋。

由于气候变化,海洋热浪和热带气旋、飓风和台风的频率和严重程度都在增加,但可以通过缓解气候变化方面的工作来降低这些事件的频率和严重程度。如前文所述,海洋也导致了陆地水文变异。在一些地区,建造大坝和水库使海岸的泥沙供应减少了50%以上,导致三角洲和毗邻海岸受到侵蚀。由于营养盐污染,藻类密集孳生为害正变得更加频繁。海洋中的污染物数量继续增加,因此生物群接触到的混合物和融入粮食体系的混合物正变得更加复杂(第9至11章和13章)。

表1列出了在实现其他可持续发展目标方面取得进展将以哪些具体方式协助实现可持续发展目标的具体目标14.1和14.3。表2列出了实现上述具体目标将以哪些具体方式协助在实现其他可持续发展目标方面取得进展。

### 6.2. 来自海洋的灾患

除了海啸等持续威胁外,气候变化还日益影响以前没有受到海平面上升威胁的地区及其相关社区。海平面上升也会加剧海岸侵蚀。近几十年来,与热带气旋相关的降水、风和极端海平面事件有所增加,每年全球热带气旋中四级或五级气旋所占比例也增加了。由于风暴轨迹前所未有,因此以前一直不受风暴影响的地区越来越容易受到影响。事实证明,由于预警困难,而且受影响民众不愿作出应对,很难管理不断变化的风暴轨迹和风暴强度所带来的风险(第9和13章)。

在过去二十年里,海洋热浪对所有海洋盆地的海洋生物和生态系统造成了负面影响。在未来全球变暖的背景下,此类事件的频率、持续时间、空间范围和强度预计均会增加,致使一些海洋生物、渔业和生态系统超出自身应对能力限度而无法复原,对经济和社会产生连锁影响。例如,河流管理发生变化而造成河流沉积物向海岸供应减少,海岸采砂,用海岸结构物进行沿岸蓄水,这些均会导致海岸侵蚀,日益造成各种问题。红树林、盐沼和障壁岛遭到破坏后造成海岸轮廓变化,令此类问题雪上加霜。由于使用合成肥、燃烧化石燃料并直接输入城市废物,通过河流径流和大气沉降向沿海生态系统输入的氮和磷比以前增加了。这导致包括有毒藻类事件在内的藻类密集孳生为害增加,这些除其他外可能造成贝类和鱼类有毒,从而致人瘫痪并造成其他疾病(第9、10和13章)。

### 6.3. 关键知识和能力建设差距

增进对海洋以及海洋与大气相互关系的了解,对于改善在极端天气事件方面的人类安全至关重要。同样,需要更好地了解污染的规模、进展和分布以及沿海动态。《2015-2030年仙台减少灾害风险框架》<sup>12</sup>指出有必要加强和统一预警系统,以减少与

<sup>12</sup> 见联合国大会第69/283号决议,附件二。

海洋灾害相关的风险。需要改进灾害预报系统, 扩大应急规划和警告, 并落实备灾框架, 确保对受影

响社区作出快速反应。需要能够预测、检测和应对多种灾害的综合系统(第9至14章)。

## 7. 来自海洋的可持续粮食

来自海洋的动物蛋白提供了人类消费的全部动物蛋白的约17%, 并支持了约12%人口的生计。这种蛋白主要来自野生渔业, 尽管水产养殖业对粮食安全的贡献正在迅速加大, 并且比捕捞渔业的增长潜力更大。惯常的捕捞做法给许多地区的海洋环境带来了多重压力源, 水产养殖的扩大则给海洋生态系统带来了新压力或增加了原有的压力, 特别是在沿海地区(第15至17章)。

### 7.1. 与可持续发展目标和联合国海洋科学促进可持续发展十年的联系

#### 可持续发展目标具体目标14.4

到2020年, 有效规范捕捞活动, 终止过度捕捞、非法、未报告和无人管制的捕捞活动以及破坏性捕捞做法, 执行科学的管理计划, 以便在尽可能短的时间内使鱼群量至少恢复到其生态特征允许的能产生最高可持续产量的水平。

#### 可持续发展目标具体目标14.6

到2020年, 禁止某些助长过剩产能和过度捕捞的渔业补贴, 取消助长非法、未报告和无人管制捕捞活动的补贴, 避免出台新的这类补贴, 同时承认给予发展中国家和最不发达国家合理、有效的特殊和差别待遇应是世界贸易组织渔业补贴谈判的一个不可或缺的组成部分。<sup>13</sup>

#### 可持续发展目标具体目标14.7

到2030年, 增加小岛屿发展中国家和最不发达国家通过可持续利用海洋资源获得的经济收益, 包括可持续地管理渔业、水产养殖业和旅游业。

#### 可持续发展目标具体目标14.b

向小规模个体渔民提供获取海洋资源和市场准入机会。

#### 海洋科学十年的成果

支持可持续粮食供应和可持续海洋经济, 建设高产海洋。

表1列出了在实现其他可持续发展目标方面取得进展将以哪些具体方式协助实现具体目标

14.4、14.6、14.7和14.b。表2列出了实现上述具体目标将以哪些具体方式协助在实现其他可持续发展目标方面取得进展。

### 7.2. 海洋捕捞渔业

2012年至2017年期间, 全球海洋捕捞渔业估计上岸量增加了3%, 达到8 060万吨, 价值1 270亿美元(按2017年价格计算)。世界上约33%的鱼类种群, 特别是营养层次较高的种群, 被归类为以生物学上不可持续的水平捕捞, 其中近60%已达到最高可持续捕捞量。<sup>14</sup>世界上很多地方捕捞渔业的可持续性继续受到过度捕捞、产能过剩、管理不力、有害补贴、兼捕渔获物特别是受威胁的濒危和受保护物种兼捕渔获物以及非法、未报告和无人管制捕捞活动的阻碍, 持续的生境退化和渔具丢失对海洋环境造成了进一步的压力。过度捕捞估计已导致每年损失净惠益889亿美元。鱼类市场继续呈现快节奏的全球化, 导致小型渔业更易受到当地重要鱼类种群枯竭的影响。世界贸易组织主持下的关于减少有害渔业补贴的谈判仍在继续, 尽管尚未达成明确协议。世界上只有不到40%的国家签署了2009年《关于港口国预防、制止和消除非法、不报告、无人管制捕鱼措施协定》。<sup>15</sup>联合国粮食及农业组织在其《粮食安全和扶贫背景下保障可持续小规模渔业自愿准则》中概述了在安全、分享当地知识、能力建设和治理等领域应用信息技术以帮助扩大小规模渔业的机会。基于人权的办法的使用日益增加, 正在为增强这类渔业的权能提供机遇(第15章)。

令人振奋的是, 事实证明, 科学的鱼量评估和管理能在一些地区带来更可持续的结果。目前正在一些区域使用新方法识别非法、未报告和无人管制捕捞活动。最近的研究显示, 如果治理得当, 重建

<sup>13</sup> 考虑到世界贸易组织正在进行的谈判、《多哈发展议程》和香港部长级宣言规定的任务。

<sup>14</sup> 此处的“最高可持续捕捞量”按照第15章中解释的意义使用。

<sup>15</sup> 联合国粮食及农业组织, 文件号C 2009/REP和Corr.1-3, 附件E。

过度捕捞鱼类种群所需的中位数时间可能不到10年，如果实施改革，到21世纪中叶，98%被过度捕捞的种群可视为已恢复健康水平。

气候变化的影响预计包括自然灾害强度和频率的增加，从而影响当地鱼类种群的分布和丰度。依赖渔业的发展中国家受到的影响可能最为严重。物种分布预计会发生变化，随之而来的是种群跨界洄游增加，因此未来的国际治理可能需要考虑到这种重新分布情况(第15章)。

### 7.3. 水产养殖

水产养殖业的增长速度继续高于其他主要粮食生产部门，尽管过去十年增长有所放缓。2017年，水产养殖业部门的估值为2 496亿美元。该部门目前支持着5.4亿人的生计，在2014年时，有19%是妇女。这种粮食生产形式的重要意义在于，其蛋白质含量高以及必要微量营养素和脂肪酸含量高。水产养殖业对鱼粉的依赖从2005年时的420万公吨减少到2015年时的335万公吨。水产养殖业的可持续性更有可能与水产饲料所需的陆生动植物蛋白质、油和碳水化合物来源的持续供应密切相关。疾病继续对全球水产养殖业造成困难，是阻碍许多物种水产养殖发展的主要因素之一。总体而言，水产养殖业的环保绩效在过去十年中有了显著改善。扩大水产养殖业生产需要应对的挑战包括减轻对红树林等有价值的沿海生态系统造成的影响、可持续地提供外部投喂、管理鱼类疾病以及逃逸的养殖鱼对本土物种的影响等(第16章)。

### 7.4. 海藻生产

供人类直接食用的海藻占海藻收捞总量的80%。自2012年以来，全球海藻收捞量以每年约2.6%的速度增长，其中大部分来自水产养殖，2017年达到3 200万吨，估计价值为120亿美元。除作为粮食外，海藻越来越多地用于化妆品、药品和保健品

等产业用途，还用作牲畜饲料。大型藻养殖占水产养殖总产量的96%。生产带来的惠益包括提供高质量粮食，以及为沿海居民创造新的就业机会并增加收入。此外，这种生产有助于碳固存和产生氧气，减少营养盐污染(第17章)。

### 7.5. 关键知识和能力建设差距

对于不断变化的情况可能在多大程度上导致海洋生态系统结构和功能运作的变化、进而在多大程度上对海洋生产力产生影响，人们所知甚少。改进在数据匮乏的环境中评估渔业和核算渔业所作贡献的方法已经取得进展，但还需要进一步开展工作，填补发展中地区沿海渔业方面的能力建设空白。鱼类种群繁殖科学刚刚起步，但显示出有可能提高渔业产量，超过仅靠开发野生鱼类种群所能实现的产量。然而，目前缺乏对生态后果的了解。渔业管理方面的能力建设差距包括查明对目标物种的影响以及把对其他物种的影响纳入管理框架等方面。发展中国家在能力建设方面一直存在差距，也阻碍了它们参加旨在在维持健康鱼类种群的管理做法方面达成共识的区域和国际谈判。

为了促进可持续水产养殖发展，需要改善推广服务。对推广服务提供人的培训在内容上需要纳入信息传播方法以及实用养殖技术，这样才能帮助他们更好地协助水产养殖人员改进生产做法。信息技术和媒体、养殖人员协会、发展机构、私营部门供应商和其他机构需要联合起来，加强部门培训。建立近海水产养殖业和海水养殖业需要有足够的海洋服务来支持，以确保作业的可持续性和安全。在海藻大规模生产和气候变化可能产生的影响方面，仍然存在许多知识差距。目前正在开展一些工作，弥补这些知识和能力建设方面的差距。许多海藻物种的生物学方面仍属未知，即使是目前已收捞或养殖的物种也是如此(第15至17章)。

## 8. 海洋的可持续经济利用

海洋支撑着广泛的经济活动，包括作为世界贸易组成部分的海运以及旅游业和休闲娱乐、碳氢化合

物和其他矿物等自然资源的开采、可再生能源的提供及海洋遗传资源利用等。

## 8.1. 与可持续发展目标和联合国海洋科学促进可持续发展十年的联系

### 可持续发展目标具体目标14.2

到2020年,通过加强抵御灾害能力等方式,可持续管理和保护海洋和沿海生态系统,以免产生重大负面影响,并采取行动帮助它们恢复原状,使海洋保持健康,物产丰富。

### 可持续发展目标具体目标14.7

到2030年,增加小岛屿发展中国家和最不发达国家通过可持续利用海洋资源获得的经济收益,包括可持续地管理渔业、水产养殖业和旅游业。

### 可持续发展目标具体目标14.c

按照《我们希望的未来》第158段所述,根据《联合国海洋法公约》所规定的保护和可持续利用海洋及其资源的国际法律框架,加强海洋和海洋资源的保护和可持续利用。

在全球范围内,海洋的经济利用已有增加。许多国家正在制定或已经制定战略,增加可再生海洋能源、水产养殖、海洋生物技术、沿海旅游和海底采矿等海上活动(蓝色经济的增长部门——该术语可包括环境可持续航运和渔业)。然而,取自海洋的经济惠益在世界范围内的分配仍然很不平衡(第4、8A、18和28章)。

表1列出了在实现其他可持续发展目标方面取得进展将以哪些具体方式协助实现可持续发展目标具体目标14.2、14.7和14.c。表2列出了实现上述具体目标将以哪些具体方式协助在实现其他可持续发展目标方面取得进展。

## 8.2. 海底开采

国家管辖范围内沙子和砾石的海底开采有所增加,以补充陆上来源的减少。开采规模会对当地海洋环境产生重大影响并造成海岸侵蚀。其他主要开采活动(如钻石、磷酸盐、铁矿石和锡的开采活动)的规模基本保持稳定。国家管辖范围以外区域的深海开采更接近成为商业现实,但许多矿产资源的开采需要先进技术,因此很大程度上局限于有能力获得此等技术者(第18章)。

## 8.3. 海洋油气的开采

在全球层面上,海洋石油和天然气行业部门正向深水和超深水扩张。未来十年,增长可能集中在地中海东部以及圭亚那海岸和非洲西海岸等沿岸海域。北海和墨西哥湾等成熟地区的一些资源正在枯竭,导致更多的海上设施退役,尽管其中一些设施可用于生产可再生海洋能源。采掘技术继续演变发展,目的是减少对海洋环境的影响(第19章)。

## 8.4. 海运

国际航运的货物吨位增加反映了2012年以后世界经济复苏以来的世界贸易增长。然而,这样的增长是在竞争疲软的背景下发生的。全世界船舶吨位中很大一部分仍然只涉及相对少数注册国,航运的所有权和控制权仍然集中在相对少数国家的公司手中。这种集中度对未来的港口发展具有重大影响,因为它可能导致作为洲际贸易转运中心的主要港口数量减少、规模扩大。2015至2019年,针对船舶的未遂和实际发生海盗案件和武装抢劫案件总数略有下降(第8A章)。

## 8.5. 旅游和娱乐

国际旅行和相关旅游业在世界许多地方具有重要经济意义,特别是集中在沿海地区的“阳光、海洋和沙滩”型旅游。在所有旅游区,对海洋环境的主要影响来自沿海开发,包括建筑物(如酒店、餐馆、零售店以及机场和火车站等交通基础设施)覆盖的土地比例以及对“装甲”海岸防护、街道照明和排污的需求。浮潜、潜水和观赏野生动物仍然是沿海旅游的重要元素(第8A章)。

## 8.6. 海洋遗传资源

海洋遗传资源仍然是范围不断扩大的商业应用和非商业应用的重点。基因测序和合成成本的迅速下降以及代谢工程和合成生物学的快速发展减少了对从海洋中获取物理样本的依赖。海绵和藻类因其天然化合物的生物活性特性继续吸引着人们的浓厚兴趣(第23章)。

## 8.7. 海洋可再生能源

海洋可再生能源行业部门(海上风能、潮汐能和洋流能、波浪能、海洋热能和渗透动力及海洋生物质能)正在以不同的速度演变和发展。在这些发电来源中,海上风能技术成熟先进。2018年,海上风能只占可再生能源来源总量的1%,但增长迅速:2017年至2018年,海上风能占所有可再生能源增长的4%。2017年到2018年,海上风能在亚洲增长59%,在欧洲增长17%。在未来十年,亚洲和美利坚合众国可能成为海上风电开发和安装的主要增长驱动器。潮汐能转换器已达到商业化阶段,而

其他海洋可再生能源技术目前处于开发阶段。在新兴海洋可再生能源来源中,海上太阳能最有前途,因为相关技术的组成部分已经很发达(第21章)。

## 8.8. 关键知识和能力建设差距

要实现安全运行且不破坏海洋环境,所有海上行业均需高度依赖技术。就海洋遗传资源而言,能力建设仍然是一个问题,因为该领域的大部分工作在少数几个国家进行。许多国家需要培养技能,以期可持续地规划和发蓝色经济并管理相关人类活动(第8A、14、18、19、21、23、25和27章)。

# 9. 有效实施《联合国海洋法公约》所体现的国际法

《联合国海洋法公约》(《公约》)规定了开展所有海洋活动都要遵循的法律框架,有效实施《公约》所体现的国际法对于养护和可持续利用海洋及其资源至关重要,对于捍卫海洋为今世后代提供的许多生态系统服务也至关重要。

以下方面依然存在重大挑战:确保参与国际文书,应对资源和能力制约,加强跨部门合作,确保在各级进行协调和信息共享以及制定新文书,以及时应对新出现的挑战(第28章)。

## 9.1. 与可持续发展目标和联合国海洋科学促进可持续发展十年的联系

### 可持续发展目标具体目标14.c

按照《我们希望的未来》第158段所述,根据《联合国海洋法公约》所规定的保护和可持续利用海洋及其资源的国际法律框架,加强海洋和海洋资源的保护和可持续利用。

表1列出了在实现其他可持续发展目标方面取得进展将以哪些具体方式协助实现具体目标14.c。表2列出了实现这一具体目标将以哪些具体方式协助在实现其他可持续发展目标方面取得进展。

已经在各级采取步骤加强实施《联合国海洋法公约》所体现的国际法,包括提高各国对补充《公约》规定的众多全球和区域条约的参与程度。全球层面的例子包括《伦敦倾废公约》和《伦敦议定书》、经1978年议定书和1997年议定书<sup>16</sup>修订的《国际防止船舶造成污染公约》(1973年)(包括2020年生效的关于减少船舶硫排放的附件六)和2016年生效的粮农组织《关于港口国预防、制止和消除非法、不报告、不管制捕鱼措施协定》等国际公约(第8A、11、12、15和28章)。

## 9.2. 实施《联合国海洋法公约》所体现的国际法

整合环境、社会和经济维度在《联合国海洋法公约》中处于核心位置。《公约》在两种需要之间建立了微妙平衡:一方面需要利用海洋及其资源实现经济和社会发展,另一方面需要以可持续的方式养护和管理海洋资源并保护和保全海洋环境。《公约》所反映的海洋管理综合办法对于促进可持续发展至关重要,因为部门化办法和支离破碎的办法缺乏连贯性,可能导致提出的解决办法对养护和可持续利用海洋及其资源的惠益有限。

在许多领域,《公约》得到了更具体的部门文书的补充。除《公约》的两项执行协定外,<sup>17</sup>还有许多

<sup>16</sup> 见[www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)。

<sup>17</sup> 《关于执行1982年12月10日〈联合国海洋法公约〉第十一部分的协定》;《执行1982年12月10日〈联合国海洋法公约〉有关养护和管理跨界鱼类种群和高度洄游鱼类种群的规定的协定》。

涵盖海洋利用众多方面的全球和区域法律文书。只有充分有效地执行这套国际法,才能实现对海洋及其资源的有效养护和可持续利用。行动和努力应主要侧重实施差距或任何监管差距,特别是在国家管辖范围以外区域。

### 9.3. 实施和监管方面的差距

包括资金能力在内的资源能力仍然是保护和保全海洋环境和开展海洋科学研究的重大的制约因素,而技术限制往往阻碍有效履行国家义务。此外,在材料范围(例如,没有关于塑料和微塑料的综合规则)或相关文书的地理适用范围(例如,区域渔业管

理组织和安排的地理覆盖范围)方面也存在差距(第27和28章)。许多小岛屿发展中国家和最不发达国家无法获得海洋管理所需的详细知识和技术熟练的人力资源,而用于管理其管辖的大片海域的资源往往有限。填补这些差距将确保以环境可持续的方式实现经济惠益最大化。由于存在监管差距和缺乏跨部门协调,在国家管辖范围以外区域执行管理措施存在特殊挑战。目前,联合国正在就根据《联合国海洋法公约》制定一项关于养护和可持续利用国家管辖范围以外区域海洋生物多样性的具有法律约束力的文书进行的政府间谈判中讨论这些问题(第27和28章)。

**表1**  
**其他可持续发展目标对实现目标14的贡献**

可持续发展目标14项下的具体目标	促进实现目标14的可持续发展目标	机制
<b>清理海洋</b>		
具体目标14.1: 到2025年,预防和大幅减少各类海洋污染,特别是陆上活动造成的污染,包括海洋废弃物污染和营养盐污染	目标6: 为所有人提供水和环境卫生并对其进行可持续管理	改善废水管理
	目标7: 确保人人获得负担得起的、可靠和可持续的现代能源	改善能源来源和提高使用效率,因而相应减少排放
	目标11: 建设包容、安全、有抵御灾害能力和可持续的城市和人类住区	实现可持续城市化,减少城市对环境的影响
	目标12: 采用可持续的消费和生产模式	实现化学品和所有废物的无害环境管理,包括减少废物的产生
	目标17: 加强执行手段,重振可持续发展全球伙伴关系	改善获取科学、技术和创新的途径,加强知识共享和技术转让,开展能力建设
<b>保护海洋生态系统</b>		
具体目标14.2: 到2020年,通过加强抵御灾害能力等方式,可持续管理和保护海洋和沿海生态系统,以免产生重大负面影响,并采取行动帮助它们恢复原状,使海洋保持健康,物产丰富	目标6: 为所有人提供水和环境卫生并对其进行可持续管理	改善废水管理,保护和恢复湿地
具体目标14.5: 到2020年,根据国内和国际法,并基于现有的最佳科学资料,保护至少10%的沿海和海洋区域	目标7: 确保人人获得负担得起的、可靠和可持续的现代能源	改善能源来源和提高使用效率,因而相应减少排放

可持续发展目标14项下的具体目标	促进实现目标14的可持续发展目标	机制
	目标9: 建造具备抵御灾害能力的基础设施, 促进具有包容性的可持续工业化, 推动创新	使用清洁技术, 因而相应减少排放
	目标11: 建设包容、安全、有抵御灾害能力和可持续的城市和人类住区	实现可持续城市化, 减少城市对环境的影响
	目标12: 采用可持续的消费和生产模式	可持续管理和利用自然资源, 减少供应链环节的浪费
	目标13: 采取紧急行动应对气候变化及其影响	落实减缓、适应和减轻气候变化影响的措施
	目标15: 保护、恢复和促进可持续利用陆地生态系统, 可持续管理森林, 防治荒漠化, 制止和扭转土地退化, 遏制生物多样性的丧失	减少自然栖息地的退化和生物多样性的丧失, 防止物种灭绝
	目标17: 加强执行手段, 重振可持续发展全球伙伴关系	改善获取科学、技术和创新的途径, 加强知识共享和技术转让, 开展能力建设
<b>理解海洋, 实现可持续管理</b>		
具体目标14.3: 通过在各层级加强科学合作等方式, 减少和应对海洋酸化的影响	目标9: 建造具备抵御灾害能力的基础设施, 促进具有包容性的可持续工业化, 推动创新	加强科学研究, 提升各国特别是发展中国家工业部门的技术能力, 鼓励创新
具体目标14.a: 根据政府间海洋学委员会《海洋技术转让标准和准则》, 增加科学知识, 培养研究能力和转让海洋技术, 以便改善海洋的健康, 增加海洋生物多样性对发展中国家, 特别是小岛屿发展中国家和最不发达国家发展的贡献	目标13: 采取紧急行动应对气候变化及其影响 <sup>a</sup>	落实减缓、适应和减轻气候变化影响的措施
	目标17: 加强执行手段, 重振可持续发展全球伙伴关系	改善获取科学、技术和创新的途径, 加强知识共享和技术转让, 开展能力建设
<b>从海洋促进安全</b>		
具体目标14.1: 到2025年, 预防和大幅减少各类海洋污染, 特别是陆上活动造成的污染, 包括海洋废弃物污染和营养盐污染	目标1: 在全世界消除一切形式的贫困	减少对气候引起的极端事件的风险敞口和脆弱性, 增强对环境冲击和灾害的抵御能力
	目标2: 消除饥饿, 实现粮食安全, 改善营养状况和促进可持续农业	加强适应气候变化、极端天气和其他灾害的能力

可持续发展目标14项下的具体目标	促进实现目标14的可持续发展目标	机制
	目标6: 为所有人提供水和环境卫生并对其进行可持续管理	减少污染, 改善废水管理, 保护和恢复与水有关的生态系统
	目标11: 建设包容、安全、有抵御灾害能力和可持续的城市和人类住区	减少受灾人数, 加强国家和区域发展规划, 执行减轻和适应气候变化的综合政策和计划, 加强抗灾能力, 制定落实全面灾害风险管理
	目标12: 采用可持续的消费和生产模式	实现化学品和所有废物的无害环境管理
	目标13: 采取紧急行动应对气候变化及其影响 <sup>a</sup>	加强对与气候有关的自然灾害和其他自然灾害的抵御和适应能力, 支持减少灾害影响和开展预警
	目标15: 保护、恢复和促进可持续利用陆地生态系统, 可持续管理森林, 防治荒漠化, 制止和扭转土地退化, 遏制生物多样性的丧失	养护、修复和可持续利用陆地和内陆淡水生态系统, 减少生境退化
<b>来自海洋的可持续粮食</b>		
具体目标14.4: 到2020年, 有效规范捕捞活动, 终止过度捕捞、非法、未报告和管制外的捕捞活动以及破坏性捕捞做法, 执行科学的管理计划, 以便在尽可能短的时间内使鱼群量至少恢复到其生态特征允许的能产生最高可持续产量的水平	目标2: 消除饥饿, 实现粮食安全, 改善营养状况和促进可持续农业	提高农业生产力(包括水产养殖和海水养殖), 确保可持续粮食生产, 维护生态系统和野生物种的遗传多样性
具体目标14.6: 到2020年, 禁止某些助长过剩产能和过度捕捞的渔业补贴, 取消助长非法、未报告和管制外的捕捞活动的补贴, 避免出台新的这类补贴, 同时承认给予发展中国家和最不发达国家合理、有效的特殊和差别待遇是世界贸易组织渔业补贴谈判的一个不可或缺的组成部分 <sup>b</sup>	目标8: 促进持久、包容和可持续的经济增长, 促进充分的生产性就业和人人获得体面工作	提高消费和生产的资源使用效率
具体目标14.7: 到2030年, 增加小岛屿发展中国家和最不发达国家通过可持续利用海洋资源获得的经济收益, 包括可持续地管理渔业、水产养殖业和旅游业	目标9: 建造具备抵御灾害能力的基础设施, 促进具有包容性的可持续工业化, 推动创新	加强发展中国家的科学研究和技术开发、研究和创新
	目标12: 采用可持续的消费和生产模式	可持续管理和有效利用自然资源, 减少生产和供应链环节的粮食损失, 包括收获后损失, 加强科学技术能力以采用更加可持续的消费和生产模式, 运用各种方法确保旅游业仍然可持续、能创造就业机会并推广地方产品, 并逐步取消现存的有害补贴, 以反映其环境影响

可持续发展目标14项下的具体目标	促进实现目标14的可持续发展目标	机制
具体目标14.b: 向小规模个体渔民提供获取海洋资源和市场准入机会	目标13: 采取紧急行动应对气候变化及其影响 <sup>a</sup>	落实减缓、适应和减轻气候变化影响的措施
	目标17: 加强执行手段, 重振可持续发展全球伙伴关系	改善获取科学、技术和创新的途径, 加强知识共享和技术转让, 开展能力建设
<b>海洋的可持续经济利用</b>		
具体目标14.2: 到2020年, 通过加强抵御灾害能力等方式, 可持续管理和保护海洋和沿海生态系统, 以免产生重大负面影响, 并采取行动帮助它们恢复原状, 使海洋保持健康, 物产丰富	目标6: 为所有人提供水和环境卫生并对其进行可持续管理	改善废水管理, 保护和恢复湿地
	目标7: 确保人人获得负担得起的、可靠和可持续的现代能源	改善能源来源和提高使用效率, 因而相应减少排放
具体目标14.7: 到2030年, 增加小岛屿发展中国家和最不发达国家通过可持续利用海洋资源获得的经济收益, 包括可持续地管理渔业、水产养殖业和旅游业	目标11: 建设包容、安全、有抵御灾害能力和可持续的城市和人类住区	实现可持续城市化, 减少城市对环境的影响
	目标12: 采用可持续的消费和生产模式	可持续管理和利用自然资源
具体目标14.c: 按照《我们希望的将来》第158段所述, 根据《联合国海洋法公约》所规定的保护和可持续利用海洋及其资源的国际法律框架, 加强海洋和海洋资源的保护和可持续利用	目标13: 采取紧急行动应对气候变化及其影响 <sup>a</sup>	落实减缓、适应和减轻气候变化影响的措施
	目标15: 保护、恢复和促进可持续利用陆地生态系统, 可持续管理森林, 防治荒漠化, 制止和扭转土地退化, 遏制生物多样性的丧失	减少自然栖息地的退化和生物多样性的丧失, 防止物种灭绝
	目标16: 创建和平、包容的社会以促进可持续发展, 让所有人都能诉诸司法, 在各级建立有效、负责和包容的机构	在国家与国际两级促进法治
	目标17: 加强执行手段, 重振可持续发展全球伙伴关系	改善获取科学、技术和创新的途径, 加强知识共享和技术转让, 开展能力建设
<b>有效执行《联合国海洋法公约》所体现的国际法</b>		
具体目标14.c: 按照《我们希望的将来》第158段所述, 根据《联合国海洋法公约》所规定的保护和可持续利用海洋及其资源的国际法律框架, 加强海洋和海洋资源的保护和可持续利用	目标2: 消除饥饿, 实现粮食安全, 改善营养状况和促进可持续农业	确保可持续的粮食生产体系, 维护生态系统, 加强适应气候变化、极端天气、干旱、洪水和其他灾害的能力
	目标3: 确保健康的生活方式, 促进各年龄段人群的福祉。	减少危险化学品、污染和沾染
	目标6: 为所有人提供水和环境卫生并对其进行可持续管理	减少污染, 改善废水管理, 保护和恢复与水有关的生态系统

可持续发展目标14项下的具体目标	促进实现目标14的可持续发展目标	机制
	目标11: 建设包容、安全、有抵御灾害能力和可持续的城市和人类住区	保护和捍卫文化和自然遗产
	目标12: 采用可持续的消费和生产模式	在商定的国际框架内,对化学品和所有废物的整个生命周期进行无害环境管理
	目标13: 采取紧急行动应对气候变化及其影响 <sup>a</sup>	将应对气候变化的举措纳入国家政策、战略和规划
	目标17: 加强执行手段,重振可持续发展全球伙伴关系	加强可持续发展的政策一致性

a 确认《联合国气候变化框架公约》是谈判气候变化全球对策的主要政府间国际论坛。

b 考虑到世界贸易组织正在进行的谈判、《多哈发展议程》和香港部长级宣言规定的任务。

**表2**  
**可持续发展目标14对实现其他目标的贡献**

可持续发展目标14项下的具体目标	促进实现目标14的可持续发展目标	机制
具体目标14.1: 到2025年,预防和大幅减少各类海洋污染,特别是陆上活动造成的污染,包括海洋废弃物污染和营养盐污染	目标3: 确保健康的生活方式,促进各年龄段人群的福祉	减少危险化学品、污染和沾染
	目标6: 为所有人提供水和环境卫生并对其进行可持续管理	减少污染,减少危险化学品、材料和废水的排放
	目标11: 建设包容、安全、有抵御灾害能力和可持续的城市和人类住区	实现可持续城市化,减少城市对环境的影响
	目标12: 采用可持续的消费和生产模式	实现化学品和所有废物的无害环境管理,包括减少废物的产生
	目标17: 加强执行手段,重振可持续发展全球伙伴关系	改善获取科学、技术和创新的途径,加强知识共享和技术转让,开展能力建设
具体目标14.2: 到2020年,通过加强抵御灾害能力等方式,可持续管理和保护海洋和沿海生态系统,以免产生重大负面影响,并采取行动帮助它们恢复原状,使海洋保持健康,物产丰富	目标1: 在全世界消除一切形式的贫困	减少对气候引起的极端事件的风险敞口和脆弱性,增强对环境冲击和灾害的抵御能力
	目标2: 消除饥饿,实现粮食安全,改善营养状况和促进可持续农业	提高农业生产力(包括水产养殖和海水养殖),确保可持续粮食生产,维护生态系统和野生物种的遗传多样性

可持续发展目标14项下的具体目标	促进实现目标14的可持续发展目标	机制
	目标8: 促进持久、包容和可持续的经济增长, 促进充分的生产性就业和人人获得体面工作	为持续经济增长和可持续旅游业提供机会
	目标11: 建设包容、安全、有抵御灾害能力和可持续的城市和人类住区	保全和支持保护沿海社区免于受灾的生态系统
	目标13: 采取紧急行动应对气候变化及其影响 <sup>a</sup>	促进提高应对气候相关灾害的能力
具体目标14.3: 通过在各层级加强科学合作等方式, 减少和应对海洋酸化的影响	目标1: 在全世界消除一切形式的贫困	减少对环境冲击和灾害的风险敞口, 增强抵御环境冲击和灾害的能力
	目标2: 消除饥饿, 实现粮食安全, 改善营养状况和促进可持续农业	确保可持续的粮食生产体系, 维护生态系统, 加强适应气候变化的能力, 加强研究和技术开发方面的合作
	目标12: 采用可持续的消费和生产模式	支持发展中国家加强科技能力
	目标13: 采取紧急行动应对气候变化及其影响 <sup>a</sup>	落实减缓、适应和减轻气候变化影响的措施
	目标17: 加强执行手段, 重振可持续发展全球伙伴关系	改善获取科学、技术和创新的途径, 加强知识共享和技术转让, 开展能力建设
具体目标14.4: 到2020年, 有效规范捕捞活动, 终止过度捕捞、非法、未报告和无管制的捕捞活动以及破坏性捕捞做法, 执行科学的管理计划, 以便在尽可能短的时间内使鱼群量至少恢复到其生态特征允许的能产生最高可持续产量的水平	目标2: 消除饥饿, 实现粮食安全, 改善营养状况和促进可持续农业	提高农业生产力(包括水产养殖和海水养殖), 确保可持续粮食生产, 维护生态系统和野生物种的遗传多样性
	目标8: 促进持久、包容和可持续的经济增长, 促进充分的生产性就业和人人获得体面工作	支持生产性活动
	目标12: 采用可持续的消费和生产模式	实现自然资源的可持续管理和高效利用, 减少生产和供应链环节的粮食损失, 包括收获后损失, 加强科技能力以采用更加可持续的消费和生产模式, 并逐步取消有害补贴
	目标17: 加强执行手段, 重振可持续发展全球伙伴关系	加强可持续发展伙伴关系

可持续发展目标14项下的具体目标	促进实现目标14的可持续发展目标	机制
具体目标14.5: 到2020年, 根据国内和国际法, 并基于现有的最佳科学资料, 保护至少10%的沿海和海洋区域	目标2: 消除饥饿, 实现粮食安全, 改善营养状况和促进可持续农业	维护生态系统, 加强适应气候变化的能力, 加强研究和技术开发方面的合作
	目标11: 建设包容、安全、有抵御灾害能力和可持续的城市和人类住区	保全和支持保护沿海社区免于受灾的生态系统
	目标15: 保护、恢复和促进可持续利用陆地生态系统, 可持续管理森林, 防治荒漠化, 制止和扭转土地退化, 遏制生物多样性的丧失	减少自然栖息地的退化和生物多样性的丧失, 防止物种灭绝
	目标17: 加强执行手段, 重振可持续发展全球伙伴关系	改善获取科学、技术和创新的途径, 加强知识共享和技术转让, 开展能力建设
具体目标14.6: 到2020年, 禁止某些助长过剩产能和过度捕捞的渔业补贴, 取消助长非法、未报告和管制捕捞活动的补贴, 避免出台新的这类补贴, 同时承认给予发展中国家和最不发达国家合理、有效的特殊和差别待遇应是世界贸易组织渔业补贴谈判的一个不可或缺的组成部分 <sup>b</sup>	目标8: 促进持久、包容和可持续的经济增长, 促进充分的生产性就业和人人获得体面工作	支持生产性活动
	目标12: 采用可持续的消费和生产模式	实现自然资源的可持续管理和高效利用, 减少生产和供应链环节的粮食损失, 包括收获后损失, 加强科技能力以采用更加可持续的消费和生产模式, 并逐步取消有害补贴
	目标17: 加强执行手段, 重振可持续发展全球伙伴关系	加强可持续发展伙伴关系
具体目标14.7: 到2030年, 增加小岛屿发展中国家和最不发达国家通过可持续利用海洋资源获得的经济收益, 包括可持续地管理渔业、水产养殖业和旅游业	目标1: 在全世界消除一切形式的贫困	减少对环境冲击和灾害的风险敞口, 增强抵御环境冲击和灾害的能力
	目标2: 消除饥饿, 实现粮食安全, 改善营养状况和促进可持续农业	提高农业生产力(包括水产养殖和海水养殖), 确保可持续粮食生产, 维护生态系统和野生物种的遗传多样性
	目标8: 促进持久、包容和可持续的经济增长, 促进充分的生产性就业和人人获得体面工作	为持续经济增长和可持续旅游业提供机会
	目标9: 建造具备抵御灾害能力的基础设施, 促进具有包容性的可持续工业化, 推动创新	加强科学研究, 提升各国特别是发展中国家工业部门的技术能力, 鼓励创新

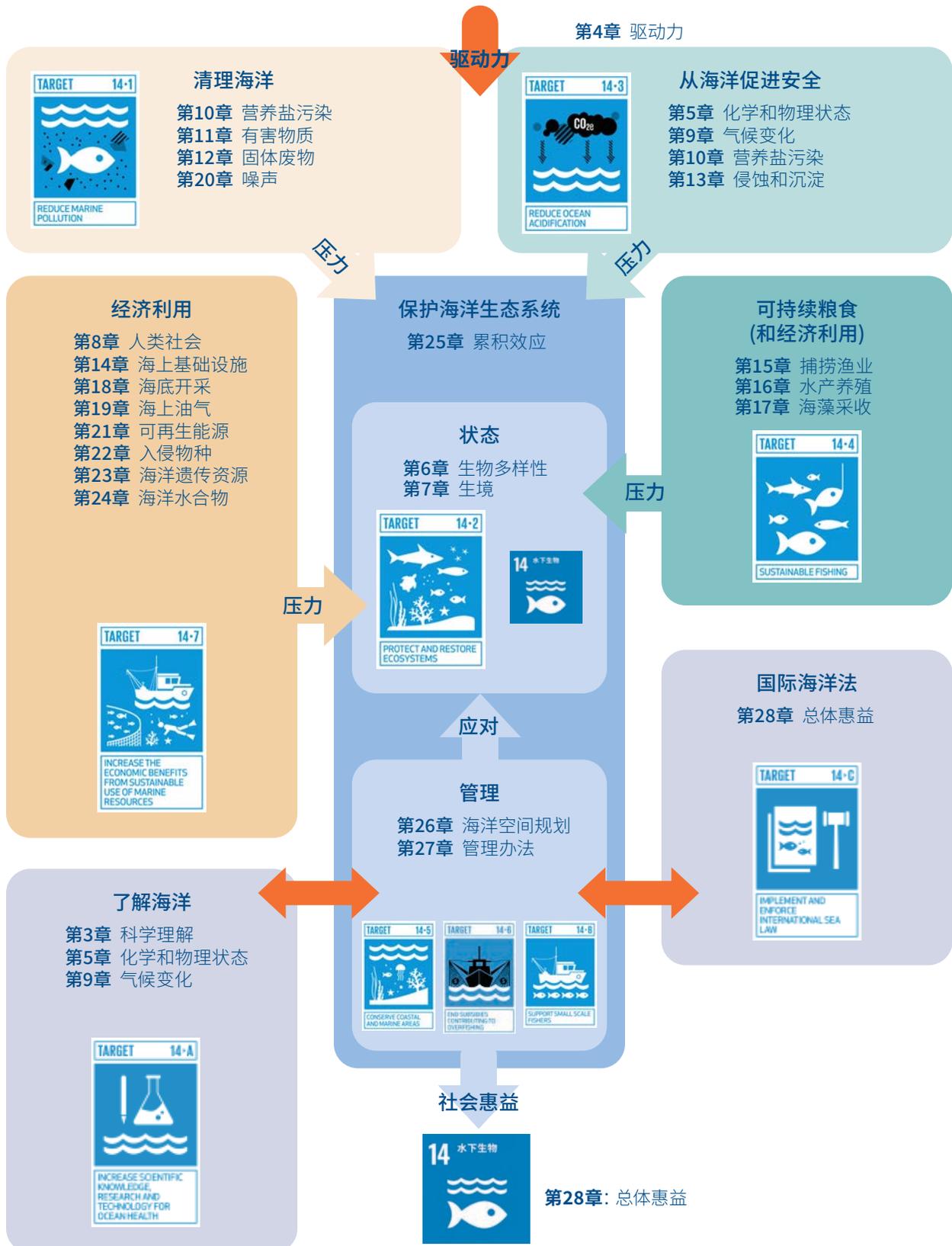
可持续发展目标14项下的具体目标	促进实现目标14的可持续发展目标	机制
	目标12: 采用可持续的消费和生产模式	实现自然资源的可持续管理和高效利用, 加强科技能力
	目标13: 采取紧急行动应对气候变化及其影响 <sup>a</sup>	落实减缓、适应和减轻气候变化影响的措施
	目标17: 加强执行手段, 重振可持续发展全球伙伴关系	改善获取科学、技术和创新的途径, 加强知识共享和技术转让, 开展能力建设
具体目标14.a: 根据政府间海洋学委员会《海洋技术转让标准和准则》, 增加科学知识, 培养研究能力和转让海洋技术, 以便改善海洋的健康, 增加海洋生物多样性对发展中国家, 特别是小岛屿发展中国家和最不发达国家发展的贡献	目标9: 建造具备抵御灾害能力的基础设施, 促进具有包容性的可持续工业化, 推动创新	加强科学研究, 提升各国特别是发展中国家工业部门的技术能力, 鼓励创新
	目标12: 采用可持续的消费和生产模式	实现自然资源的可持续管理和高效利用, 加强科技能力
	目标17: 加强执行手段, 重振可持续发展全球伙伴关系	改善获取科学、技术和创新的途径, 加强知识共享和技术转让, 开展能力建设
具体目标14.b: 向小规模个体渔民提供获取海洋资源和市场准入机会	目标2: 消除饥饿, 实现粮食安全, 改善营养状况和促进可持续农业	提高农业生产力(包括水产养殖和海水养殖), 确保可持续粮食生产, 维护生态系统和野生物种的遗传多样性
	目标8: 促进持久、包容和可持续的经济增长, 促进充分的生产性就业和人人获得体面工作	提高消费和生产的资源使用效率
	目标9: 建造具备抵御灾害能力的基础设施, 促进具有包容性的可持续工业化, 推动创新	加强发展中国家的科学研究和技术开发、研究和创新
	目标12: 采用可持续的消费和生产模式	可持续管理和高效利用自然资源, 利用各种工具监测能创造就业机会、促进地方文化和产品的可持续旅游业对促进可持续发展产生的影响
	目标17: 加强执行手段, 重振可持续发展全球伙伴关系	改善获取科学、技术和创新的途径, 加强知识共享和技术转让, 开展能力建设

可持续发展目标14项下的具体目标	促进实现目标14的可持续发展目标	机制
具体目标14.c: 按照《我们希望的将来》第158段所述, 根据《联合国海洋法公约》所规定的保护和可持续利用海洋及其资源的国际法律框架, 加强海洋和海洋资源的保护和可持续利用	目标2: 消除饥饿, 实现粮食安全, 改善营养状况和促进可持续农业	确保可持续的粮食生产体系, 维护生态系统, 加强适应气候变化、极端天气、干旱、洪水和其他灾害的能力
	目标3: 确保健康的生活方式, 促进各年龄段人群的福祉	减少危险化学品、污染和沾染
	目标6: 为所有人提供水和环境卫生并对其进行可持续管理	减少污染, 改善废水管理, 保护和恢复与水有关的生态系统
	目标7: 确保人人获得负担得起的、可靠和可持续的现代能源	改善能源来源和提高使用效率, 因而相应减少排放
	目标11: 建设包容、安全、有抵御灾害能力和可持续的城市和人类住区	实现可持续城市化, 减少城市对环境的影响, 保护和捍卫文化和自然遗产
	目标12: 采用可持续的消费和生产模式	在商定的国际框架内, 对化学品和所有废物的整个生命周期进行无害环境管理
	目标13: 采取紧急行动应对气候变化及其影响 <sup>a</sup>	实施缓解气候变化、适应气候变化和减轻气候变化影响的措施, 将气候变化措施纳入国家政策、战略和规划
	目标15: 保护、恢复和促进可持续利用陆地生态系统, 可持续管理森林, 防治荒漠化, 制止和扭转土地退化, 遏制生物多样性的丧失	减少自然栖息地的退化和生物多样性的丧失, 防止物种灭绝
	目标16: 创建和平、包容的社会以促进可持续发展, 让所有人都能诉诸司法, 在各级建立有效、负责和包容的机构	在国家 and 国际两级促进法治
目标17: 加强执行手段, 重振可持续发展全球伙伴关系	加强可持续发展的政策一致性	

<sup>a</sup> 确认《联合国气候变化框架公约》是谈判气候变化全球对策的主要政府间国际论坛。

<sup>b</sup> 考虑到世界贸易组织正在进行的谈判、《多哈发展议程》和香港部长级宣言规定的任务。

## 可持续发展目标14项下具体目标与相关章节的比照



# 第二部分

## 导言



# 第 2 章

# 评估方法

**撰稿人：** Maria João Bebianno、Hilconida Calumpang、Sanae Chiba、Karen Evans、Carlos Garcia-Soto、Osman Keh Kamara、Enrique Marschoff、Essam Yassin Mohammed、Henn Ojaveer、Chul Park、Ylenia Randrianarisoa、Renison Ruwa、Jörn Schmidt、Alan Simcock、Anastasia Strati、Joshua T. Tuhumwire、Ca Thanh Vu、王菊英和Tymon Zielinski (海洋环境状况(包括社会经济方面问题)全球报告和评估经常程序专家组)。



## 主旨要点

- 《第二次世界海洋评估》的目的是通过了解自2010年以来全球海洋发生的变化和相关趋势,更新《第一次世界海洋评估》。
- 《评估》还概述了对《第一次评估》中没有完全涵盖的一些方面的理解,例如人为噪声的输入、海洋水合物、积累效应、海洋空间规划和管理办法等。
- 《评估》遵循的是经修改的对动因—压力—状态—影响—回应框架的方法,通过一系列讲习班提供支持,旨在确定评估的具体区域信息和意见、同行审议过程和各国审查过程。

### 1. 《第二次世界海洋评估》的目的

《第二次世界海洋评估》的目的源于海洋环境状况(包括社会经济方面问题)全球报告和评估经常程序的指导原则,大会、大会关于该经常程序的特设全体工作组及其主席团有关决定则就评估的目标和范围作出了规定。总体目标载于工作组关于经常程序拟议框架的建议(A/64/347,附件):

联合国主持下的经常程序将被确认为通过提供全球和超区域定期评估和环境、经济与社会方面的综合观点,持续和系统审查包括社会经济方面在内的海洋环境状况的全球机制。此类评估将促进知情决策,因此有助于根据包括《联合国海洋法公约》在内的国际法和其他有关国际文书和倡议,以可持续的方式管理影响海洋的人类活动。

大会第64/71号决议核可了工作组的建议,大会第71/257号决议重申了经常程序的指导原则及其目标和范围。

关于经常程序的指导原则,工作组在其建议中指出:

经常程序将遵循国际法,包括《联合国海洋法公约》和其他适用的国际文书和倡议,并将参考以下原则:

- (a) 把海洋作为整个地球系统的一部分;

- (b) 各会员国经常评价评估产品和经常程序本身,支持适应性管理;
- (c) 利用完善的科学,推广优秀科学成果;
- (d) 经常分析,确保尽早发现新出现的问题,重大变化和知识差距;
- (e) 不断提高科学和评估能力,包括促进和发展能力建设活动和技术转让;
- (f) 与决策者和其他用户建立有效联系;
- (g) 包容各方,与所有利益攸关方进行交流和接触,通过适当手段让他们参与,包括各个级别上适当的代表性和区域平衡;
- (h) 承认和利用传统及土著知识和原则;
- (i) 经常程序及其产品的透明度和问责制;
- (j) 在各级交流信息;
- (k) 与现有评估进程建立有效联系并予以扩大,特别是在区域和国家一级;
- (l) 经常程序所有活动均应遵守公平地域代表原则。

在第一个周期内,经常程序以及《第一次世界海洋评估》的范围是对海洋的所有方面(环境、社会和经济)做出基线评估。大会在其第72/73号决议中决定,第二个周期的范围将扩大到评价趋势和找出差距。

本《评估》是《第一次评估》的第一次后续行动，目的是提供自2010年以来海洋各方面趋势的全球概览。此外，还载有关于《第一次评估》中没有完

全涵盖的海洋某些方面的报告，包括人为噪声的输入、海洋水合物、积累效应、海洋空间规划和管理办法等。

## 2. 《第二次世界海洋评估》的主要目标读者和框架

经常程序主要向大会负责(见A/65/358)。鉴于经常程序的目标是“支持知情决策，从而有助于以可持续的方式管理影响海洋的人类活动”，本《评估》的主要目标读者是所有部门中将会作出影响海洋环境的决策的人。他们需要能够全面了解整个海洋环境，并将重点放在与各自领域最相关的方面。

本《评估》遵循了第一次评估第3章中讨论的动因—压力—状态—影响—回应框架，并进行了一些修改。这一经修改的办法源于(下文所述)第一轮区域讲习班对评估结构的讨论。因此，在本《评估》之中：

- (a) 阐述了海洋变化的相关动因(第3部分)；
- (b) 描述了海洋环境的主要组成部分，如物种群、生境类型和人类社会，包括海洋工业的现状趋势(第4部分)；
- (c) 确定了压力及其对海洋的影响，包括相关社会经济部分(第5部分)；
- (d) 描述了为应对这些压力和影响而采取的管理措施的发展(第6部分)。

在本部分的其余部分，概述了目前对海洋的科学理解，以便为《评估》提供背景。

## 3. 《第二次世界海洋评估》的编写

根据海洋环境状况全球报告和评估经常程序专家组第二周期职权范围和工作方法，以及专家组编写的对撰稿人的指导意见，本《评估》由专家组和从专家库中抽调的编写小组编写。

设立专家组的目的是监督开展本《评估》所需的工作。专家组由联合国各会员国区域组提名的专家组成。《评估》各章编写人并这些章节草稿的审查人既来自专家组，也来自专家库。该专家库包括在经常程序第一周期的专家库中任职的专家，以及各国专门为第二周期提名的其他专家。

编写本《评估》的过程第一步是由专家组制定出结构。在《第一次评估》的基础上，最初制定的结构由若干部分组成，先是摘要，之后是海洋的四个部分：海洋及其环流；食物网；近岸海和陆架海；以及开阔洋。在2017年举行的第一轮五个区域讲习班上对拟议结构进行了讨论，概述了《第一次评估》的结果，审查了最近的区域评估，并确定了纳入本《评估》的区域优先事项。根据参加讲习班的人员的意见，专家小组修订了《评估》的拟议结

构，以解决提出的两个主要问题：更明确地遵循国际公认的动因—压力—状态—影响—回应框架(Smeets 和Weterings, 1999年)，以及纳入对管理问题的具体涵盖。经修订的结构载于经特设全体工作组第10次会议审议、修订和批准的《本评估》大纲。

为支持各章的编写，2018年举办了第二轮区域讲习班，专家组成员和各国，特别是有关区域提名的专家(包括专家库成员和编写小组的拟任成员)参加了讲习班。讲习班的重点是《评估》的具体章节编写，与会者强调了区域投入、区域能力建设需求和其他问题。

专家组确保有适当的起草小组成员名单，并将其提交特设全体工作组主席团批准。采用了一系列方法来确定编写小组的可能成员：若干具有相关专长的专家已是专家组成员，并在专家组与之联系时，表示同意参与起草工作；编写小组一些成员参加了一个区域讲习班，后被提名为专家库成员；其中一些是在专家组要求提供具体专门知识后或通

过自我提名而增列的。编写小组主要通过电话会议和通信进行他们的工作。

专家组编写了对撰稿人的指导意见, 其中除其他外指出, 需要争取提供一个全球概览、如何描述风险、如何处理不确定性, 以及为经常程序编写和评估材料时的道德操守(联合国大会, 2017年b; 联合国大会, 2018年)。专家组的每一章牵头和共同牵头成员就本章内可接受的信息类型和如何平衡提供了指导。各章编写小组的所有成员应着眼于该章草稿的总体平衡, 尽可能确保各章以现有的最佳数据和资料为基础, 得出的结论是合理且有充足依据的。

## 4. 术语

在对海洋的科学描述中使用的术语和用于描述国家在海洋中权利和义务的法律术语之间有重要的区别。除200海里以外大陆架的某些方面外, 《联合国海洋法公约》划定的海区界限非以地貌标准为依据。

在本《评估》中, 除非另有说明, “大陆架”一词指地貌大陆架, 而不是《公约》所界定的大陆架(特别见第7J、7M和7N章)。地貌大陆架的定义通常基于大陆或岛屿的海底延伸, 直至其坡度明显不连续之处, 即大陆坡开始降至大陆隆或深海平原之处(Hobbs, 2003年)。

## 5. 鸣谢

非常重要, 联合国经常预算为本《评估》提供了资源。这对开展这项工作产生了重大影响。

专家组或专家库成员中无人获得任何工作报酬。

经常程序感谢澳大利亚、巴西、厄瓜多尔、爱沙尼亚、德国、加纳、希腊、印度尼西亚、日本、马耳他、新西兰、帕劳、波兰、葡萄牙、卡塔尔、大韩民国、

每一章的草稿一旦完成并被认为适合同行审议, 就会送交从专家库中挑选出来的至少两名同行审议人进行审议。同行审议人以完全独立的身份行事, 不参与起草他们审议的该章。他们应从总体平衡的角度审议相关章节, 并考虑是否利用了现有最佳数据和资料以及结论是否合理且有充足依据。

在进行了同行审议和随后由编写小组对每一章进行修订之后, 对各章进行了汇编和编辑, 以编制一份整合文件, 供各国审查。在各国审查之后, 编写小组对各章又进行了进一步修订, 并编写出《评估》的最终稿。该稿由专家组提交给特设全体工作组, 供其授权向大会提交。

同样, “开阔洋”一词指地貌大陆架以外(即朝海方向)的深水区水体。它覆盖了地貌大陆架以外区域(远洋区)的整个水体。

“深海”一词是指地貌大陆架以外(即朝海方向)的深水区海底。它是位于深水(一般是深度超过200米的水)的底栖区。

此外, “国家管辖范围以外区域”一词是指《公约》所界定的公海及“区域”(即国家管辖范围以外的海床和洋底及其底土)。

泰国、乌克兰、大不列颠及北爱尔兰联合王国、坦桑尼亚联合共和国和美利坚合众国对本《评估》的支持。政府间海洋学委员会、南太平洋常设委员会和一位匿名私人捐助者也提供了支持。经常程序还感谢爱沙尼亚、爱尔兰、荷兰、新西兰和大韩民国在第二周期对经常程序信托基金的自愿捐款。

## 参考资料

- Hobbs, Carl, III (2003). "Continental Shelf". In *Encyclopedia of Geomorphology*, ed. Andrew Goudie, Routledge, London and New York.
- Smeets, E., and R. Weterings (1999). Environmental indicators: typology and overview. Technical report No. 25/1999. European Environment Agency, Copenhagen.
- United Nations, Ad Hoc Working Group of the Whole of the General Assembly on the Regular Process for Global Reporting and Assessment of the State of the Marine Environment, including Socioeconomic Aspects. Report on the work of the Ad Hoc Working Group of the Whole to recommend a course of action to the General Assembly on the regular process for global reporting and assessment of the state of the marine environment, including socioeconomic aspects (A/64/347, annex, paras. 7 and 9).
- United Nations General Assembly (UNGA) (2010). Resolution 64/71, para. 177. See also resolution 72/73, para. 302.
- \_\_\_\_\_ (2016). Resolution 71/257 (Oceans and the Law of the Sea), para. 299.
- \_\_\_\_\_ (2017a). Resolution 72/73 (Oceans and the Law of the Sea), paras. 304 and 330.
- \_\_\_\_\_ (2017b). Guidance for Contributors: Part I (A/72/494, annex IV).
- \_\_\_\_\_ (2018). Guidance for Contributors: Part II (A/73/74, annex II).

# 第 3 章

# 科学认识海洋

**撰稿人:** 乔冰(召集人)、Paulo Antunes Horta、Nene Bi Trace Boniface、Sanae Chiba (共同牵头成员)、Mohammad Zahedur Rahman Chowdhury、Carlos Francisco Andrade、Antonio Di Natale、Karen Evans、Carlos Garcia-Soto (共同牵头成员)、Enrique R. Marschoff、Colin Moffat、Jocelyne Mpemba Kazadi、Henn Ojaveer、Renison Ruwa (牵头成员)、Jörn Schmidt (共同牵头成员)、Hoinsoude Segniagbeto、Sekou Tidiane Bangoura、殷克东、Tymon Zielinski (共同牵头成员)和Chang-Ik Zhang。



## 主旨要点

- 传感器和自主观察台方面的技术和工程创新大大增加了海洋的观测,并使观测数据收集的时间分辨率和空间分辨率更加精细。
- 推动了区域观测方案之间建立联系并相互协调,使各项努力能够更好地协调和整合,更好地实现观测方法的标准化和(或)统一。
- 全球在大陆区域一级,尤其对非洲、大洋洲和南美洲的认识仍然参差不齐,存在知识差距。
- 大多数观测网络没有纳入海洋的经济、社会和文化方面,因此,缺乏在区域和全球层面以标准化格式记录的关于这些方面的有所侧重、可公开查阅的观测数据;可以通过补充性国民账户方面的工作提供此类观测。

## 1. 导言

本章描述了认识海洋环境的科学基础的变化。循证科学被认为是我们认识世界方方面面的基础。自然科学对于发现和增进对环境的认识尤为重要,而社会科学和人文科学对于认识海洋环境的价值以及人类利用和珍视海洋的行为很重要。这些学科结合在一起,对于认识人类(从个人到社区和社会)在实现可持续利用海洋环境以维护这些价值并确保海洋环境得到保护方面所面临的挑战至关重要。海洋科学越来越多地鼓励学科间和跨学科方法,一些国际供资机构(如生物多样性协会、<sup>1</sup>JPI海洋协会<sup>2</sup>和贝尔蒙特论坛<sup>3</sup>)和国家机构,以及通过科学外交努力和倡议,实施了支持这种方法的新供资计划。<sup>4,5</sup>

本章概述了自第一次《世界海洋评估》(联合国,2017年c)以来,作为我们了解海洋之依据的科学进步以及科学能力的变化。本章总结了科学的

新发展和科学能力的进步,并借鉴了《第一次世界海洋评估》关于对生态系统服务的科学认识的第3章(联合国,2017年a)和关于海洋科学研究的第30章(联合国,2017年b)。然而,本章没有介绍生物多样性和生态系统服务政府间科学与政策平台(生物多样性平台)最近报告(Pascual等人,2017年)中所述生态系统服务概念的最新发展,也没有详细说明报告中关于自然对人类贡献的新概念,这些内容将在本《评估》第28章中阐述。

本章还将探讨自《第一次世界海洋评估》以来与特定学科相关的一般发展,以及它们如何改变了我们对海洋的认识(见第2节)。本章总结了具体区域的主要变化(见第3节),展望了未来几年可能发生的变化(见第4节),概述了现有的知识差距(见第5节)和能力建设差距(见第6节)。

## 2. 描述自《第一次世界海洋评估》以来数据、技术和模型的变化及其对整体认识的影响,包括社会经济影响

继Valdés等人(政府间海洋学委员会(教科文组织海委会),2017年a)后,确定了八类全球海洋科学

研究学科在科学认识上的变化和增长,这八类学科是:(a)海洋生态系统功能和过程;(b)海洋与

<sup>1</sup> 见[www.biodiversa.org](http://www.biodiversa.org)。

<sup>2</sup> 见<http://jpi-oceans.eu>。

<sup>3</sup> 见[www.belmontforum.org](http://www.belmontforum.org)。

<sup>4</sup> 见<https://allatlanticocean.org/main>。

<sup>5</sup> 见<https://meetings.pices.int/>。

气候; (c)洋壳与海洋地质灾害; (d)蓝色增长; (e)海洋健康; (f)人类健康和福祉; (g)海洋技术和工程; (h)海洋观测和海洋数据。与传感器(例如Wang等人, 2019年)和自主观察台(Zolich等人, 2019年)有关的技术和工程创新使海洋数据收集的时间分辨率和空间分辨率更加精细, 并将这些观测活动扩大至遥远区域(Camus等人, 2019年)。成本效益高且便于使用的传感器、移动应用、公民加大参与(例如, Simoniello等人, 2019年)以及在非科研船只上部署传感器等, 也促进了扩大收集海洋观测数据方面的工作(Jiang等人, 2019年)。这增加了我们对海洋物理和生物地球化学系统的认识(例如, Moore等人, 2019年), 并有利于进一步发展灾害预警和预测能力(Luther等人, 2017年)。已经开发出用于准确评估人为二氧化碳排放及其在大气、海洋和陆地生物圈中重新分布情况的数据集和方法(Le Quéré等人, 2018年)。

计算技术和分析大型数据集的统计方法的进步, 例如通过机器学习和人工智能而实现的这些进步, 促进了遥感的发展和海洋数据集的利用, 特别是在渔业监测和监视(Toonen和Bush, 2020年)及生物入侵管理(Koerich等人, 2020年)方面。基因组海洋观测方法的进展, 例如eDNA方法(Ruppert等

人, 2019年), 正在促进我们对海洋中物种分布和组成的认识(Canonico等人, 2019年), 并使我们进一步认识整个区域的食物网、营养联系和物种之间的关联。新的框架和工具得到开发, 用于识别和评估多重压力对海洋生态系统的累积影响效果(Stelzenmüller等人, 2018年; 另见第25章), 探索促进人类社会可持续发展的管理选择(Halpern等人, 2017年; Audzijonyte等人, 2019年)。日本财团和世界大洋深度图“海底2030”项目<sup>6</sup>等项目启动, 并设定了到2030年绘制100%海底地图的宏伟目标。

为了在一个综合体系内进一步发展全球海洋观测, 并确保海洋数据具有可比性, 推动了区域观测方案之间建立联系并相互协调(Moltmann等人, 2019年)。通过全球气候观测系统关键气候变量倡议(Bojinski等人, 2014年)和全球海洋观测系统关键海洋变量倡议(Miloslavich等人, 2018年)等国际倡议, 正在推动观测方法的标准化和(或)统一, 提出了为海洋建立可发现、可访问、可互操作、可重用数据服务和原则(Tanhua等人, 2019年a), 并建立了分享海洋观测最佳做法、数据共享和社区对话的平台(Pearlman等人, 2019年), 以期改善海洋数据的有效利用, 造福社会。

### 3. 各区域的关键变化和后果

#### 3.1. 北冰洋

北极理事会, 包括北极监测和评估方案及保护北极植物群和动物群的环极生物多样性监测方案, 定期发布关于北极陆地、淡水和海洋环境状况的报告。最近的北极生物多样性状况报告(保护北极植物群和动物群, 2017年)、海洋酸化状况报告(北极监测和评估方案, 2018年)和气候变化影响报告(北极监测和评估方案, 2019年)提供了关于北极海洋环境快速变化的新信息, 其中包括与低冰覆盖有关的河流排量增加的信息。河流排量增加导致沿海区域碳和营养物质含量及初级生产量增加。

生产量的这种变化, 以及海藻水华形成时间和强度的变化, 正在对整个食物网产生深远的影响。北极变暖还导致20个物种的引入, 而且经证实, 在过去的15年里, 楚科奇海和波弗特海59个物种的分布范围发生了变化。观测数据显示, 海洋酸化正在严重影响北极食物网, 包括鳕鱼等商业鱼种(北极监测和评估方案, 2019年)。尽管北冰洋发生了巨大变化, 但一些区域和生态系统组成部分仍未得到充分研究, 缺乏长期监测(保护北极植物群和动物群, 2017年)。

<sup>6</sup> 见<https://seabed2030.gebco.net>。

### 3.2. 北大西洋、波罗的海、黑海、地中海和北海

波罗的海联合研究与发展方案<sup>7</sup>在增进对波罗的海的认识方面取得了重大进展。最近注意到一些重大的趋势逆转,例如顶级捕食者的回归,某些鱼类种群的恢复,以及波罗的海营养和有害物质输入的减少(Reusch等人,2018年)。最近为波罗的海开发了一个空间明确的端到端亚特兰蒂斯生态系统模型,目的是评估人为压力对海洋生态系统的效应(Bossier等人,2018年)。在第二次波罗的海生态系统健康整体评估中,赫尔辛基委员会表示,波罗的海的状况虽然呈有限的改善迹象,但《波罗的海行动计划》的目标和生态目标尚未实现。在可获得次区域级信息的主题中,也包含了经济和社会分析的结果(赫尔辛基委员会,2018年)。

保护东北大西洋海洋环境委员会<sup>8</sup>不时公布海洋环境状况的最新信息。根据其评估(保护东北大西洋海洋环境委员会,2017年),海洋保护区扩大,污染物和放射性排放减少,特别是石油和天然气设施的排放减少。然而,富营养化仍然是一个问题;人们注意到海洋垃圾,特别是塑料垃圾增加。虽然一些海洋哺乳动物(例如港湾海豹和灰海豹)的数量在增加,但其他一些动物的数量正在减少,例如港湾鼠海豚和宽吻海豚。在被评估的海洋鸟类物种中,超过四分之一的物种正在减少,海底生境继续受到底拖网捕捞的影响。

根据《保护地中海海洋环境和沿海区域公约》,<sup>9</sup>正在针对地中海的优先问题制定几项精心设计的行动计划。这些问题包括污染、生境和物种保护、气候变化、沿海区综合管理以及资源的可持续利用。

最近在热带北大西洋东部发现了大量局部“死水区”漩涡。在北纬12度以北,这些涡旋将低盐度海水从北大西洋东部边界的涌升区带到公海,而

在北纬12度以南,这些涡旋似乎是在开阔洋中产生(Schütte等人,2016年a)。涡旋核心的耗氧量增加,导致叶绿素浓度增加,使热带北大西洋东部开阔洋水域的总耗氧量增加。这被认为促进了该区域形成浅的最低含氧带(Schütte等人,2016年b)。

### 3.3. 南大西洋和大加勒比海

在观测、认识和预测热带大西洋多重耦合气候变化效应方面取得了重大进展,如大陆降雨、飓风活动、海洋生物生产力、热浪、与赤道太平洋的大气环流、与社会现象的关联及对社会现象的影响、亚马逊的淡水输入(Foltz等人,2019年;Rodrigues等人,2019年)。热带大西洋系泊浮标阵预测和研究<sup>10</sup>已过渡到下一代系泊浮标技术,从而扩大和增强了海洋和气候研究预报的能力。通过反复的水文和志愿船只勘测,获得了更多的原位观测数据。塞内加尔沿海区域的涌升流长期缓解,致使硅藻形成水华。预计这将导致该区域出现缺氧和氮损失(Machu等人,2019年)。需要更深入地认识加勒比海马尾藻水华形成的原因、移动情况和生态影响(Wang和Hu,2017年)。

珊瑚礁预警系统取得了进展,特别是通过新的伙伴关系,包括加勒比共同体气候变化中心与国家海洋和大气管理局的伙伴关系。根据该伙伴关系协定,大西洋海洋和气象实验室(由珊瑚礁保护方案提供部分资助)提供咨询和信息系统支持,包括数据收集浮标编程及将数据传回该实验室。

### 3.4. 印度洋、阿拉伯海、孟加拉湾、红海、亚丁湾和波斯湾

自《第一次世界海洋评估》以来,对印度洋及其生态系统的认识取得了进展,这在很大程度上归功于第二支国际印度洋考察队,该考察队自2015年以来一直在运行,最近从2020年起又延长了5年(Hood等人,2015年;Hood等人,2019年)。该多国

<sup>7</sup> 见[www.bonusportal.org](http://www.bonusportal.org)。

<sup>8</sup> 见[www.ospar.org](http://www.ospar.org)。

<sup>9</sup> 见[www.unep.org/unepmap](http://www.unep.org/unepmap)。

<sup>10</sup> 见<http://pirata.ccst.inpe.br/en/home>。

合作考察队观测到,阿拉伯海西部边界的地下氧气枯竭正在扩大,导致阿拉伯海和孟加拉湾的生态系统发生巨大变化(Gomes等人,2014年;Bristow等人,2017年)。考察队还发现了新的海底峡谷,加深了对印度洋中部盆地、阿拉伯海西部大陆边缘和孟加拉湾西部区域深海结核田海底生境的认识(Hood等人,2019年)。作为考察的一部分,考察队还注意到,由于人类活动,波斯湾的生物地球化学和生态系统发生了巨大变化。考察队还首次报告在营养贫乏的印度洋中部生物地球化学区对初级生产、氮吸收和浮游植物多样性进行了测量(Hood等人,2015年)。

在对印度洋观测系统进行审查后,重新为非洲—亚洲—澳大利亚季风分析和预测系泊浮标设计了研究系泊浮标阵,将阿拉伯海的新地点包括进来,并计划在印度专属经济区外增加8个地点。这些系泊浮标提供近乎实时的海洋学和气象学数据,并可直接提供给气候和天气预测中心,用于气候建模和天气预报(Hermes等人,2019年)。在该系统下部署了越来越多的装有生物地球化学传感器的阿尔戈浮标,促进了对与浮游生物水华和最低含氧带相关的关键过程的认识(Hermes等人,2019年)。

热带太平洋西部的水通过印度尼西亚海域泄入热带印度洋东南部,形成印度尼西亚通流。这一通流是气候信号及气候异常信号在全球海洋中传递的重要途径(Fan等人,2018年;Feng等人,2017年;Iwatani等人,2018年;Lee等人,2019年;Maher等人,2018年;Zhou等人,2016年)。在印度尼西亚海域物理和生物地球化学变化的测量和建模方面,仍然存在诸多不确定性。

### 3.5. 北太平洋

美国综合海洋观测系统的北太平洋部分扩大了沿海监测能力,并开始纳入社会科学学科。这使人们对2014年至2016年阿拉斯加热浪的机制和生态影响有了更深的认识(Yang等人,2019年)。

自《第一次世界海洋评估》以来,北太平洋海洋科学组织<sup>11</sup>在协调北太平洋区域观测网络方面发挥了更大的作用,成为科学家之间分享知识的平台,并在科学与政策制定者之间搭建起桥梁。该组织自《第一次世界海洋评估》以来发布了两期特刊:一期是关于北太平洋海洋酸化和脱氧问题的(Christian和Ono,2019年);另一期是关于2011年日本海啸造成的海洋垃圾的效应(Clarke Murray等人,2019年)。该组织还推进了对气候和生态系统可预测性、藻类和水母水华的驱动因素、海洋生态系统及其提供的服务、人类福祉以及顶级捕食者的认识(Watanuki等人,2016年;Makino和Perry,2017年;Trainer,2017年;Uye和Brodeur,2017年;Zhang等人,2015年;Jang和Curchitser,2018年)。该组织定期编制北太平洋生态系统状况报告,目的是审查和总结北太平洋海洋生态系统的状况和趋势,并考虑正在引发变化或预计将在近期引发变化的因素。第三次报告目前正在编写过程中。该报告将详细介绍整个2010年代北太平洋物理、化学和生物特性的趋势。

中国大力扩展海洋研究能力,包括遥感和原位平台以及陆基基础设施(Chen和Lei,2019年),增强了东南亚离岸水域的监测能力。借助该系统支持,可持续发展以及海洋和气候研究方面的区域合作取得进展。

### 3.6. 南太平洋

对气候变化和海洋变暖效应的新认识,有助于确定南太平洋的主要热点,包括澳大利亚东南部、加拉帕戈斯群岛西部、密克罗尼西亚东部和德雷克海峡,这些地区的变暖速度高于全球平均水平。<sup>12</sup>与此同时,对海洋热浪及其对海洋生态系统影响的描述和认识也取得了进展(Oliver等人,2018年;Fordyce等人,2019年)。对该区域珊瑚礁的评估显示,面对海平面的上升,没有出现广泛的物理不稳定迹象,陆地面积保持稳定(Duvat,2018年)。该区域的观测系统目前正在收集各种海洋观测的时间

<sup>11</sup> 见<https://meetings.pices.int>。

<sup>12</sup> 见[www.marinehotspots.org](http://www.marinehotspots.org)。

序列数据,包括物理化学环境、生物生产力和正在报告趋势和变化的海洋动物的时间序列数据。<sup>13</sup>

南太平洋常设委员会成员(智利、哥伦比亚、厄瓜多尔和秘鲁)之间建立了新的区域伙伴关系,目的是监测和预报海洋和气候变化。<sup>14</sup>最近的热带太平洋观测系统报告<sup>15</sup>提出了重新设计系泊浮标阵的建议,<sup>16</sup>以改善热带太平洋的观测。

澳大利亚政府每五年发布一份关于澳大利亚环境状况的报告,最近一份报告于2016年发布(Clarke和Johnston, 2016年; Evans等人, 2016年; Evans等人, 2018年)。海洋和沿海主题报告的结论是,澳大利亚沿海和海洋环境的总体状况可视为良好。然而,一些压力(如商业和休闲捕鱼)过去造成的影响以及由于目前管理不当的活动而造成的正在持续的压力(如气候变化和海洋垃圾)导致这些环境恶化,并继续对其产生负面效应。因此,人们认为沿海和海洋环境的前景好坏参半,主要取决于气候相关压力不断上升的轨迹以及沿海和海洋开发正在持续扩张的情况。

新西兰也定期发布关于其海洋环境状况的报告,自《第一次世界海洋评估》以来分别于2016年和2019年发布了两份。<sup>17</sup>最新的报告强调了目前存在的问题,包括许多物种和生境受到威胁,污染投入增加,海洋环境沉积物积累增加,船只活动和航运增加,导致非本地物种扩散并造成污染,沿海开发增加,发生与气候变化相关的前所未有的海洋环境变化。值得注意的是,该报告强调,这些压力的积累效应是海洋面临的最紧迫问题。

### 3.7. 南大洋

在南大洋内,南极研究科学委员会和海洋研究科学委员会于2011年联合设立的南大洋观测系统为收集必要的物理、化学和生物海洋学观测数据提

供了便利。在南大洋观测系统框架下运作的区域观测活动网络促进了信息交换、技术转让、测量标准化和数据共享。<sup>18</sup>该系统开发的工具包括一个开放访问的交互式网络平台,允许用户使用环极数据集,促进了科学信息的交流。而用户查询关于即将进行的南大洋考察活动的数据库,能够了解计划进行哪些考察活动(如航行、飞行或穿越),以帮助协调实地活动(Newman等人, 2019年)。该系统为自《第一次世界海洋评估》以来收集到更多的观测数据提供了支持,特别是在监测海洋温度上升(Roemmich等人, 2015年)、南极环极流上空西风增加(Gent, 2016年)以及海洋盐度降低(尤其是在靠近大陆的地方)(Schmidtke等人, 2014年)方面。生物化学传感器的部署增加了对整个南大洋的叶绿素a、硝酸盐、氧、光、光学性质和pH值的测量(Newman等人, 2019年)。具有冰上作业能力的阿尔戈生物浮标正在收集冰封期生物地球化学循环的信息(Briggs等人, 2017年),滑翔机增加了海洋观测数据的收集(Newman等人, 2019年)。已经观察到生态系统的变化对海洋捕食者产生了不同效应;一些阿德利企鹅和颊带企鹅的数量减少,而一些巴布亚企鹅的数量增加(Trivelpiece等人, 2011年; Hinke等人, 2017年; 另见第7K章)。作为磷虾渔业管理的一部分,继续通过《南极海洋生物资源养护公约》对包括企鹅和海豹在内的海洋物种进行长期监测,并正在增加对其觅食行为和数量结构情况的认识(Newman等人, 2019年)。

<sup>13</sup> 见[www.imosoceanreport.org.au](http://www.imosoceanreport.org.au)。

<sup>14</sup> 见[www.met.igp.gob.pe/el\\_nino/enfen](http://www.met.igp.gob.pe/el_nino/enfen)。

<sup>15</sup> 见<http://tpos2020.org>。

<sup>16</sup> 见[www.pmel.noaa.gov/gtmba/mission](http://www.pmel.noaa.gov/gtmba/mission)。

<sup>17</sup> 见[www.mfe.govt.nz](http://www.mfe.govt.nz)。

<sup>18</sup> 见<http://soos.aq/activities/cwg/soflux>。

## 4. 科学认识海洋的前景

进一步的科学研究将有助于评估可持续发展目标14各项具体目标的实现情况，特别是在联合国海洋科学促进可持续发展十年期间。<sup>19</sup>作为联合国海洋十年的一部分，人们认识到，实现《2030年可持续发展议程》需要涉及众多学科和社会部门的创新科学方法。对一般海洋和沿海观测，2019年海洋观测会议<sup>20</sup>提出了一系列建议，除其他外，重点强调了：维持海洋观测；与用户和利益攸关方建立联系；确定观测的社会效益；进一步制定海洋指标；形成跨学科的研究方法。现已开始制定路线图，以进一步推动包含并整合非生物观测和生物观测、超越传统观测技术的全球海洋观测系统的

发展(Speich等人，2019年)。随着计算技术和分析方法的进步，eDNA研究的成果将有助于对生物多样性观测数据进行分析，从而改进生态系统模型的信息输入，并将观测结果用于基于生态系统的管理。

《国际船舶压载水及沉积物控制和管理公约》于2017年生效。<sup>21</sup>该公约旨在通过建立船舶压载水及沉积物管理和控制的标准和程序，防止有害水生生物从一个区域扩散到另一个区域。需要进一步开展科学工作，包括在观测数据和技术发展的基础上开展工作，获取必要的证据和知识，协助管理者和利益攸关方(包括政府当局)执行《公约》。

## 5. 知识方面仍然存在的主要差距

近期的科学挑战涉及以下主题：认识和预测厄尔尼诺—南方涛动事件及海洋生态系统临界点、量化多重压力对海洋环境的积累效应、制定适应性管理方法并使其更具可操作性，以及鼓励在海洋生态系统评估和管理中更广泛地考虑和整合地方、传统和土著知识。

全球对大陆区域一级的认识仍然参差不齐，存在知识差距。现有的大多数研究和资料(基于出版物数量)是关于北大西洋、北太平洋和北冰洋的。对于其他地区，特别是非洲、大洋洲和南美洲(教科文组织海委会，2017年b)，可获取的信息较少。

及时传播收集到的测量数据，对于在当今相互联系的海洋预测和监测系统中有效利用数据非常重要。提供数据以及质量控制软件对于最大限度地利用海洋观测数据至关重要。

目前，大多数全球观测网络没有纳入海洋的经济、社会和文化方面，因此，缺乏在区域和全球层面

以标准化格式记录的关于海洋系统这些方面的有所侧重、可公开查阅的持续观测数据(Evans等人，2019年)。以可用格式汇编经济、社会和文化信息，将其纳入全球综合评估框架，需要付出相当大的努力，这往往超出参与为本《评估》撰稿的个人或群体的能力。在这一领域扩大目前的观测框架，纳入对海洋的经济、社会和文化方面的持续、标准化的监测，将大大改善在《评估》框架内进行的评估(Evans等人，2019年)。生物多样性平台明确显示，我们不仅需要提高能力，以监测生物多样性，还需要认识其功能以及人类活动(以及气候变化)对生物多样性的影响(生物多样性平台，2019年)。全球海洋观测系统正在开发的变量的目标之一是扩大对人类活动给海洋生态系统带来的压力的观测，将海洋噪声和海洋垃圾(包括塑料)包括进来。

《评估》的产出可以帮助指导确定这些变量的进程，并且因此提供一条共同途径，进一步改进有助于未来评估的观测数据。

<sup>19</sup> 见大会第72/73号决议；另见[www.oceandecade.org](http://www.oceandecade.org)。

<sup>20</sup> 见[www.oceanobs19.net/sessions](http://www.oceanobs19.net/sessions)。

<sup>21</sup> 国际海事组织，BWM/CONF/36号文件，附件；另见[www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Control-and-Management-of-Ships'-Ballast-Water-and-Sediments-\(BWM\).aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Control-and-Management-of-Ships'-Ballast-Water-and-Sediments-(BWM).aspx)。

## 6. 能力建设方面仍然存在的主要差距

全球对科学知识的认识的增进取决于全球各大陆区域能否实现研究工作的一致性。全球研究工作的一致性进一步取决于如何通过伙伴关系分配和分享先进的基础设施、专业化科学人力资源和技术。许多自然科学学科,如物理、化学、生物海洋学和海洋地质学,都需要考察船或其他专门设备和升级的现代技术,并需要配备现代设备的陆基实验室的支持,以支持对全球海洋整个深度范围的研究调查。需要利用卫星对海洋进行遥感研究,以提供进一步的支持。还需要创新的具有成本效益的原位观察工具和方法。

目前,由于区域基础设施能力和专业人员能力的差异,各区域的科学认识水平是不均衡的。这种差异因而影响到参与竞争性海洋研究的可能性,这反过来又导致在区域一级对海洋的科学认识存在差异。

为了提高对厄尔尼诺—南方涛动和其他海洋气候变化的预测能力,需要加强海洋观测系统,并促进与区域国家的伙伴关系,以提高当地的能力。<sup>22</sup>为

了监测物理和生物地球化学环境的重大变化及其对生态系统和社会的影响,需要进一步整合多学科观测数据,并减少预测模型的不确定性。为维持整合的观测系统,还需要在供资战略方面进行创新。

海洋科学界提出了下一个十年的行动计划(Speich等人,2019年),其中包括努力提高海洋信息价值链的效率(Tanhua等人,2019年b)。为最大限度地发挥海洋数据的社会使用价值,应简化理顺每项服务、科学观测、数据汇编和管理以及政策的界面。例如,必须以统一的方式执行观测系统整合及可发现、可访问、可互操作、可重用数据原则。本《评估》的目的是使科学知识能够作为非学术用户可以使用和理解的信息来传播,从而成为海洋数据价值链中的重要一环。

需要进一步整合当地、传统和土著知识,把促进合作从而为确认协同增效和共享交换信息创造机会的相关概念(Wright等人,2019年)作为最佳做法推广。

## 参考资料

- Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP) (2018). *AMAP Assessment 2018: Arctic Ocean Acidification*. Tromsø, Norway: AMAP.
- \_\_\_\_\_ (2019). *AMAP Climate Change Update 2019: An Update to Key Findings of Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) 2017*. Oslo, Norway: AMAP, p. 12.
- Audzijonyte, Asta, and others (2019). Atlantis: a spatially explicit end-to-end marine ecosystem model with dynamically integrated physics, ecology and socio-economic modules. *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 10, No. 10, pp. 1814–1819. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13272>.
- Bojinski, Stephan, and others (2014). The concept of essential climate variables in support of climate research, applications, and policy. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 95, No. 9, pp. 1431–1443.
- Bossier, Sieme, and others (2018). The Baltic Sea Atlantis: An integrated end-to-end modelling framework evaluating ecosystem-wide effects of human-induced pressures. *PLoS One*, vol. 13, No. 7.
- Briggs, Ellen M., and others (2017). Physical and biological drivers of biogeochemical tracers within the seasonal sea ice zone of the Southern Ocean from profiling floats. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(2), pp. 746–758. <https://doi.org/10.1002/2017JC012846>.

<sup>22</sup> 见<http://soos.aq/activities/cwg/soflux>。

- Bristow, L.A., and others (2017). N<sub>2</sub> production rates limited by nitrite availability in the Bay of Bengal oxygen minimum zone. *Nature Geoscience*, vol. 10, No. 1, pp. 24–29. <https://doi.org/10.1038/ngeo2847>.
- Camus, Lionel, and others (2019). Autonomous surface and underwater vehicles reveal new discoveries in the arctic ocean. In *OCEANS 2019-Marseille*, pp. 1–8. IEEE.
- Canonico, Gabrielle, and others (2019). Global observational needs and resources for marine biodiversity. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 367. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00367>.
- Chen, Lianzeng, and Bo Lei (2019). Marine science and technology development over the past 70 years in China. *Haiyang Xuebao*, 41(10): 3–22. <https://doi.org/10.3969/j.issn.0253-4193.2019.10.002>.
- Christian, James R., and Tsuneo Ono, eds. (2019). *Ocean Acidification and Deoxygenation in the North Pacific Ocean*. PICES Special Publication 5. North Pacific Marine Science Organization (PICES).
- Clark G.F., and E.L. Johnston (2016). Coasts: coasts. In *Australia State of the Environment 2016*. Canberra: Australian Government Department of the Environment and Energy. <https://soe.environment.gov.au/theme/coasts>.
- Clarke Murray, Cathryn, and others, eds. (2019). *The Effects of Marine Debris Caused by the Great Japan Tsunami of 2011*. PICES Special Publication 6. North Pacific Marine Science Organization (PICES).
- Commission for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic (2017). *Intermediate Assessment 2017*. <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/intermediate-assessment-2017>.
- Conservation of Arctic Flora and Fauna (CAFF) (2017). State of the Arctic Marine Biodiversity. [www.arcticbiodiversity.is/marine](http://www.arcticbiodiversity.is/marine).
- Delory, E., and J. Pearlman, eds. (2018), *Challenges and Innovations in Ocean: In Situ Sensors*, 1st edition. ISBN: 9780128098868.
- Duvat, Virginie K.E. (2018). A global assessment of atoll island planform changes over the past decades. *WIREs Climate Change*, vol. 10, No. 1, p. e557. <https://doi.org/10.1002/wcc.557>.
- Dziak, R.P., and others (2017): Ambient sound at Challenger Deep, Mariana Trench. *Oceanography*, 30(2), 186–197, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2017.240>.
- Evans, Karen, and others (2016). Marine environment: marine environment. In *Australia State of the Environment 2016*. Canberra: Australian Government Department of the Environment and Energy. Canberra.
- Evans, Karen, and others (2019). The global integrated world ocean assessment: linking observations to science and policy across multiple scales. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 298. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00298>.
- Evans, Karen, and others (2018). Enhancing the robustness of a national assessment of the marine environment. *Marine Policy*, vol. 98, pp. 133–145. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.08.011>.
- Fan, W., and others (2018) Variability of the Indonesian Throughflow in the Makassar Strait over the Last 30ka. *Scientific Reports*, 8(1):5678. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24055-1>.
- Feng, M., and others (2017). Contribution of the deep ocean to the centennial changes of the Indonesian Throughflow. *Geophysical Research Letters*, 44(6): 2859–2867. <https://doi.org/10.1002/2017GL072577>.
- Fernandez C., and others (2019). Temporal and spatial variability of biological nitrogen fixation off the upwelling system of central Chile (35–38.5°S), *Journal of Geophysical Research Oceans*, , vol. 120, pp.3330–3349. <https://doi.org/10.1002/2014JC010410>.
- Foltz, G.R., and others (2019). The tropical Atlantic observing system. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 206. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00206>.
- Fordyce, Alexander J., and others (2019). Marine Heatwave Hotspots in Coral Reef Environments: Physical Drivers, Ecophysiological Outcomes, and Impact Upon Structural Complexity. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 498. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00498>.

- Gent, Peter R. (2016). Effects of Southern Hemisphere wind changes on the meridional overturning circulation in ocean models. *Annual Review of Marine Science*, vol. 8, No. 1, pp. 79–94. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-122414-033929>.
- Gomes, Helga do Rosário, and others (2014). Massive outbreaks of noctiluca scintillans blooms in the Arabian Sea due to spread of hypoxia. *Nature Communications*, vol. 5, No. 1, p. 4862. <https://doi.org/10.1038/ncomms5862>.
- Halpern, Benjamin S., and others (2017). Drivers and implications of change in global ocean health over the past five years. *PLOS ONE*, vol. 12, No. 7, pp. 1–23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178267>.
- Helsinki Commission (2018). State of the Baltic Sea: second HELCOM holistic assessment 2011-2016. In *Baltic Sea Environment Proceedings 155*. Helsinki, Finland.
- Hermes, J.C., and others (2019). A sustained ocean observing system in the Indian Ocean for climate related scientific knowledge and societal needs. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 355. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00355>.
- Hinke, Jefferson T., and others (2017). Variable vital rates and the risk of population declines in Adélie penguins from the Antarctic Peninsula region. *Ecosphere*, vol. 8, No. 1, p. e01666. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1666>.
- Hood, Raleigh R., and others (2015). *Science Plan of the Second International Indian Ocean Expedition (IIOE-2): A Basin-Wide Research Program*. Newark, Delaware: Scientific Committee on Oceanic Research.
- Hood, Raleigh R., and others (2019). The second International Indian Ocean Expedition (IIOE-2): Motivating new exploration in a poorly understood ocean basin (volume 2). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 166, pp. 3–5. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2019.07.016>.
- Huang, Zhi, and Xiao Hua Wang (2019). Mapping the spatial and temporal variability of the upwelling systems of the Australian south-eastern coast using 14-year of MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, vol. 227, pp. 90–109.
- Intergovernmental Oceanographic Commission (UNESCO-IOC) (2017a). *Global Ocean Science Report: The Current Status of Ocean Science around the World*. ed. Luis Valdés. Paris: UNESCO Publishing.
- \_\_\_\_\_ (2017b). Research productivity and science impact. In *Global Ocean Science Report: The Current Status of Ocean Science around the World*, ed. Luis Valdés. Paris: UNESCO Publishing.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) (2019). *Summary for Policymakers of the Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*, IPBES/7/10/Add.1.
- Jang, Chan Joo, and Enrique Curchitser, eds. (2018). Report of working group 29 on regional climate modeling. *PICES Scientific Report*, No. 54, pp. 1–177.
- Iwatani, Hokuto, and others (2018). Intermediate-water dynamics and ocean ventilation effects on the Indonesian Throughflow during the past 15,000 years: Ostracod evidence. *Geology*. <https://doi.org/10.1130/G40177.1>.
- Jiang, Zong-Pei, and others (2019). Enhancing the observing capacity for the surface ocean by the use of Volunteer Observing Ship. *Acta Oceanologica Sinica*, vol. 38, No. 7, pp. 114–120. <https://doi.org/10.1007/s13131-019-1463-3>.
- Koerich, Gabrielle, and others (2020). How experimental physiology and ecological niche modelling can inform the management of marine bioinvasions? *Science of The Total Environment* 700: 134692. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134692>.
- Lee, T., and others (2019). Maritime Continent water cycle regulates low-latitude chokepoint of global ocean circulation. *Nature Communications*. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10109-z>.
- Le Quéré, C., and others (2018). Global carbon budget 2018. *Earth System Science Data*, vol. 10, No. 4, pp. 2141–2194. <https://doi.org/10.5194/essd-10-2141-2018>.

- Luther, Jochen, and others (2017). World Meteorological Organization: Concerted International Efforts for Advancing Multi-hazard Early Warning Systems. In *Advancing Culture of Living with Landslides*, eds. Kyoji Sassa, Matjaž Mikoš, and Yueping Yin, pp. 129–41. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Machu, E., and others (2019). First evidence of anoxia and nitrogen loss in the southern Canary upwelling system. *Geophysical Research Letters*, vol. 46, No. 5, pp. 2619–2127. <https://doi.org/10.1029/2018GL079622>.
- Maher, N., and others (2018). Role of Pacific trade winds in driving ocean temperatures during the recent slowdown and projections under a wind trend reversal. *Climate Dynamics*, 51(1-2):321-336. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3923-3>.
- Makino, Mitsutaku, and R. Ian Perry, eds. (2017). Marine Ecosystems and Human Well-being: The PIC-ES-Japan MAFF MarWeB Project. *PICES Scientific Report*, No. 52, pp. 1–234.
- Miloslavich, Patricia, and others (2018). Essential ocean variables for global sustained observations of biodiversity and ecosystem changes. *Global Change Biology*, vol. 24, No. 6, pp. 2416–2133. <https://doi.org/10.1111/gcb.14108>.
- Molina, Verónica, and Laura Farías (2009). Aerobic ammonium oxidation in the oxycline and oxygen minimum zone of the eastern tropical South Pacific off northern Chile (~20°S). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 56, pp. 1032–1041. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2008.09.006>.
- Moltmann, Tim, and others (2019). A Global Ocean Observing System (GOOS), delivered through enhanced collaboration across regions, communities, and new technologies. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 291. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00291>.
- Moore, Andrew M., and others (2019). Synthesis of ocean observations using data assimilation for operational, real-time and reanalysis systems: a more complete picture of the state of the ocean. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 90. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00090>.
- Newman, Louise, and others (2019). Delivering sustained, coordinated, and integrated observations of the Southern Ocean for global impact. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 433. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00433>.
- Oliver, Eric C.J., and others (2018). Marine heatwaves off eastern Tasmania: trends, interannual variability, and predictability. *Progress in Oceanography*, vol. 161, pp. 116–130.
- Pascual, Unai, and others (2017). Valuing nature's contributions to people: the IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 26–27, pp. 7–16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006>.
- Pearlman, Jay, and others (2019). Evolving and sustaining ocean best practices and standards for the next decade. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 277. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00277>.
- Reusch, Thorsten B.H., and others (2018). The Baltic Sea as a time machine for the future coastal ocean. *Science Advances*, vol. 4, No. 5. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aar8195>.
- Rignot, Eric, and others (2002). Rapid bottom melting widespread near Antarctic Ice Sheet grounding lines. *Science (New York)*, 296(5575): 2020–3. <https://doi.org/10.1126/science.1070942>.
- Rodrigues, R.R., and others (2019). Common cause for severe droughts in South America and marine heatwaves in the South Atlantic. *Nature Geoscience*, 12(8), 620–626. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0393-8>.
- Roemmich, Dean, and others (2015). Unabated planetary warming and its ocean structure since 2006. *Nature Climate Change*, vol. 5, No. 3, pp. 240–45. <https://doi.org/10.1038/nclimate2513>.
- Ruppert, Krista M., and others (2019). Past, present, and future perspectives of environmental DNA (eDNA) metabarcoding: A systematic review in methods, monitoring, and applications of global eDNA. *Global Ecology and Conservation*, vol. 17, p. e00547. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00547>.

- Schmidtko, Sunke, and others (2014). Multidecadal warming of Antarctic waters. *Science*, vol. 346, No. 6214, pp. 1227–1231. <https://doi.org/10.1126/science.1256117>.
- Schütte, Florian, and others (2016a). Occurrence and characteristics of mesoscale eddies in the tropical northeastern Atlantic Ocean. *Ocean Science*, 12(3), pp. 663–685. <https://doi.org/10.5194/os-12-663-2016>.
- Schütte, Florian, and others (2016b). Characterization of “dead-zone” eddies in the tropical northeast Atlantic Ocean. *Biogeosciences (BG)*, 13, pp. 5865–5881.
- Simoniello, Christina, and others (2019). Citizen-science for the future: advisory case studies from around the globe. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 225. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00225>.
- Speich, Sabrina, and others (2019). Editorial: OceanObs’19: an ocean of opportunity. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 570. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00570>.
- Stelzenmüller, Vanessa, and others (2018). A risk-based approach to cumulative effect assessments for marine management. *Science of The Total Environment*, vol. 612, pp. 1132–1140. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.289>.
- Tanhua, Toste, and others (2019a). Ocean fair data services. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 440.
- Tanhua, Toste, and others (2019b). What we have learned from the framework for ocean observing: evolution of the global ocean observing system? *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 471. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00471>.
- Toonen, Hilde M., and Simon R. Bush (2020). The digital frontiers of fisheries governance: fish attraction devices, drones and satellites. *Journal of Environmental Policy & Planning*, vol. 22, No. 1, pp. 125–137. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2018.1461084>.
- Trainer, Vera L., ed. (2017). Conditions Promoting Extreme Pseudo-nitzschia Events in the Eastern Pacific but not the Western Pacific. *PICES Scientific Report*, No. 53, pp. 1–52.
- Trivelpiece, Wayne Z., and others (2011). Variability in krill biomass links harvesting and climate warming to penguin population changes in Antarctica. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 108, No. 18, pp. 7625–7628. <https://doi.org/10.1073/pnas.1016560108>.
- United Nations (2017a). Chapter 3: Scientific understanding of ecosystem services. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2017b). Chapter 30: Marine scientific research. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2017c). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Uye, Shin-ichi, and Richard D. Brodeur, eds. (2017). Report of working group 26 on jellyfish blooms around the North Pacific rim: causes and consequences. *PICES Scientific Report*, No. 51, pp. 1–222.
- Wang, M.Q., and C.M. Hu (2017). Predicting sargassum blooms in the Caribbean Sea from MODIS observations. *Geophysical Research Letters* 44: 3265–3273. <https://doi.org/10.1002/2017GL072932>.
- Wang, Zhaohui Aleck, and others (2019). Advancing observation of ocean biogeochemistry, biology, and ecosystems with cost-effective in situ sensing technologies. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 519. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00519>.
- Watanuki, Yutaka, and others, eds. (2016). Spatial ecology of marine top predators in the North Pacific: tools for integrating across datasets and identifying high use areas. *PICES Scientific Report*, No. 50, pp. 1–55.
- Wright, A.L., and others (2019). Using two-eyed seeing in research with indigenous people: an integrative review. *International Journal of Qualitative Methods*. <https://doi.org/10.1177/1609406919869695>.
- Yang, Qiong, and others (2019). How “The Blob” affected groundfish distributions in the Gulf of Alaska. *Fisheries Oceanography*, vol. 28, No. 4, pp. 434–453. <https://doi.org/10.1111/fog.12422>.

- Zhang, Chang Ik, and others (2015). An extended ecosystem-based fisheries assessment. In *Proceedings of the Twelfth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment*, MEDCOAST 15, 6–10 October 2015, Varna, Bulgaria, E. Ozhan (ed.), vol. 1467–1490.
- Zhou, L., and others (2016). A Central Indian Ocean Mode and Heavy Precipitation during Indian Summer Monsoon. *Journal of Climate*, 30(6):2055-2067. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0347.1>.
- Zolich, Artur, and others (2019). Survey on communication and networks for autonomous marine systems. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 95, No. 3, pp. 789–813. <https://doi.org/10.1007/s10846-018-0833-5>.

# 第三部分

# 海洋环境变化的

# 驱动因素



# 第 4 章

# 驱动因素

撰稿人: Chang Ik Zhang (召集人)、Karen Evans (共同牵头成员)、Andrew F. Johnson、Osman Keh Kamara (共同牵头成员)、Renison Ruwa (牵头成员)、Jörn Schmidt (共同牵头成员)和Thomas W. Therriault。



## 主旨要点

- 对海洋环境及其可持续性影响最大的驱动因素是：(a)人口增长和人口结构变化；(b)经济活动；(c)技术进步；(d)不断变化的治理结构和地缘政治不稳定性；(e)气候变化。
- 驱动因素和压力(及其影响)之间的关系是复杂和动态的，其相互关联性导致压力之间的累积相互作用和效应。
- 由于全球人口分布和人口结构的差异、经济发展程度、技术能力和气候变化的不均衡效应，驱动因素因区域而异，因此人类活动和压力在全球各地存在差异。最显著的差异是温带和热带地区以及发达地区和最不发达地区之间的差异。
- 通过综合建模框架，可以找到可持续的海洋利用方式，在该框架内，可以探索包括人口和经济变化、治理结构以及气候变化对海洋产业和环境的效应在内的多部门情景，从而提供全系统方法。

## 1. 导言

动因—压力—状态—影响—响应概念框架(Smeets和Weterings, 1999年)是评估生态系统变化的原因和后果以及为应对这种变化可能采取行动的一种广泛使用的方法。自制定这一方法以来，它得到了进一步的完善，并构想出许多衍生品，以作出限制规定并将该框架应用于特定环境(例如Patricio等人, 2016年)。尽管有许多变体，但基本框架有助于描述人类活动对环境的影响，并可用于为决策和政策制定提供信息(Maxim等人, 2009年)。在构建《第二次评估》的结构时采用了该框架，第二章对该框架进行了详细描述。

本章侧重于海洋环境变化的驱动因素、自《第一次评估》(联合国, 2017年a)以来这些因素的发展以及未来的预期变化。《第一次评估》尽管在一些章节中考虑了海洋环境变化的驱动因素，但未加具体详细描述。

目前还没有一套普遍商定的为海洋环境界定的驱动因素。不同的方案和评估程序以不同的方式界定了驱动因素，在某些情况下，驱动因素和压力，无论是自然的还是人为的，都可以互换使用。在《千年生态系统评估》中，驱动因素被界定为直接或间接导致生态系统变化的任何自然或人为因素

(《千年生态系统评估》，2003年)。生物多样性和生态系统服务政府间科学与政策平台在其全球评估中采用了类似的方法，确定驱动因素是人类对自然的直接影响，以及影响自然的人类选择背后的因素(Balvanera等人, 2019年)。欧洲环境署仅将人为因素视为驱动因素(欧洲环境署, 2005年)，而政府间气候变化专门委员会将全球排放背景下的驱动因素界定为直接或间接导致温室气体排放的因素(Blanco等人, 2014年)。

在本评估中，驱动因素被描述为各社会中给海洋环境施加压力的社会、人口和经济发展，包括生活方式以及相关消费和生产模式的变化(欧洲环境署, 2019年)，详见第5部分。压力是在自然过程所致变化之外发生的、导致海洋环境状况变化的直接因素(联合国环境规划署, 2019年)。对海洋环境及其可持续性影响最大的驱动因素是：

- (a) 人口增长和人口结构变化；
- (b) 经济活动；
- (c) 技术进步；
- (d) 不断变化的治理结构和地缘政治不稳定性；
- (e) 气候变化。<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 严格地说，驱动因素是导致气候变化的温室气体的增加。然而，“气候变化”一词被广泛用于描述直接或间接改变全球大气构成的人类活动。

全球人口的增加，加上全球经济增长和技术变革，导致了生活方式的改变，从而增加了对资源的需求，包括对粮食、能源和稀土元素、沙子和金属等自然资源的需求。人口增长及其相关需求正在导致温室气体排放量、包括塑料在内的废物产生量、农业生产中化学品使用量、能源生产量和资源开采量的增加。

驱动因素和压力及其影响之间的关系是复杂和动态的，之间具有相互关联性。例如，技术进步可以影响经济增长，而不断变化的治理制度可以影响技术的获取和使用。随着富裕程度的提高和技术

的普及，可以提高资源开采的效率，从而给海洋带来更大的压力(另见第2节)。

制定可持续发展目标<sup>2</sup>是为了将人类有关可持续和公平未来的愿望转化为具体的发展目标，同时明确认识到不利的生态威胁以及减轻这些威胁所需采取的战略(联合国，2007年b)。虽然关于水下生物的目标14直接处理海洋环境问题，但各可持续发展目标是相互关联的，其中一个目标取得的进展影响着其他目标。因此，实现海洋环境的可持续利用将取决于能否成功处理好所有目标(国际科学理事会，2017年)。

## 2. 海洋环境变化的驱动因素

### 2.1. 人口增长和人口结构变化

尽管全球人口从2011年的70亿增加到2019年的77亿，<sup>3</sup>但增长率一直在稳步下降，从1968年的2.1%下降到2019年的1.08%。对全球人口增长的预测表明，到2050年，平均人口规模将达到97亿，这种增长是不均衡但持续的，变化率较低。增长率下降与出生人数下降有关，再加上死亡率降低和健康标准提高导致寿命延长，意味着全球人口的平均年龄正在上升(Baxter等人，2017年)。

国际移民人数从2000年的全球人口2.8%增加到2019年的3.5%(联合国经济和社会事务部(联合国经社部)人口司，2019年a)。大多数移民发生在同一区域内的国家之间，但北美和大洋洲除外，这两个地区分别有97.5%和87.9%的国际移民出生于另一个区域(联合国经社部，2019年a)。

超过6亿人生活在海拔10米以下的沿海地区，近25亿人生活在距海岸100公里以内的地区(联合国经社部，2019年b)。这些地区的人口增长率和城市化速度高于内陆地区(Neumann等人，2015年)。这种增长给沿海地区带来了许多经济惠益，包括交通

改善和贸易、旅游和粮食生产的增加，以及社会、娱乐和文化惠益(Clark和Johnston，2017年)。然而，随着这些地区人口的增长，这给沿海生态系统带来了越来越大的压力。不断增加的全球人口对海洋环境造成压力的程度各不相同，这取决于一系列因素，包括人们在何处生活和如何生活、生产能源、粮食和物料、提供运输和管理所产生的废物所消耗的资源以及使用的技术。第八章和第五部分详细描述了全球人口变化对沿海地区、海洋资源利用和废物产生的影响。

### 2.2. 经济活动

以人均国内生产总值(GDP)衡量的经济增长在全球范围内稳步增长，尽管由于贸易量下降而有所放缓。<sup>4</sup>2019年上半年的增长率为1%，为2012年以来的最低水平(国际货币基金组织，2019年)。全球人口的平均经济增长(经济增长存在巨大的地理差异，如第3节所述)，导致个人平均年收入从1950年的3 300美元增加到2016年的14 574美元。增长放缓在很大程度上与制造业和贸易疲软有关。相比之下，旅游业等服务业有所增长(国际货币基金组织，2019年)。

<sup>2</sup> 见大会第70/1号决议。

<sup>3</sup> 见<https://population.un.org/wpp/Graphs/DemographicProfiles/Line/900>。

<sup>4</sup> 见<https://ourworldindata.org/global-economic-inequality>。

随着全球人口的增长,对商品和服务的需求也在增加,随之而来的是能源消耗和资源使用的增加。了解经济活动增加和自然资源利用之间的关系对于确定未来的可持续性和限制与开采、生产、消耗和废物产生相关的影响至关重要(Jackson, 2017年)。

能源总需求从2014年的13 267百万吨石油当量增长到2018年的13 978百万吨石油当量。<sup>5</sup>与此同时,初级能源强度(衡量全球经济能源使用量的指标)从2017年的1.7%减缓至2019年的1.2%(国际能源署, 2019年a)。效率减缓(即固定能源使用量产生的GDP)是一系列短期因素的结果,例如化石燃料发电量的增长,以及较长期的结构性变化,例如向耗费能源较少的行业转型的放缓。与此同时,自2014年以来,以提高能效为目标的投资一直保持稳定。2015年至2018年间,技术效率的提高减少了35亿吨与能源相关的二氧化碳排放(国际能源署, 2019年a)。此外,随着许多国家转向将依赖可再生能源生产作为减少温室气体排放努力的一部分的能源战略,可再生能源的生产也有所增长。海洋能源生产是许多战略发展的一部分,从2014年的1万亿瓦小时增长到2018年的1.2万亿瓦小时(国际能源署, 2019年b)。第19章和第21章详细介绍了能源生产的变化,包括海洋可再生能源和对海洋环境产生的压力。

随着全球人口的增长,与海洋资源开采相关的经济活动也在继续增长。2016年,海洋和淡水粮食生产是全球约5 960万人的关键蛋白质供应来源和收入来源,这比2014年的5 660万人有所增长。虽然海洋捕捞渔业一直稳定在8 000万吨左右,但海产养殖正在稳步增加,从2014年的2 680万吨增加到2016年的2 870万吨(联合国粮食及农业组织, 2018年)。第15至17章详细描述了海洋粮食生产需求增加的影响,包括过度捕捞、濒于灭绝的物种的兼捕以及捕鱼和水产养殖造成的生境丧失或退化。

许多国家正在制定或已经制定了海洋活动潜在增长战略,如海洋能源、水产养殖、海洋生物技术、沿海旅游业和海底采矿(即蓝色经济的增长)。然而,海洋经济增长的一个重要制约因素是目前海洋健康状况的下降以及已经对其施加的压力(经济合作与发展组织, 2016年),其中许多在第五部分有详述。

### 2.3. 技术进步

随着海洋活动的扩大和对资源需求的增加,技术进步已成为提高效率、扩大市场和促进与活动相关的经济增长的关键。这些创新对海洋环境既有积极的影响,也有消极的影响。捕捞技术的一些进步导致了整体能力的增加,而在亚洲、欧洲和北美的许多区域,导致了产能过剩(Eigaard等人, 2014年)。例如,通过使用技术(也称为“技术蠕变”)提高效率,从而能够更有效、更准确地确定渔获物目标,也导致渔业中的努力量增加,从而促使鱼类种群被过度捕捞(Finkbeiner等人, 2017年)。相反,遥感、摄像技术、实地部署物种鉴定遗传方法以及人工智能和机器学习方法的进步现在正有助于更好地监测非法、无管制和未报告的渔获物(Detsis等人, 2012年),改进渔获物报告(Ruiz等人, 2014年),实现产品的可追溯性(Lewis和Boyle, 2017年),并减少供应链上的浪费(Hafliðason等人, 2012年)。这类技术还有助于改善对捕捞船队活动的监测,从而确保更有效地管理保护区(Rowland等人, 2019年)。

包括数字化在内的技术进步正在通过减少能源使用、将需求从高峰期转移到非高峰期、增加连通性和提供灵活负荷(这在可再生部门间歇能源生产中占越来越大的份额)来实现能源效率的现代化,在温室气体排放方面取得了积极成果(国际能源署, 2019年a)。汽车发动机更高效地燃烧化石燃料的改进,以及生产清洁能源的太阳能和风能的创新,也有助于减少温室气体排放。

<sup>5</sup> 见<https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>。

## 2.4. 不断变化的治理结构和地缘政治不稳定性

许多国际条约和协定，其中包括《联合国海洋法公约》、<sup>6</sup>1972年《防止倾倒废物及其他物质污染海洋的公约》、<sup>7</sup>《执行1982年12月10日〈联合国海洋法公约〉有关养护和管理跨界鱼类种群和高度洄游鱼类种群的规定的协定》、<sup>8</sup>《生物多样性公约》<sup>9</sup>和《2030年可持续发展议程》，<sup>10</sup>旨在减轻对海洋环境的压力，改善养护成果。根据国际协定制定的目标，如爱知生物多样性目标<sup>11</sup>和可持续发展目标，<sup>12</sup>导致建立海洋保护区的数量增加，并相应地增加了对海洋环境的保护。区域渔业管理组织规定对旨在管理共享渔业资源的努力进行协调(HAAS等人，2020年)，并在一些区域规定在过度捕捞后实施有效的种群重建框架(Hillary等人，2016年)。

国家实施的配套政策也改善了某些区域的海洋活动管理(Evans等人，2017年)。然而，全球不平等，包括与财富、性别、地理、权利和资源获取途径相关的不平等，可能会对旨在管理海洋环境的政策的有效性产生影响(Balvanera等人，2019年)。此外，公司所有权的巩固和集中导致少数公司或出资者往往在任何市场中都控制着大部分物资流(例如，Bailey等人，2018年)。企业与政府直接谈判的可能性增加，这可能会阻碍实现海洋环境可持续成果的进展。在获取资源途径和财产权方面存在冲突的情况下，注重可持续性的政策和协定可能会因此类冲突而受到破坏(Suárez-de Vivero和Rodríguez Mateos，2017年)。此外，政府的不稳定可能导致政策和管理框架制定缓慢或无效，导致持续或日益严重的资源过度开发。

## 2.5. 气候变化

气候一直是海洋环境的一个主要影响因素，每年都有很大的自然变异，区域和全球一级的气候现象也有较长期的变异性。然而，有强有力的证据表明，目前气候变化的速度在地质记录中是史无前例的。政府间气候变化专门委员会在其关于气候变化中的海洋和冰冻圈的特别报告(政府间气候变化专门委员会(气专委)，2019年)中总结了全球气候的历史和近期模式，并提供了不同温室气体排放情景下的变化预测。

自《第一次评估》以来，温室气体排放量持续上升，全球二氧化碳排放量从2010年的304亿吨增加到2019年的333亿吨。<sup>13</sup>排放量的增加导致冰冻圈(地球上的冰冻水域)广泛减少，海洋温度持续上升，海洋酸碱度和氧气减少，洋流移动，以及热浪等极端事件增加(气专委，2019年)。第5章详细描述了这些变化，第9章详细描述了它们所产生的压力，包括社会经济影响。

继《联合国气候变化框架公约》(1994年生效)和《京都议定书》(2005年生效)之后，公约缔约方大会第二十一届会议于2015年12月通过了《巴黎协定》。<sup>14</sup>《巴黎协定》旨在加强全球应对气候变化威胁的能力，把全球平均气温升幅控制在工业化前水平以上低于2°C之内，并努力将气温升幅限制在工业化前水平以上1.5°C之内。该协定确认，气候变化对人类社会和地球是一个紧迫的、潜在不可逆转的威胁，因此需要所有国家进行尽可能广泛的合作。该协定还确认只有大幅减少全球排放才能实现《公约》的最终目标。

<sup>6</sup> 联合国，《条约汇编》，第1833卷，第31363号。

<sup>7</sup> 同上，第1046卷，第15749号。

<sup>8</sup> 同上，第2167卷，第37924号。

<sup>9</sup> 同上，第1760卷，第30619号。

<sup>10</sup> 见大会第70/1号决议。

<sup>11</sup> 见联合国环境规划署，UNEP/CBD/COP/10/27号文件，附件，X/2号决定。

<sup>12</sup> 见大会第70/1号决议。

<sup>13</sup> 见[www.iea.org/articles/global-co2-emissions-in-2019](http://www.iea.org/articles/global-co2-emissions-in-2019)。

<sup>14</sup> 见FCCC/CP/2015/10/Add.1，1/CP.21号决定，附件。

政府间气候变化专门委员会在其关于全球变暖1.5摄氏度的报告(气专委, 2018年)中概述了与全球气候变暖1.5摄氏度相符的缓解途径、与这种变暖相关的可能影响以及应对这种变化所需的措施。报告强调,人为排放造成的气候变暖将持续几百年到几千年,并将继续导致包括海洋在内的气候系统进一步的长期变化。

气候变化与其他驱动因素之间的相互作用包括:随着人们从日益不适宜居住的地区转移,全球人口的分布受到影响;经济影响,包括与粮食生产相关的影响(例如水产养殖和渔业);对减少温室气体的技术创新和解决方案的需求越来越大,包括更多依赖海洋可再生能源。

### 3. 与驱动因素相关的关键区域特定问题或方面

人口分布、经济发展、获得技术进步的途径、执行治理和管理框架的能力以及对气候变化的效应和应对措施的地理差异,这些导致第2节所述的每个驱动因素在各海洋区域影响的巨大差异。

#### 3.1. 人口增长和人口结构变化

高收入地区的生育率低于中等收入和低收入地区的生育率(Baxter等人, 2017年)。不同的生育率给生育率和人口增长都很高的国家带来了挑战(联合国经社部, 2019年c),也给生育率低、人口老龄化部分正在增长的国家带来了挑战(另见第4节)。撒哈拉以南非洲、中亚和南亚以及东亚和东南亚都是人口增长较快的地区。2015-2020年期间,最不发达国家的平均人口增长率为2.3%,是全球增长率的两倍多<sup>15</sup>这给这些国家实现沿海及海洋区域可持续发展和养护带来了挑战,此种情况因其易受气候变化、气候多变性和海平面上升的影响而进一步加剧(联合国经社部, 2019年c)。

#### 3.2. 经济增长

自1980年代以来,经济增长的地域差异一直在扩大,反映了的情况即是,一些地区经济增长,而其他地区停滞。虽然大多数国家在1950年至2016年期间经历了正增长,但其他国家,如中非共和国和刚果民主共和国,则经历了负增长,这主要是政治不稳定的结果(Karnane和Quinn, 2019年)。值得

注意的是,各国在就业和生产率方面的差距也在扩大,发达经济体之间的差距程度存在很大差异(国际货币基金组织, 2019年)。气候变化可能进一步加剧这种差异,特别是在农业(包括渔业和水产养殖)等易受影响行业的分布存在地理差异的国家。总的来说,经济活动受到温度非线性上升的影响,此种温度上升可能会给非常寒冷地区的经济活动带来惠益(例如,使航运路线可以穿越北冰洋和提高贸易潜力),但超过某个最佳温度,会对经济产出和劳动力潜力产生负面影响(国际货币基金组织, 2019年)。

#### 3.3. 技术进步

由于技术进步促进了包括各种各样的生物、矿物、石油和天然气在内的深海资源的勘探和开发,国家管辖范围以外的区域变得越来越容易进入。确保这些区域的可持续发展将需要国际合作,以便对其进行有效管理。根据《联合国海洋法公约》进行的关于国家管辖范围以外区域海洋生物多样性的养护和可持续利用的具有法律约束力的国际文书的谈判<sup>16</sup>侧重于确保这些区域的可持续发展和养护(另见第28章)。国际海底管理局肩负着促进深海矿物开发、同时确保这种开发不会对环境造成损害的双重任务。在国家管辖范围以外的区域,需要进行适当的规划,以最大限度地减少对海洋环境的影响。获取和利用海洋资源、可持续发展海洋产业和有效管理这些用途的技术进步的实现情况在

<sup>15</sup> 最不发达国家集团包括47个国家:撒哈拉以南非洲32个;北非和西非2个;中亚和南亚4个;东亚和东南亚4个;拉丁美洲和加勒比1个;大洋洲4个。欲了解更多信息,见<http://unohrrls.org/about-ldcs>。

<sup>16</sup> 见大会第72/249号决议。

全球范围内并不均衡。许多地区，特别是那些最不发达国家所在的地区，仍然无法获得有助于可持续利用海洋资源的技术。

### 3.4. 不断变化的治理结构和地缘政治不稳定性

过去十年，民族主义和保护主义有所抬头，促使贸易协定发送改变，以及特定国家之间最近对商品征收关税。民主指数<sup>17</sup>从2014年的5.55降至2019年的5.44，这在很大程度上是由拉丁美洲和撒哈拉以南非洲地区状况的恶化驱动的。在计算各个国家的指数时，可以明显看出鲜明的地区差异。斯堪的纳维亚半岛、北美最北端和西南太平洋国家的指数最高，而撒哈拉以南非洲、中东和亚洲部分地区的国家指数最低。这些差异对全球和区域条约和协定的执行产生影响，从而影响经济增长、技术转让和海洋使用管理框架的执行，包括国家海

洋相关政策的制定。因此，这影响到人类活动的可持续性和这些地区海洋生态系统的保护。

### 3.5. 气候变化

气候变化对全球海洋的效应并不均衡。许多区域变暖的速度高于全球平均水平，并被确定为海洋热点(Hobday和Pecl, 2014年)。其中一些热点位于人类对海洋资源的依赖程度最高的区域，如东南亚和西非，与其他区域相比，海洋资源在这些区域对粮食安全具有实质性影响。北极是另一个海洋变暖速度比全球平均水平高2至3倍的区域(气专委, 2018年)。同样，与海洋酸化相关的海洋pH值和碳酸离子浓度的下降，以及气候变化的其他效应，如缺氧、海洋分层和海平面上升，都是具有区域差异的，对海洋环境的影响是具有高度差异的。这种变化的区域差异将在第5章中详细描述，而它们正在产生的压力，包括社会经济影响将在第9章中详细描述。

## 4. 展望

在沿海地区，共享社会经济路径下所作的预测估计，由于全球人口总体增长以及移民进入沿海地区，2000-2050年期间全球沿海地区人口将增加71%，达到10亿以上(Merkens等人, 2016年)。在同样的情景下，低密度到中等密度地区(小于1000人/平方公里)的人口预计将减少，而高密度地区的人口预计将增加(Jones和O' Neill, 2016年)，高密度地区的城市足迹将扩大，相关基础设施的压力也会加大。气候变化将在许多方面影响全球人口的生活方式和地点及其对环境的相关影响。由于降水量下降、温度上升、海平面上升以及生态系统产品和服务的损失，这些地区变得越来越不适合居住，人们会将自己重新分布到更适宜居住的地区，增加这些地区的城市足迹。

随着全球人口老龄化和整体增长放缓，劳动力规模将下降，对全球经济造成冲击。据估计，被认为是全球人口中全球经济贡献者比例最高的部

分，即20至64岁的人口，在2015至2040年期间的增长速度将不到之前25年的一半，而65岁以上的人口增长速度将是工作年龄人口增长速度的五倍(Baxter等人, 2017年)。全球经济如何应对不断变化的人口增长和人口结构的影响，将取决于公共政策，例如采用减少妇女就业障碍的政策，还取决于她们利用先进技术保持生产力的能力。人口增长、人口分布和密度的变化以及不断变化的经济对海洋环境的影响方式尚不确定。

海洋中的经济活动正在迅速扩大，预计到2030年，在一切照旧的情况下，海洋经济可能会翻一番以上，价值达到3万亿美元以上，拥有大约4 000万个全职工作岗位(经济合作与发展组织, 2016年)。技术进步和创新对于确定可持续的路径至关重要，这些路径为全球经济发展、包括海洋经济提供条件，同时应对海洋目前面临的许多挑战。

<sup>17</sup> 见[www.eiu.com/topic/democracy-index](http://www.eiu.com/topic/democracy-index)。

在这种快速变化的背景下, 监管和治理将难以跟上。新兴海洋产业融入现有的、支离破碎的监管框架, 将限制以有效和及时的方式应对产业所产生压力的能力。鉴于本章和第27章详述的变化驱动因素, 将需要更有效的综合海洋管理, 以确保海洋的可持续未来。

如果温室气体排放继续以目前的速度进行, 据估计, 在2030年至2052年间的某一时间, 地表温度将上升1.5摄氏度(气专委, 2018年)。已经观察到气候变化带来的海洋生态系统的许多变化, 未来与气候有关的变化和相关风险将取决于是否(以及何时)实现温室气体净零排放, 以及相关的地表变暖速度、峰值和持续时间(气专委, 2018年)。即使实现全球人为二氧化碳净零排放, 持续变暖也将持续几百年到几千年, 并将继续导致气候系统的进一步长期变化, 进而导致海洋的进一步长期变化, 包

括海平面上升和海洋酸化(气专委, 2018年)。为减少未来因海洋环境变化而给粮食安全、海洋产业和沿海社区带来的与气候有关的风险, 需要扩大和加快缓解和适应办法。

COVID-19大流行目前席卷全球, 给国民经济和人民生活造成重大破坏。由于减缓病毒传播的努力, 直接影响海洋的压力, 如捕鱼、旅游活动、污染和温室气体排放, 已经暂时减少。<sup>18</sup>由于对人员流动和商业活动实施限制并关闭了边境, 供应链的中断和市场的衰退使一些海洋产业、特别是渔业受到影响。<sup>19</sup>然而, 压力的减少对气候变化等驱动因素造成的长期变化可能产生的影响预计是微不足道的, 并且目前还不清楚海洋生态系统可能获得哪些惠益。全球供应链的中断突出显示许多国家需要加强当地供应链, 尤其是探索支持整个供应链的电子商务备选方案。

## 5. 知识和能力建设方面仍然存在的主要差距

本章中详细介绍的五个驱动因素以不同的方式相互作用。对这种相互作用的理解多有分歧, 尤其是, 对驱动因素之间相互作用影响海洋环境的机制的理解, 虽被认为对于制定海洋管理的整体办法至关重要, 但尚是一个新兴的研究领域。通过考虑到社会、经济、生态系统和文化价值和需求的综合管理(全系统办法), 能够确定支持国民经济和人类福祉的可持续途径。

需要制定建模框架, 在此框架内可以探索包括人口变化、治理结构探索以及气候变化造成的环境 and 经济效应在内的情景。现在正在初步拟定将海洋环境和渔业纳入共享社会经济路径的综合社会生态模型, 以探索海洋渔业的未来结构(Maury等人, 2017年; Bograd等人, 2019年)。综合模型的替代方法也被用于探讨海洋生态系统和渔业的未来状态(Tittensor等人, 2018年)。需要推动这类努力, 从而不仅扩大建模方法, 以探索多种驱动因素

的效应及其对海洋生态系统的积累效应, 而且还需要开发工具, 在建模方法和决策框架之间提供接口, 并规划和实施可持续的海洋利用办法。

因此, 衡量并理解推动本章概述的变化驱动因素形成的关键组成部分, 即社会的社会、人口结构和经济发展, 包括生活方式及相关总体消费和生产模式的相应变化的能力在全球范围内是不均衡的。需要进行收集观测数据方面的能力建设, 特别是在最不发达国家, 以便了解影响海洋环境的关键驱动因素、它们之间的相互作用以及每种驱动因素变化对海洋环境的影响。同样, 还需要发展能力, 记录与变化驱动因素相关的压力造成的变化, 从而了解对海洋环境的影响(Evans等人, 2019年)。最后, 在确认变化的关键驱动因素及其相互作用的框架内有效规划、评估和管理海洋活动的能力是必要的, 特别是在目前没有能力执行此类框架的区域。

<sup>18</sup> 见[www.carbonbrief.org/analysis-coronavirus-has-temporarily-reduced-chinas-co2-emissions-by-a-quarter](http://www.carbonbrief.org/analysis-coronavirus-has-temporarily-reduced-chinas-co2-emissions-by-a-quarter)。

<sup>19</sup> 见[www.ices.dk/news-and-events/news-archive/news/Pages/wgsocialCOVID.aspx](http://www.ices.dk/news-and-events/news-archive/news/Pages/wgsocialCOVID.aspx)。

## 参考资料

- Bailey, Megan, and others (2018). The role of corporate social responsibility in creating a Seussian world of seafood sustainability. *Fish and Fisheries*, vol. 19, No. 5, pp. 782–790.
- Balvanera, Patricia, and others (2019). Chapter 2: Status and trends; indirect and direct drivers of change. In *IPBES Global Assessment on Biodiversity and Ecosystem Services*, ed. IPBES. Bonn: IPBES Secretariat.
- Baxter, David, and others (2017). Population aging and the global economy: weakening demographic tailwinds reduce economic growth. In *Berkeley Forum on Aging and the Global Economy*. Issue brief No. 1.
- Blanco, Gabriel, and others (2014). Chapter 5: Drivers, trends and mitigation. In *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. IPCC Working Group III Contribution to AR5*. Cambridge University Press.
- Bograd, Steven J., and others (2019). Developing a Social-Ecological-Environmental System Framework to Address Climate Change Impacts in the North Pacific. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 333.
- Clark, G.F., and E.L. Johnston (2017). *Australia State of the Environment 2016: Coasts, Independent Report to the Australian Government Minister for Environment and Energy*. Canberra: Australian Government Department of the Environment and Energy.
- Detsis, Emmanouil, and others (2012). Project catch: a space-based solution to combat illegal, unreported and unregulated fishing: Part I: vessel monitoring system. *Acta Astronautica*, vol. 80, pp. 114–123.
- Eigaard, Ole Ritzau, and others (2014). Technological development and fisheries management. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, vol. 22, No. 2, pp. 156–174. <https://doi.org/10.1080/23308249.2014.899557>.
- European Environment Agency (2005). *Sustainable Use and Management of Natural Resources*. EEA Report, 9/2005. Copenhagen: European Environment Agency.
- \_\_\_\_\_ (2019). *The European Environment – State and Outlook 2020, Knowledge for Transition to a Sustainable Europe*. EEA Report, 9/2005. Copenhagen: European Environment Agency.
- Evans, Karen, and others (2019). The global integrated world ocean assessment: linking observations to science and policy across multiple scales. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 298.
- Evans, Karen, and others (2017). *Australia State of the Environment 2016: Marine Environment, Independent Report to the Australian Government Minister for the Environment and Energy*. Canberra: Australian Government Department of the Environment and Energy.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2018). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018-Meeting the Sustainable Development Goals*. Rome.
- Finkbeiner, Elena M., and others (2017). Reconstructing overfishing: moving beyond malthus for effective and equitable solutions. *Fish and Fisheries*, vol. 18, No. 6, pp. 1180–1191.
- Haas, Bianca, and others (2020). Factors influencing the performance of regional fisheries management organizations. *Marine Policy*, vol. 113.
- Hafliðason, Tómas, and others (2012). Criteria for temperature alerts in cod supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 42, No. 2, pp. 355–371.
- Hillary, Richard M., and others (2016). A scientific alternative to moratoria for rebuilding depleted international tuna stocks. *Fish and Fisheries*, vol. 17, No. 2, pp. 469–482. <https://doi.org/10.1111/faf.12121>.
- Hobday, Alistair J., and Gretta T. Pecl (2014). Identification of global marine hotspots: sentinels for change and vanguards for adaptation action. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, vol. 24, No. 2, pp. 415–425.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2018). *Global Warming of 1.5° C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5° C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty*. eds. Valérie Masson-Delmotte and others. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- \_\_\_\_\_ (2019). Summary for policymakers. In *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, eds. Hans-Otto Pörtner and others, Intergovernmental Panel on Climate Change.
- International Council for Science (2017). *A Guide to SDG Interactions: From Science to Implementation*. eds. D.J. Griggs and others. Paris: International Council for Science, Paris.
- International Energy Agency (IEA) (2019a). *Energy Efficiency 2019*. Paris: International Energy Agency.
- \_\_\_\_\_ (2019b). *Tracking Power*. Paris: International Energy Agency. [www.iea.org/reports/tracking-power-2019](http://www.iea.org/reports/tracking-power-2019).
- International Monetary Fund (IMF) (2019). *World Economic Outlook: Global Manufacturing Downturn, Rising Trade Barriers*. Washington, D.C.: International Monetary Fund.
- Jackson, W.J. (2017). *Australia State of the Environment 2016: Drivers, Independent Report to the Australian Government Minister for the Environment and Energy*. Canberra: Australian Government Department of the Environment and Energy.
- Jones, Bryan, and Brian C. O'Neill (2016). Spatially explicit global population scenarios consistent with the shared socioeconomic pathways. *Environmental Research Letters*, vol. 11, No. 8, p. 084003.
- Karnane, Pooja, and Michael A. Quinn (2019). Political instability, ethnic fractionalization and economic growth. *International Economics and Economic Policy*, vol. 16, No. 2, pp. 435–461. <https://doi.org/10.1007/s10368-017-0393-3>.
- Lewis, Sara G., and Mariah Boyle (2017). The expanding role of traceability in seafood: tools and key initiatives. *Journal of Food Science*, vol. 82, No. S1, pp. A13–21. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13743>.
- Maury, Olivier, and others (2017). From shared socio-economic pathways (SSPs) to oceanic system pathways (OSPs): Building policy-relevant scenarios for global oceanic ecosystems and fisheries. *Global Environmental Change*, vol. 45, pp. 203–216.
- Maxim, Laura, and others (2009). An analysis of risks for biodiversity under the DPSIR framework. *Ecological Economics*, vol. 69, No. 1, pp. 12–23.
- Merkens, Jan-Ludolf, and others (2016). Gridded population projections for the coastal zone under the shared socioeconomic pathways. *Global and Planetary Change*, vol. 145, pp. 57–66.
- Millennium Ecosystem Assessment (2003). *Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment*. Washington, D.C.: Island Press.
- Neumann, Barbara, and others (2015). Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding – a global assessment. *PloS One*, vol. 10, No. 3, p. e0118571.
- Organization for Economic Cooperation and Development (2016). *The Ocean Economy in 2030*. <https://doi.org/10.1787/9789264251724-en>.
- Patrício, Joana, and others (2016). DPSIR – two decades of trying to develop a unifying framework for marine environmental management? *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 177. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00177>.
- Rowlands, Gwilym, and others (2019). Satellite surveillance of fishing vessel activity in the Ascension Island Exclusive Economic Zone and Marine Protected Area. *Marine Policy*, vol. 101, pp. 39–50.
- Ruiz, J., and others (2014). Electronic monitoring trials on in the tropical tuna purse-seine fishery. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 72, No. 4, pp. 1201–1213. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu224>.

- Smeets, Edith, and Rob Weterings (1999). *Environmental Indicators: Typology and Overview*. Copenhagen: European Environment Agency.
- Suárez-de Vivero, Juan L., and Juan C. Rodríguez Mateos (2017). Forecasting geopolitical risks: Oceans as source of instability. *Marine Policy*, vol. 75, pp. 19–28.
- Tittensor, Derek P., and others (2018). A protocol for the intercomparison of marine fishery and ecosystem models: Fish-MIP v1. 0. *Geoscientific Model Development*, vol. 11, No. 4, pp. 1421–1442.
- United Nations (2017a). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2017b). *The Conservation and Sustainable Use of Marine Biological Diversity of Areas beyond National Jurisdiction. A Technical Abstract of the First Global Integrated Marine Assessment*. New York: United Nations.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (UNDESA) (2019a). *International Migrant Stock 2019*. United Nations. [www.un.org/en/development/desa/population/migration/data/estimates2/estimates19.asp](http://www.un.org/en/development/desa/population/migration/data/estimates2/estimates19.asp).
- \_\_\_\_\_ (2019b). *Percentage of Total Population Living in Coastal Areas*. New York: United Nations. [https://sedac.ciesin.columbia.edu/es/papers/Coastal\\_Zone\\_Pop\\_Method.pdf](https://sedac.ciesin.columbia.edu/es/papers/Coastal_Zone_Pop_Method.pdf).
- \_\_\_\_\_ (2019c). *World Population Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423)*. New York: United Nations.
- United Nations Environment Programme, ed. (2019). *Global Environment Outlook – GEO-6: Healthy Planet, Healthy People*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108627146>.

# 第四部分 海洋环境的 现状与趋势



# 第 5 章

# 海洋物理化学

# 状况方面的趋势

撰稿人：Carlos Garcia-Soto (召集人兼牵头成员)、Levke Caesar、Anny Cazenave、成里京、Alicia Cheripka、Paul Durack、Karen Evans (共同牵头成员)、David Halpern、Libby Jewett、Sung Yong Kim、李冠城、Ignatius Rigor、Sunke Schmidtko、王菊英(共同牵头成员)和Tymon Zielinski (共同牵头成员)。



## 主旨要点

- 海洋暖化所导致的热膨胀以及陆冰融化是全球平均海平面加速上升的主要原因。
- 全球变暖也影响着许多环流系统。大西洋经向翻转环流已经减弱,今后很可能继续减弱。海洋环流变化产生的影响包括区域性的海平面上升、海水营养盐分布和碳吸收情况的变化,以及对大气产生反馈作用,如改变降水分布。
- 全球变暖带来的热量中有90%以上被全球海洋储存。自1950年代以来,海洋从表面到2 000米呈现出强劲的升温迹象。与长期趋势相比,自1990年代以来,海洋热含量的比例增加了一倍多。在全球海洋的大部分都可以看到海洋暖化的现象,仅有若干区域出现长期降温现象。
- 在多年代际观测中,海洋表现出明显的盐度变化规律,表层和次表层的变化规律清楚证明海洋上空水循环放大。具体表现为近表层、高盐度亚热带区域的盐度增强,以及西太平洋暖池和两极等低盐度区域的盐度降低。
- 大气二氧化碳含量的增加,以及后来海洋碳含量的增加改变了海洋的化学状况,包括导致pH值和文石饱和度发生变化。实地研究和实验表明,海洋环境的碳含量增加后,特别是与其他环境压力因素结合时,会对多种生物、尤其是形成碳酸钙壳体的生物产生负面影响,改变生物多样性和生态系统结构。
- 数十年的氧观测为开展扎实的趋势分析创造了条件。长期测量显示,大多数海洋区域的溶解氧浓度下降,缺氧区扩大。温度驱动的溶解度下降,是大部分近表层氧损失的原因,尽管氧减少的现象不止出现在海洋上层,在许多区域是出现在整个水柱之中。
- 海冰总面积在北极迅速减少,但这一趋势在南极并不明显。在北极,北冰洋太平洋扇区的夏季趋势最为显著,而在南极,夏季趋势在南大洋威德尔海增强、在西南极扇区减弱。海冰面积方面的差异系风和洋流变化所致。

## 1. 导言

在本章中,利用七个关键的气候变化指标分析海洋的物理和化学现状和趋势:

- **海平面。**海平面综合体现地球气候系统因应非强迫性气候变异性、因应自然和人为影响而产生的变化。所以,它是全球气候变化和变异率的一个先导指标。
- **海洋环流。**海洋环流在调节地球气候方面起着核心作用,通过输送热量、碳、氧和营养盐影响海洋生物。海洋环流的主要驱动因素是表面风和密度梯度(由海洋温度和盐度决定),驱动因素的任何变化都会引起海洋环流的变化。
- **海温和海洋热含量。**过去几十年来,全球海洋迅速变暖,影响到天气、气候、生态系统、人类社会和经济(政府间气候变化专门委员会,2019年)。海洋中增多的热量以许多方式呈现,包括海洋内部温度上升(Cheng等人,2019年b)、热膨胀导致海平面上升、冰盖融化、水循环加剧、大气和海洋环流变化、热带气旋强度加大及伴有更大的雨量(Trenberth等人,2018年)。
- **盐度。**随着更好的盐度观测产品问世,海洋盐度在政府间气候变化专门委员会的评估报告(第四次报告,Bindoff等人,2007年;第五次报告,Rhein等人,2013年)和《第一次世界海洋评估》(联合国,2017年)中受到更多关注。海洋盐度变化有其重要性,因为全球海洋覆盖地球表面的71%,包含地球97%的自由水(Durack,2015年)。全球水的任何变化都会从海洋盐度变化模式中得到体现,海洋盐度是海洋这一气候系统最大贮存库的水循环标志。
- **海洋酸化。**大气中二氧化碳的浓度上升,也会对海洋的化学状况产生直接影响,因为海洋会吸收二氧化碳。从1870年到2015年,二氧化碳排放总量中大约有30%被海洋吸收(Le Quéré等人,2016年;Gruber等人,2019年),而且水中二氧化碳的含量增加后,由于形成碳酸,水的pH值降低。

- **溶解氧。**海洋氧的变化对海洋生物有着深远的影响,包括在从营养盐循环到中上层鱼类的生境边界等各个方面(例如, Worm等人, 2005年; Diaz和Rosenberg, 2008年; Stramma等人, 2012年; Levin, 2018年),并能通过排放一氧化二氮这种强效温室气体影响气候变化(例如, Voss等人, 2013年)。
- **海冰。**极地地区的海冰覆盖着全球海洋大约15%的表面,影响着全球热平衡和全球温盐环流,进而影响着全球气候系统。此外,海冰有较高的反照率,比海水反射更多的阳光,而且融化后会释放出淡水,减缓全球海洋传送带

(受温度和盐度驱使不断运动的深海环流系统)的速度。

本章借助这些指标,详细介绍气候变化对海洋的物理和化学状况与演变以及空间格局的影响。本章应结合第9章阅读,第9章分析了极端气候事件(海洋热浪、极端厄尔尼诺事件和热带气旋),更加详细地陈述了某些物理和化学变化对海洋生态系统和人群造成的压力。其他一些方面在第7章(海洋生境内生物多样性状况方面的趋势)关于高纬度冰的一节有述。

## 2. 海洋的物理化学状况

### 2.1. 海平面

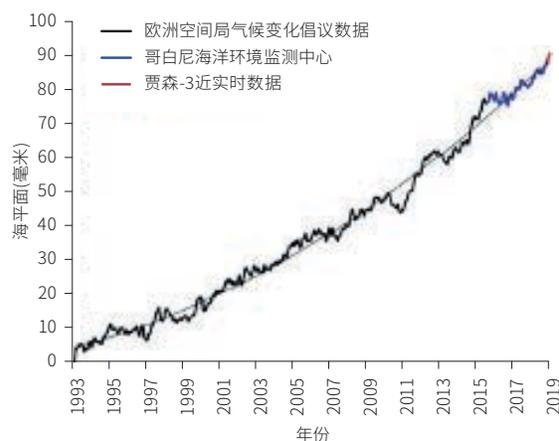
自1990年代初以来,通过一系列高精度测高任务(托佩克斯/海神、贾森-1、贾森-2、贾森-3、环境卫星、SARAL/AltiKa、哨兵-3A和哨兵-3B)在全球和区域层面上对海平面实施例行监测。

基于卫星测高的全球平均海平面曲线最近更新过,见图一(Legeais等人更新, 2018年)。自1993年以来,全球平均海平面以每年 $3.1 \pm 0.3$ 毫米的平均速度上升,明显叠加加速为约 $0.1$ 毫米/年<sup>2</sup>(Chen等人, 2017年; Dieng等人, 2017年; Yi等人, 2017年; Nerem等人, 2018年; 世界气候研究计划全球海平面预算小组, 2018年)。<sup>1</sup>卫星测高也显示出,海平面变化率有很强的区域变异性,自测高时代开始至今,一些区域的海平面变化率比全球平均值高2到3倍(见图二)。

现在有各种观测系统,可量化全球和区域海平面变化产生的不同作用。Argo自持式剖面浮标系统<sup>2</sup>测量海水温度和盐度,深度可达2 000米,几乎覆盖全球。重力回溯及气候实验卫星承载着空间重力测量任务,可以监测因冰川和冰盖质量损失而引起的海洋质量变化和陆地水储量变化。它还测

量冰川、冰盖和陆地水体的单个水体质量变化。诸如干涉合成孔径雷达、雷达和激光测高等其他技术也被用来估计冰盖质量平衡。

图一  
多源卫星测高得出的全球平均海平面演变情况



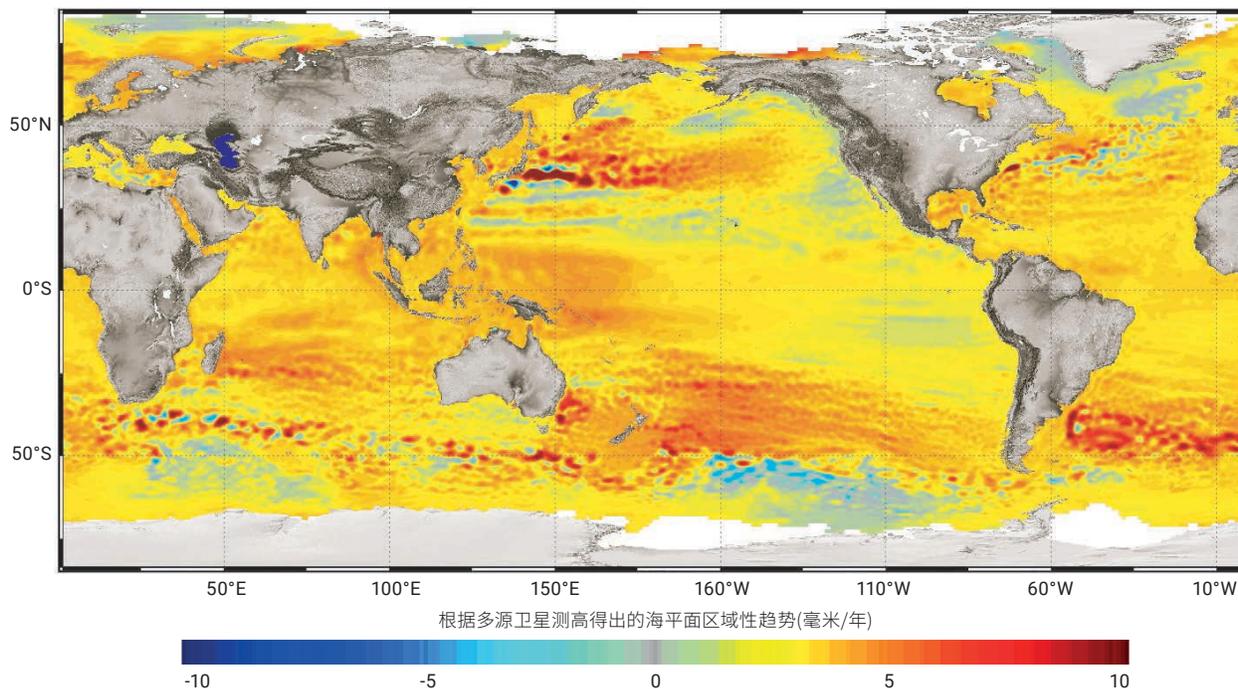
资料来源: Legeais等人, 2018年(更新)。

<sup>1</sup> 见大会第70/1号决议。

<sup>2</sup> 见www.argo.net。

图二

卫星测高得出的1993年1月至2019年10月海平面区域性趋势模式



资料来源: 哥白尼海洋环境监测服务。

海平面预算研究很重要,因为它对缺失或鲜为人知的促成因素(例如目前观测系统未充分取样的深海)设置了约束。全球平均海平面数据根据海洋质量变化订正后,有助于独立地估计海洋总热含量随时间的变化,由此可推断出地球的能量不平衡。图三展示2005年以来全球平均海平面的年平均值以及海洋热膨胀与因陆地冰融化和陆地水储量变化导致的海洋质量增加之和(世界气候研究计划全球海平面预算小组,2018年)。图中显示,年残差仍低于2毫米的水平。从趋势来看,2005年以来的海平面预算接近每年0.3毫米,与平均海平面上升的不确定性相似。其他研究(Dieng等人,2017年; Nerem等人,2018年)也说明,从测高时代(1993年起)开始以来期间的海平面预算是闭合的。

在局部层面、特别是沿岸区域,向全球平均海平面和区域海平面的构成部分中添加了额外的小尺度过程,这可以使沿岸海平面数值大幅偏离开阔洋海平面上升的数值(Woodworth等人,2019年)。例如,靠近海岸的风、海浪和小尺度洋流的变化,以

及河流入海口的淡水输入,能改变海水的密度结构,进而改变沿岸海平面。

图三

2005年以来全球平均海平面年预算



资料来源: 世界气候研究计划全球平均海平面预算小组,2018年。

## 2.2. 海洋环流

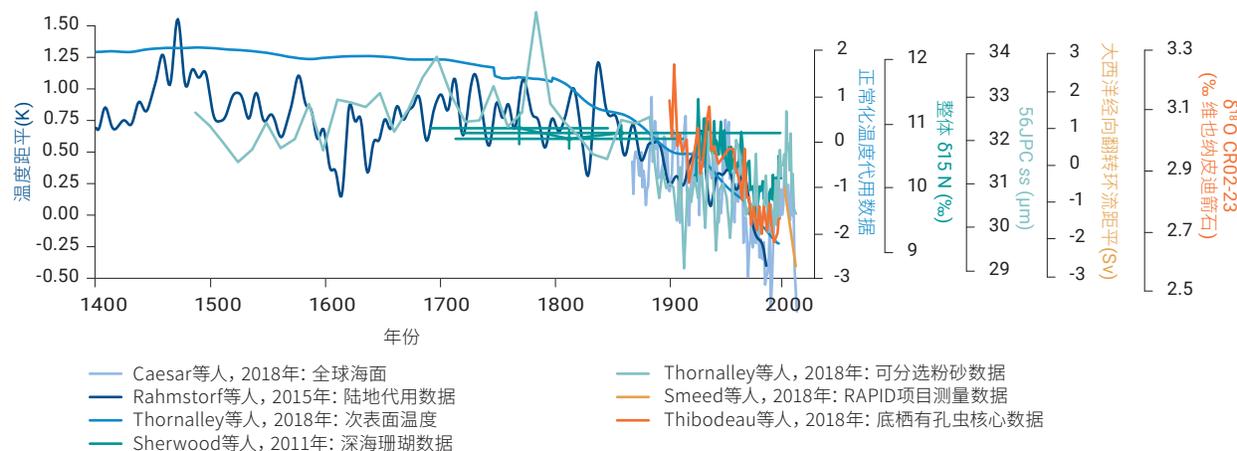
观测到的海洋环流系统变化在全球范围内都有发生,且是从多个数据源得出的结果。1993年以来用高精度卫星测高仪测出的海平面高度变化似乎表明,北太平洋(Qiu和Chen, 2012年)和南太平洋(Cai, 2006年; Hill等人, 2008年)的亚热带流涡正在扩大和加强。此外,数据显示许多洋流朝着极地移动,包括南极绕极流、南半球亚热带流涡(Gille, 2008年),以及所有海洋盆地的西边界流(Wu等人, 2012)。

然而,在大西洋观察到的变化最为严重。大西洋经向翻转环流是主要的洋流系统之一。长期以来,一直预测它会因全球变暖而减缓(政府间气候变化专门委员会, 2013年)。由于洋流系统把热量从南半球和热带地区输送到北大西洋,从海表温度的演变可以推测出洋流系统的演变。现在,已将19世纪末以来观测到的北大西洋副极地降温现象与大西洋经向翻转环流减缓关联起来(Dima和Lohmann, 2010年; Latif等人, 2006年; Rahmstorf等人, 2015年)。此外,近年来公布的各不相

同、大致独立的环流演变代用指标表明,环流正处于几百年来最弱的状态(见图四),而且从上个世纪以来一直在减弱(见图五; Caesar等人, 2018年)。从过去10年RAPID研究方案<sup>3</sup>的直接测量数据中也可以看到这种减弱的现象(Smeed等人, 2018年)。

有关环流及其变化的信息可通过直接测量、代用数据或模型模拟来推断。关于海洋环流趋势,主要的不确定因素是直接、连续测量的时间跨度短、代用数据不能完全代表环流、模型存在固有的不确定性。因此,重要的是维持现有的观测研究方案,例如全球漂流浮标计划(Dohan, 2010年)和Argo计划(Freeland等人, 2010年)。其中也包括观测大西洋经向翻转环流的主要项目,分别是: RAPID阵列(Smeed等人, 2014年)——测量2004年以来北纬26°左右的环流强度; 北大西洋副极地翻转环流计划<sup>4</sup>(Lozier等人, 2017年)——测量2014年以来为环流提供动力的翻转情况; 北大西洋年际、年代际变率观测站<sup>5</sup>(Mercier等人, 2015年)——测量格陵兰岛和葡萄牙一线的海洋参数。

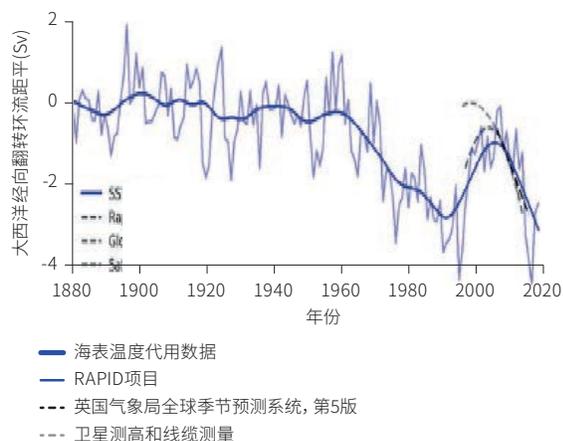
**图四**  
借助各种代用数据观察到的1400年以来大西洋经向翻转环流强度趋势



图中显示北大西洋地区海面 and 陆地温度的长期演变(蓝色, 带有不同色调(Caesar等人, 2018年; Rahmstorf等人, 2015年; Thornalley等人, 2018年)、大西洋海洋热含量(红色, (Zanna等人, 2019年))、深海岩心数据(浅绿色(Thornalley等人, 2018年)、深绿色(Sherwood等人, 2011年)和洋红色(Thibodeau等人, 2018年)), 以及RAPID项目实地环流监测线性趋势(橙色, (Smeed等人, 2018年))。

- <sup>3</sup> RAPID项目旨在确定大西洋经向翻转环流的变异性及其与气候的联系。2004年部署了一个阵列, 持续观测北纬26度左右的环流强度。
- <sup>4</sup> 这是一个国际计划, 旨在提供关于北大西洋亚极地热量、质量和淡水通量的连续记录。
- <sup>5</sup> 项目记载了北大西洋北部环流和水团特性的变异性。

**图五**  
观察到的大西洋经向翻转环流强度趋势



图中显示长期(20年局部加权回归散点平滑滤波, 细线为年值)海表温度代用数据(蓝色)、海洋再分析产品(英国气象局全球季节预测系统, 第5版; Jackson等人, 2016年)的二次趋势、利用卫星测高和线缆测量进行的重构(Frackja-Williams, 2015)和RAPID项目实地环流监测线性趋势。

资料来源: Caesar等人, 2018年。

海洋环流系统变化的影响各不相同。大西洋经向翻转环流对经向热传输至关重要, 因此对北大西洋地区的气候有强烈影响。大西洋经向翻转环流减缓会导致海洋的碳吸收减缓(Zickfeld等人, 2008年), 还会导致美利坚合众国东海岸沿海平面进一步上升(Goddard等人, 2015年)。然而, 北太平洋副热带流涡增强会造成热带北太平洋西部出现区域性海平面上升(Timmermann等人, 2010年)。这些都是海平面高度对海洋环流变化的动态响应。西边界流朝着极地移动致使以前不受这些温暖、强劲洋流影响的区域变暖。随之而来的热膨胀会造成毗邻的沿岸区域的海平面上升, 例如在南大洋和印度洋(Alory等人, 2007年; Gille, 2008年)。其他可能产生、需要进一步调查的影响包括: 海洋生态系统和初级生产的变化(因为洋流会输送营养盐); 天气系统受到的效应, 例如热浪、干旱或洪水的发生情况(因为海洋环流对大气环流有相当大的效应, 进而也对降水模式有相当大的影响)(Duchez等人, 2016年)。

## 2.3. 海温和海洋热含量

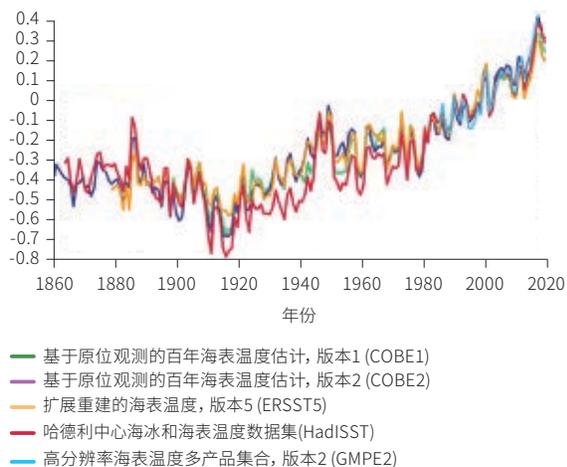
### 海表温度

此处谈到的全球海表温度分析取自四个已公布的数据集(见图六)。所有数据集都显示, 自20世纪初以来, 全球平均海表温度上升。1900-2018年按线性趋势计算的全球平均海表温度数据显示, 温度上升无可争议, 幅度为每百年 $0.60^{\circ}\text{C} \pm 0.07^{\circ}\text{C}$  (基于原位观测的百年海表温度估计, 版本1, COBE1)(Ishii等人, 2005年)、 $0.62^{\circ}\text{C} \pm 0.11^{\circ}\text{C}$  (基于原位观测的百年海表温度估计, 版本2, COBE2)(Hirahara等人, 2014年)、 $0.56^{\circ}\text{C} \pm 0.07^{\circ}\text{C}$  (哈德利中心海冰和海表温度数据集, HadISST)(Rayner等人, 2003年)、 $0.72^{\circ}\text{C} \pm 0.10^{\circ}\text{C}$  (扩展重建的海表温度, ERSST)(Huang等人, 2017年), 置信区间为90%。考虑到所有数据集, 同期平均海表温度变化幅度为 $0.62^{\circ}\text{C} \pm 0.12^{\circ}\text{C} \text{ c}^{-1}$ 。每种方法处理缺少或没有数据地区的手段、每种分析对于测量方法变化的考虑, 是数据集之间产生差异的主要原因。在所有数据集中, 有记录以来最温暖的10年在1997年及以后, 最温暖的5年在2014年及以后。近10年(2009-2018年)的升温值远高于长期趋势:  $2.41^{\circ}\text{C} \pm 1.79^{\circ}\text{C} \text{ c}^{-1}$  (COBE1)、 $2.97^{\circ}\text{C} \pm 1.81^{\circ}\text{C} \text{ c}^{-1}$  (COBE2)、 $2.05^{\circ}\text{C} \pm 1.85^{\circ}\text{C} \text{ c}^{-1}$  (HadISST)和 $2.81^{\circ}\text{C} \pm 1.98^{\circ}\text{C} \text{ c}^{-1}$  (ERSST)。2009-2018年的平均升温值为 $2.56^{\circ}\text{C} \pm 0.68^{\circ}\text{C} \text{ c}^{-1}$ 。除原位观测外, 卫星数据也显示1981年至2016年这一期间海表温度出现持续变化(Good等人, 2020年; 另见图六)。

全球大多数海洋区域都在变暖(见图六(b))。全球海面广泛升温, 是气候系统受到人类影响的直接证据(Bindoff等人, 2013年)。在过去一个世纪, 例如北大西洋副极地等少数区域的温度下降(通常称为“冷斑点”或“北大西洋暖洞”)。一些研究表明, “冷斑点”表明大西洋经向翻转环流减弱, 可能是对大气中二氧化碳浓度增加作出的反应(Caesar等人, 2018年)。另一方面, 赤道太平洋和热带太平洋东部的升温值较低。在东南太平洋, 从秘鲁中部到智利北部, 都发现有多年代际表面冷却趋势, 直到2000年代末(Gutiérrez等人, 2016年, 包括其中的参考资料), 这可能与沿岸上升流增强

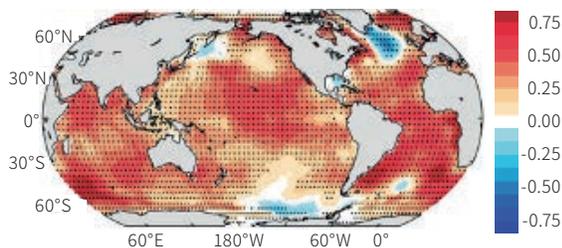
或远程驱动的环流变化有关(Dewitte等人, 2012年)。

**图六.A**  
全球平均表面温度距平(°C, 年平均值)



注: 原位估计数据来自COBE1、COBE2、ERSST5、HadISST和GMPE2数据集。

**图六.B**  
ERSST数据1854-2018年长期海表温度趋势(°C/100年)的空间格局



注: 所有数据都使用1981-2010年共同基线。黑点表示趋势显著的栅格(即为0的趋势位于90%的置信区间之外)。

## 海洋热含量

人类活动引起的气候变化主要是由于气候系统中能量的自然流动受到干扰, 导致大气中的截热(温室)气体增加, 从而造成能量不平衡(Hansen等人, 2011年; Trenberth等人, 2018年)。90%以上的能量不平衡在海洋中累积(Rhein等人, 2013

年)。热量不平衡表现为海洋热含量增加。从局部来看, 海洋热含量(OHC)可以通过求海洋深度 $z_1$ 至 $z_2$ 的海温(T)积分来估算。

$$OHC = c_p \int_{z_1}^{z_2} \rho T dz$$

其中,  $\rho$ 为海水密度,  $C_p$ 为海水比热容。

地球能量不平衡和海洋热含量是全球变暖的基本指标(Hansen等人, 2011年; Trenberth等人, 2018年; Von Schuckmann等人, 2016年; Cheng等人, 2018年)。与更常用的海表温度记录相比, 海洋热含量记录受气候系统内部变异性的影响要小得多, 因而比其他测量方法更适合检测人类影响、把原因归结于人类影响(Cheng等人, 2018年)。

自政府间气候变化专门委员会发布第五次评估报告(Rhein等人, 2013年)以来, 在改进海洋热含量长期记录方面取得了实质性进展, 找出并更好地阐释了一些致使先前的测量和分析出现不确定性的来源 (Abraham等人, 2013年; Boyer等人, 2016年; Cheng等人, 2016年, 2017年a; Ishii等人, 2017年)。同时, 努力改善历史海洋温度测量中缺失的空间或时间数据的推算方式。例如, 提出了一种新的空间插值算法(Cheng等人, 2017年a), 修正了现有的估计(Ishii等人, 2017年)。有一点越发明显, 就是许多传统的缺失数据插补策略引入了对低量级变化的保守性偏差。偏差较小的包括Cheng等人(2017年a)、Domingues等人(2008年)和Ishii等人(2017年)。

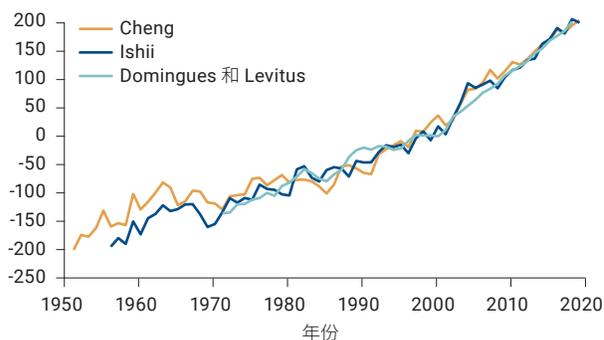
近期根据观测得出的三个海洋热含量估计值显示, 自1950年代晚期以来, 海洋暖化的情况高度一致(见图七)。它们表明, 1955-2018年期间的线性速度为 $0.36 \pm 0.06 \text{ Wm}^{-2}$ (Ishii等人, 2017年)和 $0.33 \pm 0.10 \text{ Wm}^{-2}$ (Cheng等人, 2017年a)(地表平均值), 所有数据集的平均速度为 $0.34 \pm 0.08 \text{ Wm}^{-2}$ 。新估计值总体上高于旧估计值(Rhein等人, 2013年), 而且相互之间更加一致(Cheng等人, 2019年a)。1990年代之后的几十年里, 上层2000米的海洋暖化速度上升, 1999年至2018年的线性趋势为 $0.58 \pm 0.06 \text{ Wm}^{-2}$ (Cheng等人, 2017年a)、 $0.61 \pm 0.08 \text{ Wm}^{-2}$ (Ishii等人, 2017年)和 $0.66 \pm 0.02 \text{ Wm}^{-2}$ (Domingues等

人, 2008年; Levitus等人, 2012年)。平均速度为  $0.62 \pm 0.05 \text{ Wm}^{-2}$ 。近十年(2009年-2018年), 海洋热含量上升速度为:  $0.56 \pm 0.06 \text{ Wm}^{-2}$ (Cheng等人, 2017年a)、 $0.66 \pm 0.09 \text{ Wm}^{-2}$ (Ishii等人, 2017年)和 $0.66 \pm 0.03 \text{ Wm}^{-2}$ (Domingues等人, 2008年; Levitus等人, 2012年)。平均速度为 $0.65 \pm 0.07 \text{ Wm}^{-2}$ 。关于海洋热含量, 过去10年是有记录以来最温暖的10年(Cheng等人, 2019年a), 因为热含量受自然变异率的影响较小。

在整个全球海洋中, 表面以下2 000米几乎都能观察到海洋热含量增加的现象(见图七)。在1960-2018年期间, 出现了一些有趣的长期含量变化模式: 南大洋(大约南纬 $70^\circ$ 至南纬 $40^\circ$ )和大西洋(大约南纬 $40^\circ$ 至北纬 $50^\circ$ )的升温幅度大于其他地区, 而整个太平洋和印度洋(大约南纬 $30^\circ$ 至大约北纬 $60^\circ$ )的升温幅度较小(见图七)。现已认定南大洋长期变暖, 且温室气体是引发这一现象的主要原因(Cheng等人, 2017年a; Swart等人, 2018年), 上层海洋翻转环流与混合造成的海气通量变化是关键的驱动因素(Swart等人, 2018年)。南大洋暖化会影响南半球的冰储库, 因而会产生严重后果。南大洋近表面热含量是限制海冰季节性发展的关键, 所以, 暖化可通过限制地球反照率, 而反馈到全球气候中。此外, 海洋暖化会加速南极冰架的融化, 威胁到南极冰盖的稳定, 就海平面上升而言, 将在全球范围内产生影响(Sallée等人, 2018年)。

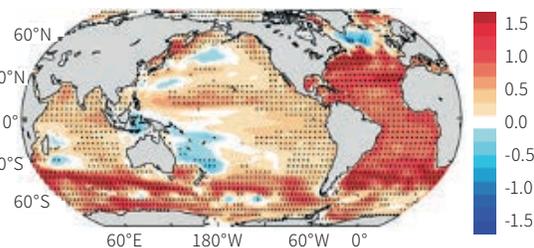
1998-2013年期间, 由于海表温度和全球地表温度的上升速度放缓, 涌现了许多关于“气候变化间歇期”的论断(Hartmann, 2013年)。截至2018年更新的记录(见图五)显示, 1998-2018年期间海表温度的线性趋势为 $1.25^\circ\text{C} \pm 0.52^\circ\text{C c}^{-1}$ , 大于参照期(1982-1997年)的线性趋势( $1.00^\circ\text{C} \pm 0.46^\circ\text{C c}^{-1}$ )。这确切说明, 随着2015/16年极端厄尔尼诺事件的出现, 表层温度上升放缓的趋势结束(Hu和Fedorov, 2017年)。此外, 显然自1990年代晚期以来, 海洋热含量增加速率上升(见图七)。海表温度和海洋热含量有增无减, 该事实反驳了人类引起的全球变暖放缓这一概念。

**图七.A**  
海洋热含量变化观测值(泽它焦耳)



注: 上层2 000米海洋热含量变化观测值(泽它焦耳:  $10^{21}$ 焦耳, 年平均值)(Cheng等人, 2017年a; Domingues等人, 2008年; Levitus等人, 2012年; Ishii等人, 2017年)。按照政府间气候变化专门委员会第五次评估报告(Rhein等人, 2013年), 把Domingues的估计值(0-700米)与Levitus的估计值(700-2 000米)结合起来, 得出0-2 000米的时间序列。

**图七.B**  
1955-2018年海洋热含量长期趋势的空间格局( $\text{Wm}^{-2}$ )



注: 所有数据均采用1981-2010年的共同基线。黑点符号表示趋势显著的栅格(即为0的趋势位于90%的置信区间之外)。

资料来源: Cheng等人, 2017年a。

## 2.4. 盐度

政府间气候变化专门委员会第四次和第五次评估报告中所述研究, 记录了代表长期变化的近表面和次表面盐度空间格局(Bindoff等人, 2007年; Rhein等人, 2013年)。《第一次世界海洋评估》(联合国, 2017年)记录了整个历史时期全球海洋盐度的显著长期多年代际变化。

上述研究提供了明确的证据,对比早先的历史数据(大约从1950年代起)和现今的盐度数据(例如Boyer等人,2005年;Hosoda等人,2009年;Durack和Wijffels,2010年;Helm等人,2010年;Skirris等人,2014年),可以看出近表面、高盐度亚热带海洋区域和整个大西洋盆地的盐度上升,而低盐度区域(例如西太平洋暖池)和高纬度区域的盐度下降。变化模式反映出盐度的气候平均态放大。而且,通过模型模拟(例如Durack等人,2012年,2013年;Terray等人,2012年;Vinogradova和Ponte,2013年;Durack,2015年;Levang和Schmitt,2015年;Zika等人,2015年)把变化模式联系起来后,显示大气水循环同时放大(例如Held和Soden,2006年)。

由于20世纪中叶观测网络稀疏,不容易对变化情况进行长期历史评估,但是在近期评估中,使用了全面覆盖全球海洋、从2008年到近期的Argo剖面数据。因为现代观测的时间范围只有10年(2008年至今),所以变化估算更多地受到非强迫性变异模式的影响(其对海洋盐度的区域影响大于长期估计值),但是,现代观测在空间和时间上的覆盖面可使变化估计值更加准确。最新仅利用Argo实施的分析首次显示,2017年大西洋0-1500米之间几乎所有的盐度距平都是正值(>0.05实用盐标-78),与上述长期趋势对应,太平洋则呈现出普遍淡化的情况,与长期趋势相似。

自《第一次评估》以来,土壤水分和海洋盐度“水瓶座”卫星和土壤水分主被动探测卫星(例如,Berger等人,2002年;Lagerloef等人,2008年;Tang等人,2017年)显示的盐度反演愈发引人注目。尽管从2010年起才有卫星盐度数据,而且目前正在开展工作,对各卫星平台之间的数据产品进行比较并作均一化处理,但是已开始从中提取关键信息,用来洞察降水事件导致的海洋盐度变异性(例如,Boutin等人,2013年,2014年;Drushka等人,2016年)。此外,与原位平台(例如Argo)相比,卫星探测的盐度数据的时空覆盖度较高,首次为洞察陆地水循环、海洋水循环的相互作用,例如亚马孙河口羽流(Grodsky等人,2014年),提供了信息。

考虑到现有的全部分析,近表面和次表面的盐度变化极有可能从1950年代起就在全球范围内发生。盐度模式明显放大,低盐度地区的盐度越来越低,高盐度地区的盐度越来越高。这一点也在现有一切考虑自有仪器记录以来盐度变化的观测研究中得到支持。例如,高纬度海洋淡化的速度显著。目前,较为现代的评估跨越的时间太短,无法证实过去10年的持续变化。然而,最近的分析说明,大西洋开始呈现出一致的模式,太平洋盆地上层也是如此,不过程度较轻。

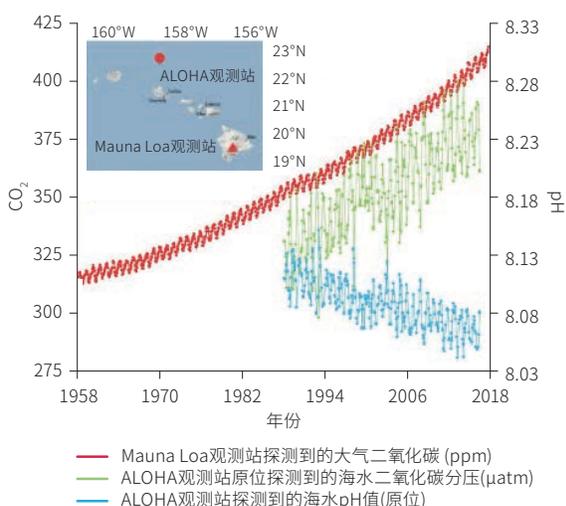
## 2.5. 海洋酸化

自工业革命以来,全球海洋表面pH值平均下降了0.1左右(Caldeira等人,2003年),酸度增加了将近30%。除非全球碳排放量大幅减少,否则预计下个世纪海洋pH值会再下降大约0.2-0.3(Caldeira等人,2003年;Feely等人,2009年)。从延长的海洋时间序列(见图八)中可以观察到这些变化,变化速度至少在过去6600万年中都可能是前所未有的(Hönisch等人,2012年;Zeebe等人,2016年)。大尺度海洋地物特征,包括深度、因陆地影响与大陆产生的距离、上升流系统、淡水和营养盐输入以及纬度,会使碳酸盐体系成分改变(Jewett和Romanou,2017年)。这种变异性由多个特征所决定。受此影响,只有较长期的观测时间序列才能探查到预测的大气二氧化碳水平上升所导致个别地点酸度长期增加的现象。信号出现的时间在开阔洋地点为8到15年不等人,在沿岸地点为16到41年不等(Sutton等人,2019年),因此需要坚持进行长期观测记录,特别是在沿岸地区,那里聚集着最具商业和文化重要性的海洋资源。

现在有记录显示,海洋酸化加大了一些海洋生物,例如珊瑚、牡蛎、翼足目(Hoegh-Guldberg等人,2017年;Lemasson等人,2017年;Bednarsek等人,2016年;Feely等人,2004年;Orr等人,2005年)形成碳酸钙壳和骨骼的难度。在某些情况下,可看出海洋酸化降低了球石藻、螃蟹和海胆等一些物种的适应性(Campbell等人,2016年;Dodd等人,2015年;Riebesell等人,2017年;Munday等人,2009年)。虽然测试时单个物种在实验室环境

中易受海洋酸化的影响,但是如何将之换算为实际生态系统和物种数量的变化仍不清楚,而且大多没有记录(McElhany, 2017年)。借助过去10年的研究工作,逐渐了解海洋酸化单独以及与富营养化、暖化和缺氧等其他压力因素结合起来如何影响海洋物种、生态系统和生物地球化学循环(Baumann, 2019年; Murray, 2019年)。沿岸地区的海洋酸化与沿岸过程(例如不饱和水上涌和陆基营养盐流入)的相互作用,已经成为高优先级研究领域(Borges和Gypensb, 2010年; Feely等人, 2008年)。碳酸盐体系的自然变异性,例如沿岸上升流和初级生产力季节性波动,因人为变化而加剧,在全球海洋的一些区域形成特别极端的海洋酸化条件(Feely等人, 2008年; Cross等人, 2014年)。过去10年,国家和国际社会围绕碳酸盐体系监测、生物观测、生物地球化学或生态预测建模密集地开展工作,揭示了海洋酸化从局部到全球的现状和影响。眼下,正在通过实施全球监测能力建设(例如全球海洋酸化观测网)、加强生物影响研究、建立生物地球化学生态系统模型来弥补目前对海洋化学状况的认识差距。

**图八**  
根据夏威夷海洋时间序列计划1988年至2018年在北太平洋获得的观测数据算出的表层(<50米)海洋碳酸盐体系趋势



图中显示大气(红点)二氧化碳浓度、海水(绿点)二氧化碳分压浓度、海水pH值相应下降现象(蓝点,次坐标Y轴)之间的

联动增加。海洋化学数据来自夏威夷海洋时间序列数据组织和图形系统。

资料来源:美国国家海洋和大气管理局太平洋海洋环境实验室碳计划。

## 2.6. 溶解氧

由于化学分析方法基本上没有发生任何改变(Carpenter, 1965年; Wilcock等人, 1981年; Knapp等人, 1991年),在数据覆盖度充足的情况下,可以相当可靠地估计长期海洋氧趋势。溶解氧样品用温克勒滴定法进行分析,这种方法于1903年确立,此后一直用于校准所有的海洋溶解氧测量工具。这样就可以对所有数据覆盖面足够大的区域开展扎实的长期趋势分析。现代温克勒滴定法由计算机辅助完成,尽管无法显示历史测量偏差,但是可以提高分析的准确性(Schmidt等人, 2017年)。以假定可能出现的偏差——0.5%试剂变化(Knapp等人, 1991年),在全球氧数据集上进行了测试,结果发现其发生的几率很小,因为故意引入的偏差所对应的氧变化模式与任何观察到的模式都不匹配(Schmidt等人, 2017年)。

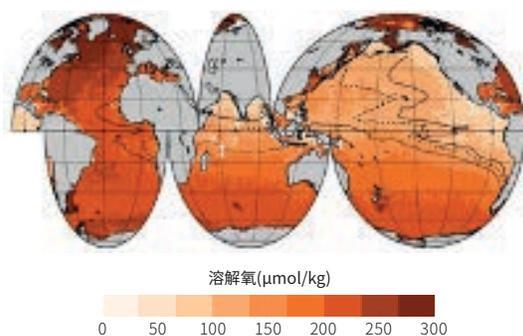
就开阔洋而言,虽然在许多时间尺度上存在时间变化,但是大多数区域性的长期序列数据都显示出长期的小幅下降(例如, Keeling等人, 2010年)。仅在十分有限的时间序列中发现含氧量增加(Keeling等人, 2010年)。沿岸变化主要会因为肥料随着河流进入海洋而加剧,但在某些情况下,可能受到更大尺度上的氧变化的影响。它们可能导致死区增加,影响区域生态和经济(Diaz和Rosenberg, 2008年)。

在全球范围内,近几十年来海洋一直在失氧。对比十年氧数据快照和局部回归分析(Schmidt等人, 2017年; Ito等人, 2017年),可看出两种方法都显示氧大幅减少(见图九.A和九.B)。虽然方法不同,但是在同一水层、给定的不确定性下,得出的速度是一致的。脱氧速度随深度和区域发生变化,与改变含氧量的多重过程类似,呈现出含氧量增加的区域属于个别情况。在过去50年,总体氧预算减少了2%,也即自1960年以来损失了

4.8±2.1千兆摩尔(Schmidtko等人, 2017年)。在水柱上层, 温度驱动的溶解度下降占主导地位(见图九.C)。1970-2010年期间, 上层1 000米的氧浓度减速为 $0.046 \pm 0.047 \mu\text{mol l}^{-1} \text{yr}^{-1}$ , 含 $0.025 \mu\text{mol l}^{-1} \text{yr}^{-1}$ 的溶解度变化(Schmidtko等人, 2017年)。根据水柱上层的热量增加情况(见图九.C, 上半部分), 对浅层进行分析后, 与溶解度相关的变化会显著增加(见图九.C)。然而, 就整个海洋水柱而言, 1970年至2010年溶解度引发的变化很小, 为 $-0.006 \mu\text{mol l}^{-1} \text{yr}^{-1}$ , 总体氧损失则为 $0.063 \pm 0.031 \mu\text{mol l}^{-1} \text{yr}^{-1}$ 。然而, 不能排除温度通过溶解度变化以外的其他一些机制起作用, 而成为此类变化的关键来源。这些机制包括分层增加、环流变化和生物地球化学循环受到的热冲击(例如, Keeling等人, 2002年; Bianchi等人, 2013年; Stendardo和Gruber, 2012年)。

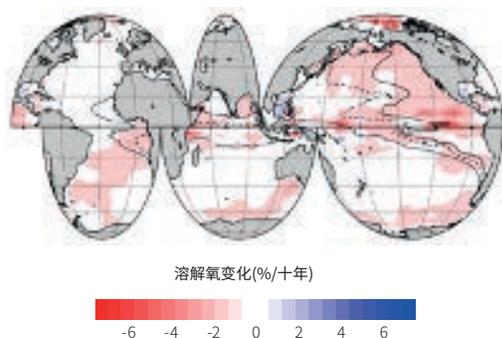
图九.A

水柱溶解氧浓度平均值



图九.B

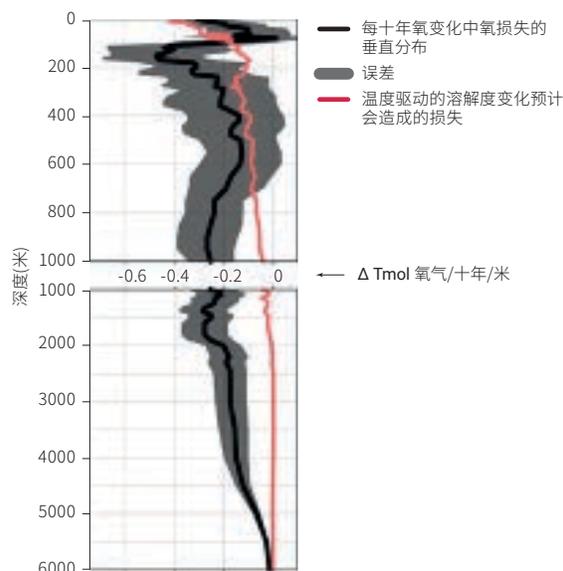
每十年溶解氧的变化百分比



注: 图中实线、点线和虚线表示水柱内某一深度的含氧量低(40、80和120  $\mu\text{mol l}^{-1}$ )。

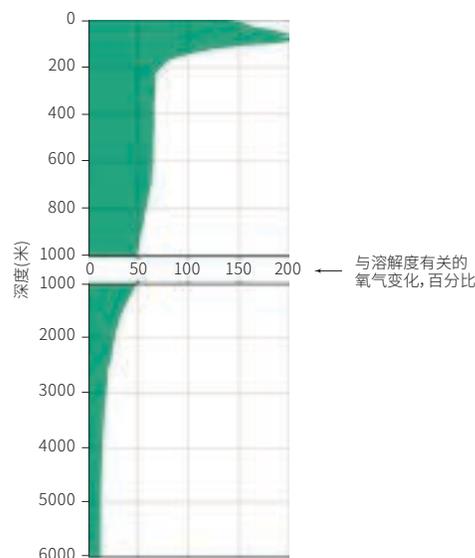
图九.C

每十年氧变化中氧损失的垂直分布



图九.D

溶解度变化造成的水柱累计氧损失占观测到的脱氧量的百分比



注: 溶解度变化超过100%, 系由增加海洋上层含氧量和抵消变暖效应的过程所致。

资料来源: Schmidtko等人, 2017年。

近几十年来, 最低含氧带的面积基本上一直在扩大, 尽管存在显著的区域变异性(Diaz和Rosenberg, 2008)。最低含氧带对气候变化有潜在影

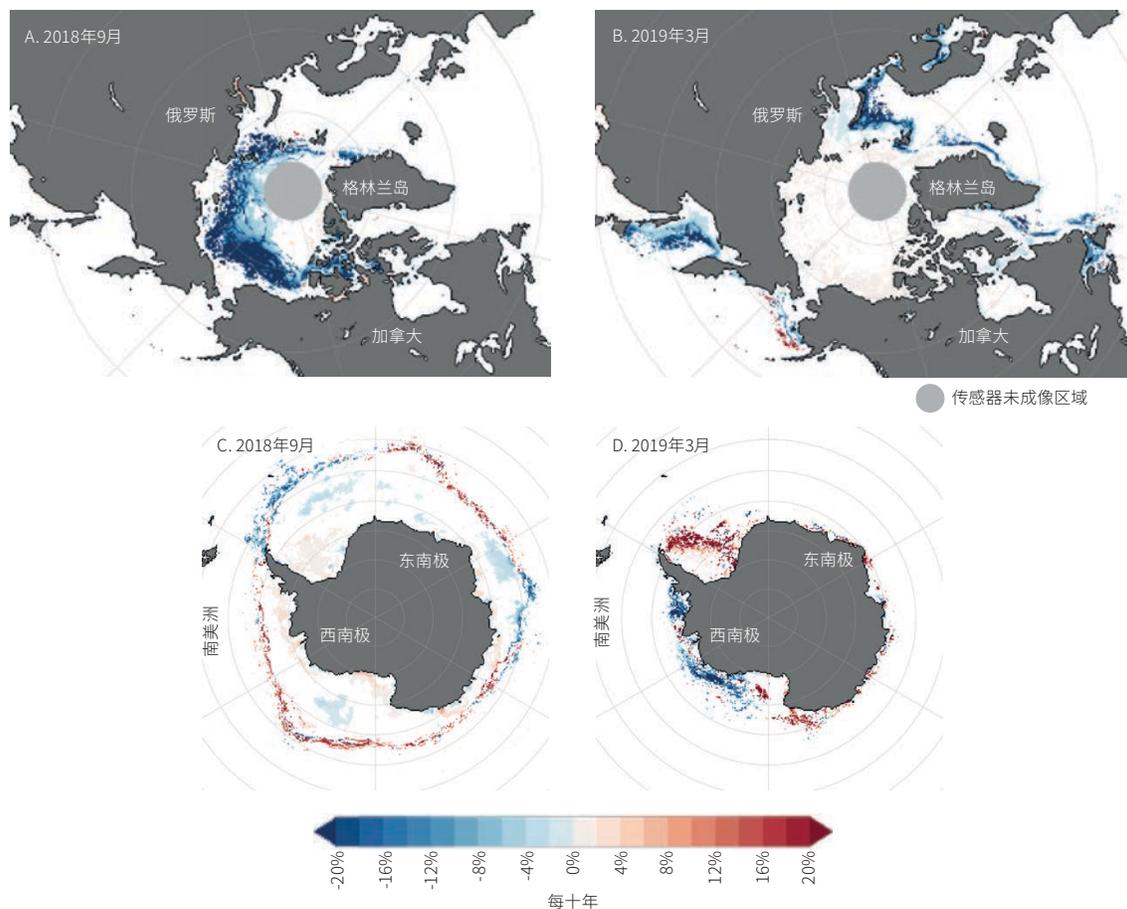
响, 因为它们在无氧条件下的反硝化过程中会排放大量的一氧化二氮, 这是一种强效温室气体(例如, Codispoti, 2010年; Santoro等人, 2011年)。特别是, 太平洋和印度洋的最低含氧带增多。

## 2.7. 海冰

北极海冰一直是气候变化最典型的指标之一。在北半球的冬季, 北极海冰的面积到3月最大, 为  $15.4 \times 10^6$  平方千米; 在北半球的夏季, 北极海冰的面积到9月降至  $6.4 \times 10^6$  平方千米。北极海冰的实际面积在冬季每十年减少  $-2.7 \pm 0.4\%$  (1979年3月-2019年), 在夏季每十年减少  $-12.8 \pm 2.3\%$  (1979年9月-2018年)(见图十; Fetterer等人, 2017年)。冬季, 下降趋势更均匀地分布在极点周围; 而夏季, 下降趋势在北冰洋太平洋扇区几乎翻了一倍(地图

右上方, 图十)。在该地区, 与北极涛动有关的风出现变化, 越来越多地把冰从沿岸地区吹向北大西洋(Rigor等人, 2002年), 其身后的冰层于是变得更年轻、更薄(Rigor和Wallace, 2004年)。北极海冰的厚度起码降低了40% (Rothrock等人, 1999年, 对比1958年至1976年和1993年至1997年的水下观测数据), 而且Kwok (2018年)指出, 这些变化直到今天依然存在。在海冰范围(面积)和厚度方面, 观测到的趋势共同表明, 自1979年以来, 北极海冰的体积减少了75%以上。这一估计与许多建模研究一致, 例如泛北冰洋建模和同化系统(Zhang和Rothrock, 2003年; Schweiger等人, 2011年)估计, 1979年至2017年, 北极海冰在9月份的平均量为  $11.5 \times 10^3$  立方千米, 每十年减少  $2.8 \times 10^3$  立方千米, 2010年总冰量创下最低纪录。

**图十**  
北极和南极海冰密集度趋势(每十年百分比)



注: 上面一行为北极趋势, 下面一行为南极趋势, 左栏为1979年9月-2018年9月, 右栏为1979年3月-2019年3月。  
资料来源: 科罗拉多大学博尔德分校国家冰雪数据中心; Fetterer等人, 2017年。

在南极洲,海冰面积到9月(南半球的冬季)增至最大,为 $19\text{-}20\times 10^6$ 平方千米,到2月(南半球的夏季)减至最小,为 $3.1\times 10^6$ 平方千米。南极海冰面积的趋势为:夏季每十年 $0.6\pm 0.6\%$ (1979年2月-2019年);冬季每十年 $1.1\pm 3.7\%$ (1979年9月-2018年)。1979年至2015年,南极海冰净面积呈现出具有统计学意义的增长。从2016年开始,一直低于平均水平,还创下了新的历史低值。鉴于南极海冰覆盖面积的突然变异性基本被归因于海洋混合层的变化,有必要给出其他的原因,加以解释。不同区域之间海冰覆盖面积的净总体变化差异很大。南极与北极海冰之间截然不同的情况被归因于地理环境造成的限制。在冬季,海冰最远能到达的位置由南极绕极流和南大洋水深决定(Nghiem等人,2016年),在夏季,海冰仅退到南极大陆的边缘。然而,图十(C和D)显示,从区域上看,趋势更

为明显。在夏季,威德尔海的海冰面积增加,但贝林斯豪森海和阿蒙森海(西南极)的海冰面积减少,后者的冰盖更容易受到海洋过程的影响。海冰面积的区域性趋势与南半球环状模和厄尔尼诺—南方涛动相关的风(和洋流)变化有关(Parkinson,2019年,包括其中的参考资料)。四十年记录显示,南极海冰在逐渐增加后减少,而且减速远超北极。

由于海冰在海上漂浮,海冰融化对海平面上升的贡献可以忽略不计。然而,海冰既像盾牌,能防止日照使海洋变暖,又像陆冰的扶壁(海洋是陆冰的终点),可避免温暖的海水和海浪侵蚀冰盖。海冰消失使许多冰盖更加脆弱,进而由于陆地冰盖的融化,加快了海平面上升的速度(例如,Stewart等人,2019年)。

### 3. 知识差距

#### 3.1. 海平面

全球平均海平面和区域海平面已通过卫星测高任务测定,沿岸海平面则不同,对其变化仍然所知甚少由于雷达信号的陆地污染,验潮仪对沿岸地区的取样确实严重不足,而且目前传统的测高任务也不对沿岸地区进行测量(距离海岸10公里以内)(Cipollini等人,2018年)。不过,现在会专门对通过此类任务收集的数据进行再处理,可以就十分接近海岸的海平面变化作出估计(Marti等人,2019年)。在不久的将来,通过系统地运用欧洲空间局在近期任务(例如CryoSat-2和哨兵-3)中使用的新合成孔径雷达技术,也能就十分接近海岸的海平面变化作出估计。

#### 3.2. 海洋环流

当前的海洋观测网络还存在一些局限,特别是对于沿岸地区、边缘海和2 000米以下深海区。重要的是,将来建起一套深海系统,用于监测该深度以下的海洋变化,从而完整地估计地球能量不平衡的情况(Johnson等人,2015年)。目前,Argo不能

完全反映边界流的情况,因为浮标能迅速浮过能量汇聚区域,例如西边界流和大西洋绕极流区域,这可能会引起反向动能串级,影响大尺度低频变异性(Wang等人,2017年)。为做到充分采样,需要根据配合不同运行环境开发的多种观测技术来设计观测系统。需要建设和维护多个观测平台,用于交叉验证和校准(Meyssignac等人,2019年),包括验证气候模型。

#### 3.3. 海表温度和海洋热含量

温度记录受自然气候模式的制约,例如太平洋十年涛动(England等人,2014年;Kosaka和Xie,2013年)、厄尔尼诺—南方涛动(Cheng等人,2018年)和大西洋年代际涛动(Garcia-Soto和Pingree,2012年)。关于根据观测作出的分析,有一点需要说明,就是记录仍然太短:换言之,大西洋年代际涛动和太平洋十年涛动的典型周期约为30至70年,类似可靠的海洋热含量记录的时间长度(自1950年代末以来约60年)。有人提出,把模型和观测结合起来进行分析是未来的发展方向(Cheng等人,2018年;Liu等

人, 2016年), 这样能更好地理解不同时间尺度上海表温度和海洋热含量的变化和变异性。缺乏全球长期表面能量通量观测是另一个挑战, 有碍全面了解海表温度和海洋热含量的变化。另外, 对于厄尔尼诺—南方涛动机制和反馈, 以及对于这一现象与全球变暖有关的多样性认识不足。

### 3.4. 盐度

迄今所有根据观测作出的分析都显示, 观测到的盐度变化似乎很强劲, 但是, 在这些变化的确切来源方面, 存在知识差距, 特别是在与陆地和冰冻圈水储库有关的近岸地区。许多观测和模型研究确切地将开阔洋的变化与表面强迫性水循环变化关联起来, 并认为蒸发和降水模式同时增强是变化的主要驱动因素。持续的变化会对海洋生态系统产生重大影响, 包括对具有重要生态和经济意义物种的生命周期时间、适应性和生存能力的影响。

## 4. 概要

海洋暖化和陆冰融化是当今全球平均海平面加速上升的主要原因。自1993年以来(测高时代), 全球平均海平面以平均每年 $3.1 \pm 0.3$ 毫米的速度上升, 明显叠加加速约每年0.1毫米。<sup>7</sup>卫星测高还显示, 海平面变化速率有很强的区域变异性, 一些区域的海平面变化率比全球平均水平高两三倍。由于全球变暖, 许多环流系统也发生了变化。

用高精度卫星测高仪测得的海平面高度变化, 意味着北太平洋和南太平洋的副热带流涡正在扩大和加强。研究还表明, 许多洋流, 包括南极绕极流、南半球亚热带流涡, 以及所有海洋盆地的西边界流, 都在朝极地移动。主要洋流系统之一大西洋经向翻转环流已经减弱, 而且今后很可能继续减弱。这种变化之后的影响包括区域海平面上升、营养盐分布与碳吸收的变化, 以及对大气的反馈作用。

<sup>6</sup> 见<https://biogeochemical-argo.org>。

<sup>7</sup> 见大会第70/1号决议。

### 3.5. 海洋酸化

需要开展更多研究, 从而更好地为模型提供信息, 更好地预测地球系统对海洋酸化的反应、其对海洋物种和群落的影响, 以及生物顺应或适应海洋酸化引起的海洋化学变化的能力。现在仍然很需要扩大在沿岸地区的监测范围, 使用质量高、成本低的传感器实施此类监测, 获得更多的卫星数据, 研究观测记录所示之外的海洋化学长期趋势(古海洋酸化)。一个典型的做法是扩大Argo计划, 纳入生物地球化学参数, 包括pH值。<sup>6</sup>

### 3.6. 海冰

由于环境恶劣, 而且通常只能在春夏两季进入, 因此维持极地地区的原位观测网络是一项挑战。卫星地球物理参数反演正在改进, 但需要原位观测来验证反演结果。特别是, 原位测量海冰上的积雪和海冰的厚度, 对于更多地了解极地物理过程来说十分宝贵。这种测量在北极很少, 在南极则更少。

全球平均海表温度数据显示, 1900-2018年期间, 升温速度为每百年 $0.62 \pm 0.12$ °C。近十年(2009-2018年), 海洋表面升温速度为 $2.56 \pm 0.68$ °C c<sup>-1</sup>。大多数海洋区域升温, 部分地区例如北大西洋则长期降温。自1955年以来, 海洋上层2 000米也出现了强劲升温的迹象, 海洋热含量增加就是证明。

多年代际盐度变化的空间格局提供的证据令人信服, 它证明全球海洋中全球尺度的水循环变化与这一时期的升温相吻合。已发现的变化在所有关于长期盐度变化的观测分析中都得到了重复, 近期也在强迫性气候模型模拟中也得到再现。这些变化表现为近表层、高盐度亚热带地区盐度增强, 西太平洋暖池和两极等低盐度地区的相应淡化。在海洋次表层也发现有类似的变化。大西洋、太平

洋、印度洋等各大洋盆地和南大洋都呈现出类似规律——低盐度水体淡化、高盐度水体盐度增强。

工业革命以来，全球海洋表层pH值平均下降大约0.1，酸度增加将近30%。除非全球碳排放大幅减少，否则预计海洋pH值在下个世纪还会再减少0.3左右。这些变化在延长的海洋时间序列中可以观察到，变化速度可能至少在过去6 600万年中都绝无仅有。信号出现的时间在开阔洋地点为8到15年不等人，在沿岸地点为16到41年不等人，因此需要坚持进行长期观测记录，特别是在沿岸地区，那里聚集着最具商业和文化重要性的海洋资源。

海洋含氧量近几十年来都在下降，而且区域差异很大。总含氧量在50年中下降了约2%，沿岸地区或最低含氧带附近的含氧量变化较大。沿岸地区的变化主要因河水径流而加剧，开阔洋的变化则可能与海洋环流和生物地球化学循环两者的变化

有关。温度驱动的溶解度下降是造成大部分近表面氧损失的原因，而其他过程是导致深海氧损失的原因。最低含氧带内部和周边的氧进一步减少，可通过随后的温室气体排放引发气候反馈。

海冰覆盖了全球海洋的15%，影响着全球热平衡和全球温盐环流。海冰总面积在北极迅速减少，但这一趋势在南极却并不显著。北极海冰面积在冬季下降速率为 $-2.7 \pm 0.4\% \text{ c}^{-1}$ ，在夏季下降速率为 $-2.8 \pm 2.3\% \text{ c}^{-1}$ 。相比之下，南极海冰总面积的这一趋势并不显著，夏季为 $0.6 \pm 0.6\% \text{ c}^{-1}$ ，冬季为 $1.1 \pm 3.7\% \text{ c}^{-1}$ 。从区域上看，趋势的空间分布很明显。在北极，北冰洋太平洋扇区的夏季趋势最为突出；在南极，夏季趋势在威德尔海增强，在南大洋西南极扇区减弱。形成海冰变化空间分布的因素是与北半球的北极涛动和南半球的南半球环状模及厄尔尼诺现象相关的风和洋流变化。

## 参考资料

### 海平面

- Chen, Xianyao, and others (2017). The increasing rate of global mean sea-level rise during 1993–2014. *Nature Climate Change*, vol. 7, No. 7, p. 492.
- Cipollini, Paolo, and others (2018). Satellite altimetry in coastal regions. In *Satellite Altimetry over Oceans and Land Surfaces*, eds. Detlef Stammer and Anny Cazenave, pp. 343–373. CRC Press.
- Dieng, H.B., and others (2017). New estimate of the current rate of sea level rise from a sea level budget approach. *Geophysical Research Letters*, vol. 44, No. 8, pp. 3744–3751.
- Legeais, Jean-François, and others (2018). An improved and homogeneous altimeter sea level record from the ESA Climate Change Initiative. *Earth System Science Data*, vol. 10, pp. 281–301.
- Marti, Florence, and others (2019). Altimetry-based sea level trends along the coasts of Western Africa. *Advances in Space Research*.
- Nerem, Robert S., and others (2018). Climate-change-driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, No. 9, pp. 2022–2025.
- Woodworth, Philip L., and others (2019). Forcing factors affecting sea level changes at the coast. *Surveys in Geophysics*, pp. 1–47.
- World Climate Research Programme Global Sea Level Budget Group (2018). Global sea-level budget 1993–present. *Earth System Science Data*, vol. 10, No. 3, pp. 1551–1590. <https://doi.org/10.5194/essd-10-1551-2018>.
- Yi, Shuang, and others (2017). Acceleration in the global mean sea level rise: 2005–2015. *Geophysical Research Letters*, vol. 44, No. 23, p. 11905.

## 洋环流

- Alory, Gaël, and others (2007). Observed temperature trends in the Indian Ocean over 1960–1999 and associated mechanisms. *Geophysical Research Letters*, vol. 34, No. 2.
- Caesar, Levke, and others (2018). Observed fingerprint of a weakening Atlantic Ocean overturning circulation. *Nature*, vol. 556, No. 7700, p. 191.
- Cai, Wenju (2006). Antarctic ozone depletion causes an intensification of the Southern Ocean super-gyre circulation. *Geophysical Research Letters*, vol. 33, No. 3.
- Dima, Mihai, and Gerrit Lohmann (2010). Evidence for two distinct modes of large-scale ocean circulation changes over the last century. *Journal of Climate*, vol. 23, No. 1, pp. 5–16.
- Dohan, Kathleen, and others (2010). Measuring the global ocean surface circulation with satellite and in situ observations. *Proceedings of OceanObs*, vol. 9.
- Duchez, Aurélie, and others (2016). Drivers of exceptionally cold North Atlantic Ocean temperatures and their link to the 2015 European heat wave. *Environmental Research Letters*, vol. 11, No. 7, p. 074004.
- Frackja-Williams, Eleanor (2015). Estimating the Atlantic overturning at 26 N using satellite altimetry and cable measurements. *Geophysical Research Letters*, vol. 42, No. 9, pp. 3458–3464.
- Freeland, Howard, and others (2010). Argo – a decade of progress. *Proceedings of OceanObs*, vol. 9, pp. 357–370.
- Gille, Sarah T. (2008). Decadal-scale temperature trends in the Southern Hemisphere ocean. *Journal of Climate*, vol. 21, No. 18, pp. 4749–4765.
- Goddard, Paul B., and others (2015). An extreme event of sea-level rise along the Northeast coast of North America in 2009–2010. *Nature Communications*, vol. 6, No. 6346.
- Hill, K.L., and others (2008). Wind forced low frequency variability of the East Australia Current. *Geophysical Research Letters*, vol. 35, No. 8.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of IPCC the Intergovernmental Panel on Climate Change*. eds. Thomas F. Stocker and others Cambridge: Cambridge University Press.
- Jackson, Laura C., and others (2016). Recent slowing of Atlantic overturning circulation as a recovery from earlier strengthening. *Nature Geoscience*, vol. 9, No. 7, p. 518.
- Latif, Mojib, and others (2006). Is the thermohaline circulation changing? *Journal of Climate*, vol. 19, No. 18, pp. 4631–4637.
- Lozier, M.S., and others (2017). Overturning in the Subpolar North Atlantic Program: A new international ocean observing system. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 98, No. 4, pp. 737–752.
- Mercier, H., and others (2015). Variability of the meridional overturning circulation at the Greenland–Portugal OVIDE section from 1993 to 2010. *Progress in Oceanography*, vol. 132, pp. 250–261.
- Qiu, Bo, and Shuiming Chen (2012). Multidecadal sea level and gyre circulation variability in the northwestern tropical Pacific Ocean. *Journal of Physical Oceanography*, vol. 42, No. 1, pp. 193–206.
- Rahmstorf, Stefan, and others (2015). Exceptional twentieth-century slowdown in Atlantic Ocean overturning circulation. *Nature Climate Change*, vol. 5, No. 5, p. 475.
- Sherwood, Owen, and others (2011). Nutrient regime shift in the western North Atlantic indicated by compound-specific delta15N of deep-sea gorgonian corals. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 108, pp. 1011–1015. <https://doi.org/10.1073/pnas.1004904108>.
- Smeed, D.A., and others (2014). Observed decline of the Atlantic meridional overturning circulation 2004–2012. *Ocean Science*, vol. 10, No. 1, pp. 29–38.

- Smeed, D.A., and others (2018). The North Atlantic Ocean is in a state of reduced overturning. *Geophysical Research Letters*, vol. 45, No. 3, pp. 1527–1533.
- Thibodeau, B., and others (2018). Last Century Warming Over the Canadian Atlantic Shelves Linked to Weak Atlantic Meridional Overturning Circulation. *Geophysical Research Letters*, vol. 45, pp. 12376–12385. <https://doi.org/10.1029/2018gl080083>.
- Thornalley, David J.R., and others (2018). Anomalously weak Labrador Sea convection and Atlantic overturning during the past 150 years. *Nature*, vol. 556, No. 7700, p. 227.
- Timmermann, Axel, and others (2010). Wind effects on past and future regional sea level trends in the southern Indo-Pacific. *Journal of Climate*, vol. 23, No. 16, pp. 4429–4437.
- Wu, Lixin, and others (2012). Enhanced warming over the global subtropical western boundary currents. *Nature Climate Change*, vol. 2, No. 3, p. 161.
- Zanna, L., and others (2019). Global reconstruction of historical ocean heat storage and transport. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 116, p. 1126. <https://doi.org/10.1073/pnas.1808838115>.
- Zickfeld, Kirsten, and others (2008). Carbon-cycle feedbacks of changes in the Atlantic meridional overturning circulation under future atmospheric CO<sub>2</sub>. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 22, No. 3.

## 海温和海洋热含量

- Abraham, John P., and others (2013). A review of global ocean temperature observations: Implications for ocean heat content estimates and climate change. *Reviews of Geophysics*, vol. 51, No. 3, pp. 450–483.
- Bindoff, Nathaniel L., and others (2013). Detection and attribution of climate change: from global to regional.
- Boyer, Tim, and others (2016). Sensitivity of global upper-ocean heat content estimates to mapping methods, XBT bias corrections, and baseline climatologies. *Journal of Climate*, vol. 29, No. 13, pp. 4817–4842.
- Caesar, Levke, and others (2018). Observed fingerprint of a weakening Atlantic Ocean overturning circulation. *Nature*, vol. 556, No. 7700, p. 191.
- Cheng, Lijing, and others (2016). XBT Science: Assessment of instrumental biases and errors. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 97, No. 6, pp. 924–933.
- Cheng, Lijing, and others (2017a). Improved estimates of ocean heat content from 1960 to 2015. *Science Advances*, vol. 3, No. 3, p. e1601545.
- Cheng, Lijing, and others (2017b). Taking the pulse of the planet. *Earth and Space Science News, Eos*, vol. 99, pp. 14–16.
- Cheng, Lijing, and others (2018). Decadal Ocean Heat Redistribution Since the Late 1990s and Its Association with Key Climate Modes. *Climate*, vol. 6, No. 4, p. 91.
- Cheng, Lijing, and others (2019a). 2018 Continues Record Global Ocean Warming. *Advances in Atmospheric Sciences*, vol. 36, No. 3, pp. 249–252.
- Cheng, Lijing, and others (2019b). How fast are the oceans warming? *Science*, vol. 363, No. 6423, pp. 128–129.
- Dewitte, B., and others. 2012. Change in El Niño flavours over 1958–2008: Implications for the long-term trend of the upwelling off Peru. *Deep-Sea Research II*, 77–80 (2012), pp. 143–156.
- Domingues, Catia M., and others (2008). Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise. *Nature*, vol. 453, No. 7198, p. 1090.
- Durack, Paul J. (2015). Ocean salinity and the global water cycle. *Oceanography*, vol. 28, No. 1, pp. 20–31.
- England, Matthew H., and others (2014). Recent intensification of wind-driven circulation in the Pacific and the ongoing warming hiatus. *Nature Climate Change*, vol. 4, No. 3, p. 222.

- Garcia-Soto, Carlos, and Robin D. Pingree (2012). Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) and sea surface temperature in the Bay of Biscay and adjacent regions. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, vol. 92, No. 2, pp. 213–234.
- Good, S.A. (2020): ESA Sea Surface Temperature Climate Change Initiative (SST\_cci): GHRSSST Multi-Product ensemble (GMPE), v2.0. Centre for Environmental Data Analysis.
- Gutiérrez, D., and others. 2016. Productivity and Sustainable Management of the Humboldt Current Large Marine Ecosystem under Climate Change.
- Hansen, James, and others (2011). Earth's energy imbalance and implications. *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 11, No. 24, pp. 13421–13449.
- Hartmann, Dennis L., and others (2013). Observations: atmosphere and surface. In *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 159–254. Cambridge University Press.
- Hirahara, Shoji, and others (2014). Centennial-scale sea surface temperature analysis and its uncertainty. *Journal of Climate*, vol. 27, pp. 57–75.
- Hu, Shineng, and Alexey V. Fedorov (2017). The extreme El Niño of 2015–2016 and the end of global warming hiatus. *Geophysical Research Letters*, vol. 44, No. 8, pp. 3816–3824.
- Huang, Boyin, and others (2017). Extended reconstructed sea surface temperature, version 5 (ERSSTv5): upgrades, validations, and intercomparisons. *Journal of Climate*, vol. 30, No. 20, pp. 8179–8205.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2019). Summary for policymakers. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, H-O. Pörtner and others, eds. (in press).
- Ishii, Masayoshi, and others (2005). Objective analyses of sea-surface temperature and marine meteorological variables for the 20th century using ICOADS and the Kobe collection. *International Journal of Climatology*, vol. 25, No. 7, pp. 865–879.
- Ishii, Masayoshi, and others (2017). Accuracy of global upper ocean heat content estimation expected from present observational data sets. *Sola*, vol. 13, pp. 163–167.
- Johnson, Gregory C., and others (2015). Informing deep Argo array design using Argo and full-depth hydrographic section data. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 32, No. 11, pp. 2187–2198.
- Kosaka, Yu, and Shang-Ping Xie (2013). Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling. *Nature*, vol. 501, No. 7467, pp. 403.
- Levitus, Sydney, and others (2012). World ocean heat content and thermosteric sea level change (0–2000 m), 1955–2010. *Geophysical Research Letters*, vol. 39, No. 10.
- Liu, Wei, and others (2016). Tracking ocean heat uptake during the surface warming hiatus. *Nature Communications*, vol. 7, p. 10926.
- Meyssignac, Benoit, and others (2019). Measuring global ocean heat content to estimate the earth energy imbalance. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 432
- Rayner, N.A.A., and others (2003). Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 108, No. D14.
- Rhein, M., and others (2013). Observations: ocean. In *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 159–254. Cambridge University Press.
- Sallée, Jean-Baptiste (2018). Southern Ocean warming. *Oceanography*, vol. 31, No. 2, pp. 52–62.
- Swart, Neil C., and others (2018). Recent Southern Ocean warming and freshening driven by greenhouse gas emissions and ozone depletion. *Nature Geoscience*, vol. 11, No. 11, p. 836.
- Trenberth, Kevin E., and others (2018). Hurricane Harvey links to ocean heat content and climate change adaptation. *Earth's Future*, vol. 6, No. 5, pp. 730–744.

- Von Schuckmann, K., and others (2016). An imperative to monitor Earth's energy imbalance. *Nature Climate Change*, vol. 6, No. 2, p. 138.
- Wang, Gongjie, and others (2017). Consensuses and discrepancies of basin-scale ocean heat content changes in different ocean analyses. *Climate Dynamics*, vol. 50, Nos. 7–8, pp. 2471–2487.

## 盐度

- Berger, Michael, and others (2002). Measuring ocean salinity with ESA's SMOS Mission—advancing the science.
- Bindoff, Nathaniel L., and others (2007). Observations: oceanic climate change and sea level.
- Boutin, Jacqueline, and others (2013). Sea surface freshening inferred from SMOS and ARGO salinity: impact of rain. *Ocean Science*, vol. 9, No. 1.
- Boutin, Jacqueline, and others (2014). Sea surface salinity under rain cells: SMOS satellite and in situ drifters observations. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 119, No. 8, pp. 5533–5545.
- Boyer, Timothy P., and others (2005). Linear trends in salinity for the World Ocean, 1955–1998. *Geophysical Research Letters*, vol. 32, No. 1.
- Drushka, Kyla, and others (2016). Understanding the formation and evolution of rain-formed fresh lenses at the ocean surface. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 121, No. 4, pp. 2673–2689.
- Durack, Paul J. (2015). Ocean salinity and the global water cycle. *Oceanography*, vol. 28, No. 1, pp. 20–31.
- Durack, Paul J., and Susan E. Wijffels (2010). Fifty-year trends in global ocean salinities and their relationship to broad-scale warming. *Journal of Climate*, vol. 23, No. 16, pp. 4342–4362.
- Durack, Paul J., and others (2013). Chapter 28: Long-term Salinity Changes and Implications for the Global Water Cycle. In *Ocean Circulation and Climate*, eds. Gerold Siedler and others, vol. 103, pp. 727–57. International Geophysics. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-391851-2.00028-3>.
- Durack, Paul J., and others (2012). Ocean salinities reveal strong global water cycle intensification during 1950 to 2000. *Science*, vol. 336, No. 6080, pp. 455–458.
- Grodsky, Semyon A., and others (2014). Year-to-year salinity changes in the Amazon plume: Contrasting 2011 and 2012 Aquarius/SACD and SMOS satellite data. *Remote Sensing of Environment*, vol. 140, pp. 14–22.
- Held, Isaac M., and Brian J. Soden (2006). Robust responses of the hydrological cycle to global warming. *Journal of Climate*, vol. 19, No. 21, pp. 5686–5699.
- Helm, Kieran P., and others (2010). Changes in the global hydrological-cycle inferred from ocean salinity. *Geophysical Research Letters*, vol. 37, No. 18.
- Hosoda, Shigeki, and others (2009). Global surface layer salinity change detected by Argo and its implication for hydrological cycle intensification. *Journal of Oceanography*, vol. 65, No. 4, pp. 579–596.
- Lagerloef, Gary, and others (2008). The Aquarius/SAC-D mission: Designed to meet the salinity remote-sensing challenge. *Oceanography*, vol. 21, No. 1, pp. 68–81.
- Levang, Samuel J., and Raymond W. Schmitt (2015). Centennial changes of the global water cycle in CMIP5 models. *Journal of Climate*, vol. 28, No. 16, pp. 6489–6502.
- Rhein, M., and others (2013). Observations: ocean. In *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 159–254. Cambridge University Press.
- Skliris, Nikolaos, and others (2014). Salinity changes in the World Ocean since 1950 in relation to changing surface freshwater fluxes. *Climate Dynamics*, vol. 43, Nos. 3–4, pp. 709–736.
- Tang, Wenqing, and others (2017). Validating SMAP SSS with in situ measurements. *Remote Sensing of Environment*, vol. 200, pp. 326–340.

- Terray, Laurent, and others (2012). Near-surface salinity as nature's rain gauge to detect human influence on the tropical water cycle. *Journal of Climate*, vol. 25, No. 3, pp. 958–977.
- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Vinogradova, Nadya T., and Rui M. Ponte (2013). Clarifying the link between surface salinity and freshwater fluxes on monthly to interannual time scales. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 118, No. 6, pp. 3190–3201.
- Zika, Jan D., and others (2015). Maintenance and broadening of the ocean's salinity distribution by the water cycle. *Journal of Climate*, vol. 28, No. 24, pp. 9550–9560.

## 海洋酸化

- Baumann, Hannes (2019). Experimental assessments of marine species sensitivities to ocean acidification and co-stressors: how far have we come? *Canadian Journal of Zoology*, vol. 97, No. 5, pp. 399–408.
- Bednaršek, Nina, and others (2016). Pteropods on the edge: Cumulative effects of ocean acidification, warming, and deoxygenation. *Progress in Oceanography*, vol. 145, pp. 1–24.
- Borges, Alberto V., and Nathalie Gypensb (2010). Carbonate chemistry in the coastal zone responds more strongly to eutrophication than ocean acidification. *Limnology and Oceanography*, vol. 55, No. 1, pp. 346–353.
- Breitburg, Denise L., and others (2015). And on top of all that... Coping with ocean acidification in the midst of many stressors. *Oceanography*, vol. 28, No. 2, pp. 48–61.
- Caldeira, Ken, and Michael E. Wickett (2003). Oceanography: anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature*, vol. 425, No. 6956, p. 365.
- Campbell, Anna L., and others (2016). Ocean acidification changes the male fitness landscape. *Scientific Reports*, vol. 6, p. 31250.
- Cross, Jessica N., and others (2014). Annual sea-air CO<sub>2</sub> fluxes in the Bering Sea: Insights from new autumn and winter observations of a seasonally ice-covered continental shelf. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 119, No. 10, pp. 6693–6708.
- Dodd, Luke F., and others (2015). Ocean acidification impairs crab foraging behaviour. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 282, No. 1810, p. 20150333.
- Feely, Richard A., and others (2004). Impact of anthropogenic CO<sub>2</sub> on the CaCO<sub>3</sub> system in the oceans. *Science*, vol. 305, No. 5682, pp. 362–366.
- Feely, Richard A., and others (2008). Evidence for upwelling of corrosive “acidified” water onto the continental shelf. *Science*, vol. 320, No. 5882, pp. 1490–1492.
- Feely, Richard A., and others (2009). Ocean acidification: Present conditions and future changes in a high-CO<sub>2</sub> world. *Oceanography*, vol. 22, No. 4, pp. 36–47.
- Gruber, Nicolas, and others (2019). The oceanic sink for anthropogenic CO<sub>2</sub> from 1994 to 2007. *Science*, vol. 363, No. 6432, pp. 1193–1199.
- Hoegh-Guldberg, Ove, and others (2017). Coral reef ecosystems under climate change and ocean acidification. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 158.
- Hönisch, Bärbel, and others (2012). The geological record of ocean acidification. *Science*, vol. 335, No. 6072, pp. 1058–1063.
- Jewett, L., and A. Romanou (2017). Ocean acidification and other ocean changes. *Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment*, vol. 1, pp. 364–392.
- Le Quéré, Corinne, and others (2016). Global carbon budget 2016.

- Lemasson, Anaëlle J., and others (2017). Linking the biological impacts of ocean acidification on oysters to changes in ecosystem services: a review. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 492, pp. 49–62.
- McElhany, Paul (2017). CO<sub>2</sub> sensitivity experiments are not sufficient to show an effect of ocean acidification. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 74, No. 4, pp. 926–928.
- Munday, Philip L., and others (2009). Ocean acidification impairs olfactory discrimination and homing ability of a marine fish. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 106, No. 6, pp. 1848–1852.
- Murray, Christopher S. (2019). An Experimental Evaluation of the Sensitivity of Coastal Marine Fishes to Acidification, Hypoxia, and Warming.
- Orr, James C., and others (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, vol. 437, No. 7059, pp. 681–686.
- Riebesell, Ulf, and others (2017). Competitive fitness of a predominant pelagic calcifier impaired by ocean acidification. *Nature Geoscience*, vol. 10, No. 1, p. 19.
- Sutton, Adrienne J., and others (2019). Autonomous seawater pCO<sub>2</sub> and pH time series from 40 surface buoys and the emergence of anthropogenic trends. *Earth System Science Data*, p. 421.
- Zeebe, Richard E., and others (2016). Anthropogenic carbon release rate unprecedented during the past 66 million years. *Nature Geoscience*, vol. 9, No. 4, pp. 325–329.

## 溶解氧

- Bianchi, Daniele, and others (2013). Intensification of open-ocean oxygen depletion by vertically migrating animals. *Nature Geoscience*, vol. 6, No. 7, pp. 545–548.
- Carpenter, James H. (1965). The accuracy of the Winkler method for dissolved oxygen analysis. *Limnology and Oceanography*, vol. 10, No. 1, pp. 135–140.
- Codispoti, Louis A. (2010). Interesting times for marine N<sub>2</sub>O. *Science*, vol. 327, No. 5971, pp. 1339–1340.
- Diaz, Robert J., and Rutger Rosenberg (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, vol. 321, No. 5891, pp. 926–929.
- Ito, Takamitsu, and others (2017). Upper ocean O<sub>2</sub> trends: 1958–2015. *Geophysical Research Letters*, vol. 44, No. 9, pp. 4214–4223.
- Keeling, Ralph F., and Hernan E. Garcia (2002). The change in oceanic O<sub>2</sub> inventory associated with recent global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 99, No. 12, pp. 7848–7853.
- Keeling, Ralph F., and others (2010). Ocean deoxygenation in a warming world. *Annual Review of Marine Science*, vol. 2, pp. 199–229.
- Knapp, George P., and others (1991). Iodine losses during Winkler titrations. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, vol. 38, No. 1, pp. 121–128.
- Levin, L.A. (2018). Manifestation, Drivers, and Emergence of Open Ocean Deoxygenation. *Annual Review of Marine Science*, vol. 10, pp. 229–260, <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-121916-063359>.
- Santoro, Alyson E., and others (2011). Isotopic signature of N<sub>2</sub>O produced by marine ammonia-oxidizing archaea. *Science*, vol. 333, No. 6047, pp. 1282–1285.
- Schmidtko, Sunke, and others (2017). Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades. *Nature*, vol. 542, No. 7641, pp. 335–339. <https://doi.org/10.1038/nature21399>.
- Stendardo, I., and N. Gruber (2012). Oxygen trends over five decades in the North Atlantic. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 117, No. C11.
- Stramma, Lothar, and others (2012). Expansion of oxygen minimum zones may reduce available habitat for tropical pelagic fishes. *Nature Climate Change*, vol. 2, No. 1, pp. 33–37.

- Voss, Maren, and others (2013). The marine nitrogen cycle: Recent discoveries, uncertainties. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 368.
- Wilcock, R.J., and others (1981). An interlaboratory study of dissolved oxygen in water. *Water Research*, vol. 15, No. 3, pp. 321–325.
- Worm, Boris, and others (2005). Global patterns of predator diversity in the open oceans. *Science*, vol. 309, No. 5739, pp. 1365–1369.

## 海冰

- Fetterer, F., and others (2017). *Sea Ice Index, Version 3*. Boulder, Colorado, United States of America: NSIDC: National Snow and Ice Data Center. <https://doi.org/10.7265/N5K072F8>.
- Kwok, Ron (2018). Arctic sea ice thickness, volume, and multiyear ice coverage: losses and coupled variability (1958–2018). *Environmental Research Letters*, vol. 13, No. 10, p. 105005.
- Massom, R.A., and others (2018). Antarctic Ice shelf disintegration triggered by sea ice loss and ocean swell. *Nature*, vol. 558, pp. 383–389, <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0212-1>.
- Meehl, G.A., and others (2019). Sustained ocean changes contributed to sudden Antarctic sea ice retreat in late 2016. *Nature Communications*, vol. 10(1), p. 14. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07865-9>.
- Nghiem, S.V., and others (2016). Geophysical constraints on the Antarctic sea ice cover. *Remote Sensing of Environment*, vol. 181, pp. 281–292.
- Parkinson, Claire L. (2019). A 40-y record reveals gradual Antarctic sea ice increases followed by decreases at rates far exceeding the rates seen in the Arctic. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 116, No. 29, pp. 14414–14423.
- Reid, P., and others (2019): Sea ice extent, concentration, and seasonality. In *State of the Climate in 2018*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 100 (9), pp. S178–S181.
- Rigor, Ignatius G., and John M. Wallace (2004). Variations in the age of Arctic sea-ice and summer sea-ice extent. *Geophysical Research Letters*, vol. 31, No. 9.
- Rigor, Ignatius G., and others (2002). Response of sea ice to the Arctic Oscillation. *Journal of Climate*, vol. 15, No. 18, pp. 2648–2668.
- Rothrock, Drew A., and others (1999). Thinning of the Arctic sea-ice cover. *Geophysical Research Letters*, vol. 26, No. 23, pp. 3469–3472.
- Schweiger, Axel, and others (2011). Uncertainty in modeled Arctic sea ice volume. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 116, No. C8.
- Stewart, Craig L., and others (2019). Basal melting of Ross Ice Shelf from solar heat absorption in an ice-front polynya. *Nature Geoscience*, vol. 12, No. 6, pp. 435–440.
- Zhang, Jinlun, and D.A. Rothrock (2003). Modeling global sea ice with a thickness and enthalpy distribution model in generalized curvilinear coordinates. *Monthly Weather Review*, vol. 131, No. 5, pp. 845–861.



# 第 6 章

# 海洋生物

# 主要分类群的

# 生物多样性趋势



## 导言

2017年发布的《第一次世界海洋评估》从三个角度考虑了生物多样性: 地理区域、分类组别和已确定的令人关切的生境。《第二次世界海洋评估》从分类组别(第6章)和生境(第7章)的角度考虑了所有有数据的区域的生物多样性。对于已列入《第一次评估》的分类组别, 重点关注该评估发布以来出现的变化, 包括新的资料。对于未列入《第一次评估》的分类组别, 重点关注一般资料, 以便确定这些组别当前状态的基线。

第6A分章扩充了《第一次评估》所载的有关浮游生物的信息, 描述了该组别的生物多样性, 特别是提供了关于单细胞浮游植物、细菌、病毒和后生浮游动物的信息。《第一次评估》没有单独探讨有关底栖无脊椎动物的信息, 这方面信息在第6B分章中

提供。浮游型远洋无脊椎动物被列入第6A分章。海洋环境状况(包括社会经济方面问题)全球报告和评估经常程序专家组在第6B分章的一份增编中提供了一些关于远洋无脊椎动物(头足类动物)的信息, 但关于这类无脊椎动物的数据仍有空白, 有待今后评估予以填补。第6C分章列入了关于鱼类多样性的新的和扩充的信息, 特别是与《第一次评估》未考虑的物种有关的信息。第6章还载有关于海洋哺乳动物(第6D分章)、海洋爬行动物(第6E分章)、海鸟(第6F分章)以及海生植物和大型藻类(第6G分章)近期生物多样性变化的信息。第6G分章即本章的最后一个分章纳入了海藻森林和藻床状况的趋势。第7G至I分章也从生境角度描述了海生植物。



# 第 6A 章

# 浮游生物(浮游植物、浮游动物、微生物和病毒)

撰稿人: Thomas Malone (召集人)、Maurizio Azzaro、Russell Hopcroft、Chul Park (本章牵头成员)、Kazuaki Tadokoro、Michael Thorndyke和Sinjae Yoo。



## 主旨要点

- 单细胞微生物是丰度和多样化程度最高的一类海洋生物。以它们为基础的食物网维持着大部分海洋生物多样性。
- 海洋浮游植物约占地球初级生产力、供氧量和固氮量的50%。硅藻和超微型浮游生物(小于2微米)提供了大部分海洋初级生产力。
- 受海洋上层变暖影响,水层垂直分离加剧(分层),海洋中可进行光合作用的部分(透光带)的无机营养盐输入减少,这些可能导致:
  - 浮游植物生产力下降,细胞个体变小;
- 流经微生物食物网的能量流相对于流经后生动物食物网(浮游生物大于20微米)的能量流增加;
- 向深海输出的生物产量减少。这种减少会降低海洋吸收二氧化碳的能力,加速全球大气变暖;
- 较高营养级的生物产量下降。
- 气候导致的海洋酸化可能会减少钙质浮游生物的丰度和分布。
- 当前的全球海洋观测并不专门监测浮游生物多样性。需要建立一个国际海洋生物综合观测系统,作为全球地球观测系统的组成部分。

## 1. 导言

海洋浮游生物群落由病毒、原核生物(古菌和细菌)和真核生物(原生生物和后生动物)组成。原核生物和真核生物包括初级生产者和异养消费者,海洋浮游生物代表了地球上系统发育多样化程度最高的生物群体(Colomban等人,2015年;联合国,2017年a)。本分章着重探讨海洋上层(0至负1 000米)的浮游生物集群以及最有可能对生态系统服务产生影响的气候所致浮游生物变化。

单细胞微生物占海洋生物量、生物多样性和代谢活动的大部分(Gasol等人,1997年;Azam和Malfatti,2007年;Salazar和Sunagawa,2017年;Bar-On等人,2018年),在提供海洋生态系统服务方面发挥关键作用(Palumbi等人,2009年;Liquete等人,2013年)。特别是,浮游植物约占为海洋食物网供能的地球净初级生产力的50%,约占地球供氧量的50%(Field等人,1998年;Westberry等人,2008年);浮游食物网支撑着大多数渔业(Blanchard等人,2012年;Boyce等人,2015

年),为生物泵<sup>1</sup>供能(Honjo等人,2014年),并维持生物多样性(Beaugrand等人,2013年;Vallina等人,2014年)。浮游植物的净初级生产力和流经浮游食物网的养分对至少14个可持续发展目标具有重大贡献(Wood等人,2018年),贡献最突出的是目标14(保护和可持续利用海洋和海洋资源以促进可持续发展)。<sup>2</sup>

本分章旨在:(a)描述全球和区域层面浮游生物集群的当前构成情况以及过往的多样性和生产力趋势;(b)总结这些浮游生物集群中预测的气候所致趋势;(c)查明现有知识的差距。本部分探讨的气候所致海洋上层环境变化为海洋暖化和海洋酸化。这些信息<sup>3</sup>与第5章(海洋物理和化学状况的趋势)和第10章(输入海洋环境的营养盐的变化)尤其相关。《第一次世界海洋评估》(联合国,2017年b)第6章并未专门述及、但在本分章中探讨的主题包括浮游生物多样性的过往趋势和预测趋势。

<sup>1</sup> 通过生物媒介向深海(深度超过1 000米)输出颗粒状有机质和碳酸钙。

<sup>2</sup> 见大会第70/1号决议。

<sup>3</sup> 海洋酸化是指海洋的pH值在一段较长的时间内下降,主要原因是吸收了大气中的二氧化碳。

## 2. 《第一次世界海洋评估》第6章摘要

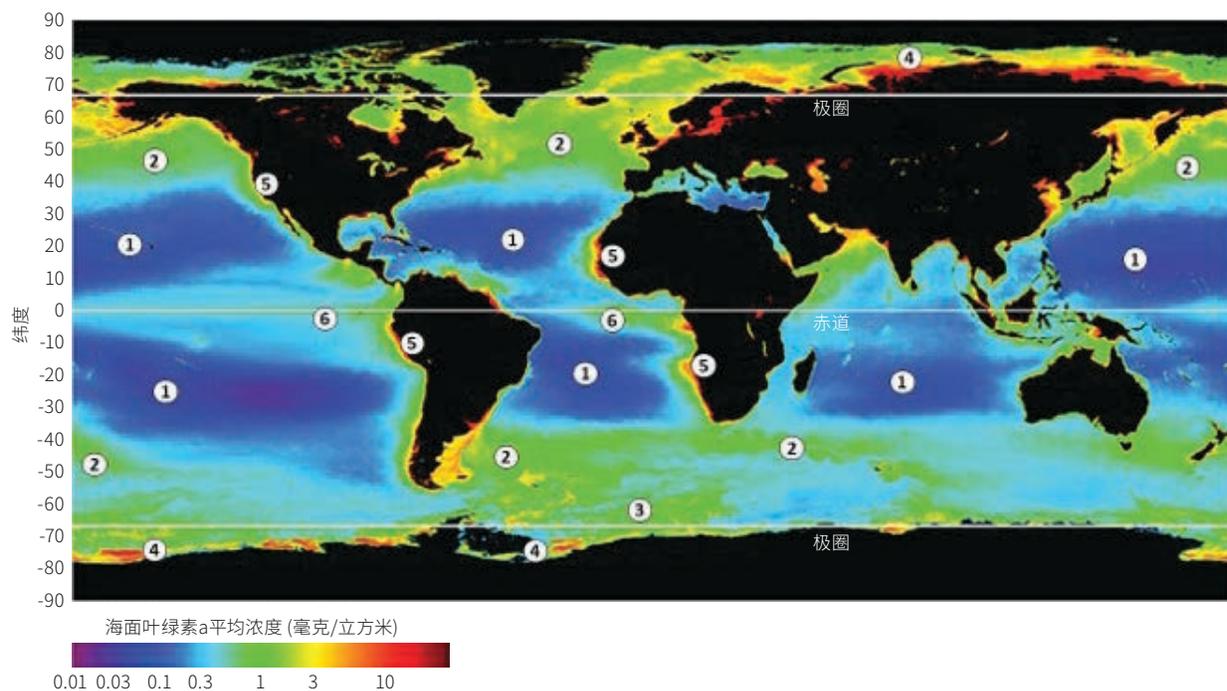
通过研究区域和全球的浮游植物和大型底栖植物净初级生产力模式、海洋上层养分循环以及这些过程所受的人为影响，得出了以下结论：

- 除了受河流养分输入影响的近岸水体和高养分低叶绿素浓度带以外，全球浮游植物净初级生产力模式反映深水养分(氮和磷)进入透光带的模式。<sup>4</sup>
- 1998年至2006年，亚热带环流中的浮游植物净初级生产力由于气候所致海洋上层变暖和养分供应减少而下降，沿海生态系统的净初级生产力则由于陆地养分输入的增加而增加。这导致海洋缺氧现象在全球蔓延，海草床的空间范围缩小，有毒浮游植物事件增多。

- 浮游植物的物种多样性程度在极地和亚极地水域往往最低，那里的大部分净初级生产力由速生物种提供；在热带和亚热带水域则最高，那里的大部分净初级生产力由小型浮游植物(小于10微米)提供。
- 随着海洋上层变暖和日益分层，小型浮游植物物种很可能在净初级生产力中占据越来越大的比例，导致鱼类和向深海输出的有机碳减少。
- 随着高纬度地区海洋上层温度上升，北大西洋桡足类物种的空间范围已扩大至更高纬度，一年中温带种的季节性丰度高峰的到来日益提前。

## 3. 本《评估》的目标区域

### 海面叶绿素a平均浓度(1997-2010年)和本报告的六类目标区域



资料来源：改编自Sundby等人(2016年)。

注：1、中央环流；2、高纬度春季藻华区；3、南极环极区；4、极地海冰区；5、沿海上升流区；6、赤道上升流区(蓝色：小于0.1毫克每立方米；绿色：0.1-1.0毫克每立方米；黄色：1-3毫克每立方米；红色：大于3毫克每立方米)。

<sup>4</sup> 透光带是海洋的上层，有足够的光线穿透该层进行光合作用。

浮游植物净初级生产力因区域而异(Behrenfeld等人, 2006年; Uitz等人, 2010年; 联合国, 2017年c), 政府间气候变化专门委员会据此将全球海洋细分为若干区域(Hoegh-Guldberg和Poloczanska, 2017年)。该委员会界定了七类区域, 本部分专门探讨其中的高纬度和低纬度系统, 这些系统主要通过垂直混合或上升流从深水输入养分, 其呈现的营养状态<sup>5</sup>(不反映陆地养分的输入)多种多样。六类目标区域(编号如上图)如下:

1. 5个亚热带中央环流, 是海洋上层最大的生物群落(约占海洋表面的40%、海洋年净初级生产力的22%);

2. 高纬度春季藻华区(约占海洋表面的25%、海洋年净初级生产力的43%);
3. 南大洋的南极环极区(约占海洋表面的12%、海洋年净初级生产力的9%);
4. 北冰洋和南大洋的极地海冰区(约占海洋表面的4%、海洋年净初级生产力的1%-2%);
5. 沿海上升流区(约占海洋表面的2%、海洋年净初级生产力的7%);
6. 赤道上升流区(约占海洋表面的8%、海洋年净初级生产力的9%)。

这六类区域合起来占海洋表面的90%, 占海洋净初级生产力的90%。

## 4. 浮游生物多样性估算

### 4.1. 物种多样性

目前尚无法根据对海洋样本的显微镜检查来准确估算区域和全球层面的浮游生物物种多样性水平, 原因包括采样严重不足<sup>6</sup>(Appeltans等人, 2012年)、宏基因组学揭示的隐存种<sup>7</sup>数量迅速增加(Delong, 2009年; Goetze, 2010年; Lindeque等人, 2013年; Harvey等人, 2017年)、浮游动物幼体期缺少明确的鉴别特征(Bucklin等人, 2016)以及微生物学家对物种的定义缺乏共识(Amaral-Zettler等人, 2010年)。要解决采样不足问题, 唯一的办法是提高采样的时空分辨率。为此, 必须着重扩大和维持对全球浮游生物连续记录仪调查联盟(Batten等人, 2019年)和综合海洋生物观测系统开发工作(Canonico等人, 2019年)的支持。

### 4.2. 功能多样性

从生态角度来看, 将生物体划分为具有共同特征(大小和生态作用)的功能群可能比按分类学划

分更有意义(Litchman等人, 2010年; Mitra等人, 2016年)。浮游生物的大小范围跨越7个数量级(Boyce等人, 2015年; Sommer等人, 2017年), 并反映在浮游植物净初级生产力在海洋上层循环、输往渔业或通过生物泵向海洋内部输出的路径中(Ward等人, 2012年; Acevedo-Trejos等人, 2018年)。浮游生物按大小可被分为超微型浮游生物(0.2-2微米)、微型浮游生物(2-20微米)、小型浮游生物(20-200微米)、中型浮游生物(200微米至20毫米)、大型浮游生物(20-200毫米)和巨型浮游生物(大于200毫米)(Sieburth等人, 1978年; Sommer等人, 2017年)。在主要海洋盆地层面, 浮游植物的生物量和大型浮游植物的比例通常随着溶解无机营养盐量的增加而增加, 这一特征反映了营养盐供应作为浮游植物净初级生产力和群落组成参数的重要性(Mousing等人, 2018年)。

从功能角度来看, 海洋食物网可按大小分为两类(Fenchel, 1988年; Pomeroy等人, 2007年):

<sup>5</sup> 从叶绿素a年平均浓度较低的贫营养区(小于0.1毫克每立方米)到年平均浓度相对较高的富营养区(1-30毫克每立方米)。

<sup>6</sup> 测量在时间和空间上过于稀疏, 无法准确估算区域和全球层面的浮游生物多样性。

<sup>7</sup> 遗传上不同(基于可操作分类单元)但没有表现出明显形态差异的物种。这些单元用于根据遗传差异估算物种丰富度(Caron等人, 2009年)。

- (a) 微生物食物网, 由超微型浮游植物和微型浮游植物、异养细菌及原生动物消费者组成, 主要由超微型浮游植物的净初级生产力(包括初级生产者和消费者释放的溶解有机物)供能;
- (b) 后生动物食物网, 由小型浮游植物和后生浮游生物组成, 主要由小型浮游植物生产力和微生物食物网供能。

微生物食物网占海洋生物量和养分循环的大部分(Del Giorgio和Duarte 2002年; Sunagawa等人, 2015年); 而后生动物食物网支撑着大部分渔业和生物泵(Legendre和Michaud, 1998年; Sommer等人, 2002年)。因此, 这两种食物网之间平衡的变化可能会对生态系统服务的提供产生重大影响(Müren等人, 2005年; Worm等人, 2006年; Sommer等人, 2016年)。

## 5. 浮游微生物

### 5.1. 浮游植物

就其对全球净初级生产力的贡献而言, 主要类群包括原核蓝藻以及真核硅藻、颗石藻和绿藻(Not等人, 2007年; Simon等人, 2009年; Uitz等人, 2010年; Flombaum等人, 2013年)。

#### 5.1.1. 浮游植物的多样性和功能群

根据浮游植物的大小及其在远洋食物网和养分循环中的作用, 已经确认了五个功能群(Chisholm, 1992年; Le Quéré等人, 2005年; Marañón等人, 2012年): 超微型光合浮游生物、小型硅化浮游生物、微型钙化浮游生物、中型固氮浮游生物和可产生二甲硫醚的微型浮游生物。本分章增加了小型有毒浮游生物这一功能群。这些功能群的相对丰度、生产力和毒性的变化对其支持生态系统服务的能力有着重大影响。

##### 5.1.1.1. 超微型浮游生物

超微型浮游生物包括两个蓝藻属(原绿球藻和聚球藻)以及分属若干门的一系列超微型真核生物(Not等人, 2007年; Kirkham等人, 2013年)。它们遍布全球, 约占海洋净初级生产力的50%(Agusti等人, 2019年), 并为微生物食物网供能(Marañón等人, 2001、2015年)。据估计, 原绿球藻占全球超微型浮游生物生物量的17%-39%, 聚球藻占12%-15%, 超微型真核生物占

49%-62%(Buitenhuis等人, 2012年)。在温暖的(15摄氏度以上)贫营养水域中, 原绿球藻在浮游植物中占据主导(Chisholm, 2017年)。聚球藻的分布更广且更均匀, 在水温较低的富营养条件下比原绿球藻丰度更高(Follows等人, 2007年; Flombaum等人, 2013年)。超微型真核生物的丰度往往随养分水平的增加而增加, 通常在高纬度地区的浮游植物中占多数(Li, 1994年; Worden和Not, 2008年; Kirkham等人, 2013年)。这些生物体表现出异乎寻常的基因组多样性, 这是其地理分布广泛的根本原因(Vaulot, 2008年; Kent等人, 2016年)。

##### 5.1.1.2. 小型硅化浮游生物: 硅藻

在寒冷、湍急的富营养水域, 小型浮游生物以硅藻为主(Malone, 1980年; Rousseaux和Gregg, 2015年)。它们占全球海洋净初级生产力的40%-50%、为后生动物食物网供能, 约占通过生物泵输出的碳量的40%(Honjo等人, 2014年; Tréguer等人, 2018年)。因此, 硅藻在全球碳循环中发挥重要作用。

##### 5.1.1.3. 微型钙化浮游生物<sup>8</sup>

颗石藻(以赫氏颗石藻为主)遍布全球, 既是二氧化碳的汇(光合作用), 也是二氧化碳的源(钙化作用), 因此在全球碳循环中发挥重要作用(Sarmiento等人, 2002年; Balch等人, 2016年)。赫氏颗石藻在亚南极和极锋之间形成了环绕南极洲的“大方解

<sup>8</sup> 钙化浮游生物包括利用碳酸钙形成外壳、骨架或其他结构的类群。这是一个分类多样化的组别, 包括浮游植物(如颗石藻)、浮游动物(如翼足类)以及底栖双壳软体动物和棘皮动物的幼体期。

石带” (Balch等人, 2016年; Nissen等人, 2018)。有证据表明, 赫氏颗石藻产生的生物源碳酸钙比地球上任何其他生物都多(Iglesias-Rodríguez等人, 2002年)。其藻华往往发生在季节性硅藻藻华之后(Brown和Yoder, 1994年; Smith等人, 2017年)。赫氏颗石藻的泛基因组包含大量遗传变异, 这为其广布世界以及在各种环境条件下均能大量繁殖奠定了基础(Read等人, 2013年)。

#### 5.1.1.4. 中型固氮浮游生物<sup>9</sup>

浮游蓝藻约占地球固氮量的一半(Karl等人, 2002年; Landolfi等人, 2018年), 是全球海洋最大的固氮来源(Galloway等人, 2004年; Gruber, 2004年)。该类别包括单细胞共生生物(硅藻—固氮生物群丛)和菌落属(如束毛藻)(Delmont等人, 2018年; White等人, 2018年)。大多数海洋固氮作用发生在亚热带环流中(Gruber, 2019年), 那里的束毛藻在温度高于20摄氏度时丰度最高(Breitbarth等人, 2007年; Monteiro等人, 2010年)。

#### 5.1.1.5. 产生二甲基巯基丙酸内盐的微型浮游生物<sup>10</sup>

90%以上排入大气的二甲硫醚来自海洋产生的二甲基巯基丙酸内盐, 其中大部分是由定鞭藻(如棕囊藻和赫氏颗石藻)和横裂甲藻(如微型原甲藻)在藻华期间产生(Keller等人, 1989年; Bullock等人, 2017年)。棕囊藻为世界广布属, 其生命周期在自生微型浮游生物(3-9微米)和大型胶状群体(大于2毫米)之间交替(Schoemann等人, 2005年)。后者在高纬度春季藻华区的夏季大规模藻华期间以及极地海冰区和南极环极区的夏季藻华期间形成(Schoemann等人, 2005年; Vogt等人, 2012年)。微型原甲藻的藻华发生在人为营养输入相对较高的地区, 鉴于到2050年人为营养输入预计将增加一倍以上, 预计其全球分布将扩大, 除非能够在全球范围内更有效地控制输入(Glibert等人, 2008年)。

#### 5.1.1.6. 小型产毒浮游生物

在现存的5 000种海洋浮游植物中(Sournia等人, 1991年), 约有80种能够产生强效毒素, 这些毒素通过鱼类和贝类进入人类体内(Hallegraeff等人, 2004)。大多数有毒种是可引起麻痹性贝类中毒(如亚历山大藻)、腹泻性贝类中毒(如鳍藻)、神经毒性贝类中毒(如凯伦藻)、原多甲藻酸贝类中毒(如厚甲原多甲藻)和雪卡毒鱼类中毒(如双鞭藻岗比毒甲藻)的甲藻。一种硅藻属(拟菱形藻)也会导致记忆丧失性贝类中毒(Lelong等人, 2012)。小型产毒浮游生物广泛分布于世界各地(Hallegraeff等人, 2004)。

### 5.2. 原生动消费者

大多数异养原生动物属于微型和小型浮游动物, 是微生物食物网的主要消费者, 也是后生动物食物网的重要环节(Landry和Calbet, 2004; Mitra等人, 2016)。其多样性可以用三种基本形体构型来描述: 变形虫状、鞭毛状和纤毛状, 这些形体构型大致决定了其生态作用(Fuhrman和Caron, 2016年)。

变形虫状有孔虫在高纬度春季藻华区丰度最高, 在亚热带环流中丰度最低(Berger, 1969年)。它们是沉积洋底的海洋钙质贝壳的主要生产者(Schiebel和Hemleben, 2005年)。放射虫常见于全球热带和亚热带海域的透光带, 在沿海上升流区、高纬度春季藻华区和极地的丰度则低得多(Caron和Swanberg, 1990年)。

微型异养鞭毛虫是丰度最高的原生动物消费者, 控制着浮游细菌的丰度(Fenchel, 1982年; Massana和Jürgens, 2003年)。微型鞭毛虫是贫营养生境中超微型浮游植物的重要食植者, 小型异养鞭毛虫(如双鞭毛虫)则可能是小型浮游植物(包括形成藻华的硅藻)的重要消费者(Sherr和Sherr, 2007年; Calbet, 2008年)。

<sup>9</sup> 固氮作用并不限于中型浮游动物。有证据表明, 海洋中存在非蓝藻类固氮生物(细菌和古菌)(Benavides等人, 2018)。

<sup>10</sup> 二甲基巯基丙酸内盐是二甲硫醚的生物前体。二甲硫醚是进入地球大气的硫的一大来源, 有助于大气中云的形成, 从而阻止太阳辐射到达地球表面, 并将其反射回太空。

据估算,小型浮游动物(双鞭毛虫和纤毛虫)的摄食量占全球每日浮游植物净初级生产力的一半以上,对南大洋(Swailethorp等人,2019年)和西北冰洋(Sherr等人,2009年)的生态系统以及温带沿海生态系统(Pierce和Turner,1992年)中的浮游植物藻华起到显著的下行控制作用。

### 5.3. 异养细菌和古菌

细菌集群通常以少数种系型<sup>11</sup>为主(Yooseph等人,2010年),其中丰度最高的前20个种系型可分为4组(Amaral-Zettler等人,2010年;Luo和Moran,2014年): $\alpha$ -变形菌(SAR11,红杆菌), $\gamma$ -变形菌(SAR86),拟杆菌(黄杆菌)和放线菌,其中丰度最高的是 $\alpha$ -变形菌(Lefort和Gasol,2013年;Giovannoni,2017年)。动物界和植物界的物种丰富度通常向两极递减(Wietz等人,2010年)。

古菌的四个主要类群(海洋类群一至四)在海洋中丰度很高(Church等人,2003年;Danovaro等人,2017年)。从极地到热带水域,海洋类群一的古菌是丰度最高、分布最广的一类(Karner等人,2001年;Santoro等人,2019年)。尽管细菌的

数量往往超过古菌,但后者对深水中的微生物生物量贡献巨大(Danovaro等人,2015年)。

### 5.4. 病毒

病毒通过控制微生物种群的丰度以及细胞溶解释放的溶解有机物,在海洋食物网和营养循环中发挥重要作用(Rohwer和Thurber,2009年;Sieradzki等人,2019年)。包括自生病毒颗粒在内的各种病毒是海洋中丰度最高的生物体,也是重要的遗传多样性储存库(Suttle,2007年;Simmonds等人,2017年)。大多数病毒为噬菌体(Coutinho等人,2017年),其区域和全球尺度上的丰度与细菌的丰度相关(Fuhrman和Caron,2016年)。宏基因组分析表明,几升水中就有数以千计的不同病毒颗粒,而这整个集群中相对较小的一部分病毒颗粒却拥有最丰富的基因型(Breitbart等人,2004年;Angly等人,2006年)。然而,尽管最近在宏基因组学方面取得了这些进展,但就病毒的生物多样性而言,这显然只是“冰山一角”(Paez-Espino等人,2019年)。

## 6. 后生浮游动物

### 6.1. 终生浮游生物<sup>12</sup>

后生终生浮游动物已被描述为来自15个门(Bucklin等人,2010年;Wiebe等人,2010年)。作为一个类群,它们有着不同的摄食类型(Kjørboe,2011年),从滤食性动物(如桡足类、磷虾和被囊动物)到被动伏击型捕食者(如栉板动物和一些翼足类)和主动伏击型捕食者(如毛颚动物和一些片脚类)。和其他动物类群一样,终生浮游动物的多样性通常向两极递减(Lindley和Batten,2002年;Burridge等人,2017年)。此外,当生物量较低时,多样性往往较高(如亚热带环流),而当生物量较高时,多样性往往较低(如沿海上升流区和高纬度春季藻华区)(联合国,2017年a)

#### 6.1.1. 甲壳动物

大约一半的终生浮游生物中已知种为甲壳动物(Verity和Smetacek,1996年;联合国,2017年a)。截至目前,桡足类的丰度最高,是浮游植物和渔业之间的关键营养纽带(例如,Möllmann等人,2003年;Beaugrand,2005年)。桡足类的丰度通常在季节性出现高净初级生产力的区域最高,而生物多样性程度通常在净初级生产力相对较低的温暖水域中最高(Rombouts等人,2009年;Valdés等人,2017年)。

磷虾有近100个有记录的种(Baker等人,1990年),遍布全球海洋,与桡足类一样,在浮游植物高产期

<sup>11</sup> 一组遗传上相似、可以按种、科、纲、门等不同分类等级分组的生物体。

<sup>12</sup> 终生营浮游生活的物种。

丰度最高(Baker等人, 1990年)。它们在南大洋尤其丰富, 在南大洋的食物网中起着关键作用, 是渔业的捕捞对象(Mangel和Nicol, 2000年; Boopendranath, 2013年)。

大约有200种已获描述的浮游介形类物种(Angel等人, 2007)和大约300种桡亚目<sup>13</sup>物种(Vinogradov, 1996; Boltovskoy等人, 2003)。介形类的物种丰富度通常在低纬度(北纬50度以下)的中深海层和高纬度的海洋上层最高。大多数桡亚目在其生命周期的至少一部分时间里是作为樽海鞘、水母、栉水母或管水母的共栖者生活的(Madin和Harbison, 1977年; Gasca和Haddock, 2004年)。其物种丰富度在胶质浮游动物丰度最高的区域最高。

### 6.1.2. 胶质浮游动物

这一多样化的类群包括刺胞动物(水母)、<sup>14</sup>栉板动物(栉水母)、毛颚动物(箭虫)、被囊动物(樽海鞘、全肌目和尾海鞘纲)和软体动物(翼足类和异足类)(Alldredge, 1984年; Jennings等人, 2010年)。作为一个类群, 被囊动物非常适应贫营养海洋的生

活, 在那里它们的多样性和丰度往往高于浮游甲壳动物(Alldredge和Madin, 1982年; Madin和Harbison, 2001年)。水母的物种丰富度最高(Purcell等人, 2007年; Pitt等人, 2018年), 其次是软体动物(250种)(Jennings等人, 2010年)、栉板动物(200种)(Harbison, 1985年; Madin和Harbison, 2001年)、被囊动物(145种)(Deibel和Lowen, 2012年)和毛颚动物(100种)(Daponte等人, 2004年)。

## 6.2. 阶段浮游生物

阶段浮游生物是底栖和中上层生物成体(如贝类和鱼类)的幼体期, 因此是浮游生物的临时成员。它们对浮游生物多样性的贡献是偶发性或季节性的, 它们相对于终生浮游动物的丰度会随着深度和纬度的增加而降低(Silberberger等人, 2016年; Costello和Chaudhary, 2017年)。拥有浮游幼体期的成体的分布、多样性和繁殖力与其阶段浮游幼体的丰度和多样性密切相关, 而阶段浮游幼体的丰度和多样性进而又影响其成体期的分布和多样性(Miron等人, 1995年; Hughes等人, 2000年)。

## 7. 记录的趋势

### 7.1. 全球

对海面叶绿素a的卫星时间序列(1998-2015年)的研究尚未揭示全球尺度上的净初级生产力的长期趋势(Gregg等人, 2017年)。然而, 在本报告所述期间, 相对于超微型浮游植物, 大多数区域的小型浮游硅藻的生物量都有所下降(Rousseaux和Gregg, 2015年; Gregg等人, 2017年)。这一趋势似乎与海洋上层变暖、垂直分层增加<sup>15</sup>以及深海养分供应减少有关(Daufresne等人, 2009年; Basu和Mackey, 2018年)。

将1970年的已知中毒事件与2017年观察到的中毒事件进行比较<sup>16</sup>发现, 中毒事件对公共健康和经济的影响日益频繁, 并已蔓延至全球(Hallegraeff等人, 2004年):

- 塔玛亚历山大藻和链状亚历山大藻引起的麻痹性贝类中毒事件从19个沿海地点(包括北美12个、西欧4个)增至118个沿海地点(包括北美26个、西欧25个、西太平洋36个、澳大利亚和新西兰9个、南美7个、非洲7个、印度4个)。

<sup>13</sup> 仅在海洋中生活的片脚目动物。

<sup>14</sup> 水母的生命周期分为底栖水螅体阶段和浮游水母体阶段, 但它们被视为终生浮游生物, 原因是其有性繁殖阶段(水母体)为浮游性质。

<sup>15</sup> 当密度较低的水体(由于温度升高、盐度降低或两者兼而有之)在较深、密度较大的水体上方形成时, 水柱就会垂直分层。这一过程限制了表面混合层与深洋之间的混合。

<sup>16</sup> United States National Office for Harmful Algal Blooms, “Distribution of HABs throughout the World”。可查阅<https://hab.whoi.edu/maps/regions-world-distribution/>。

- 鳍藻引起的腹泻性贝类中毒事件从15个沿海地点(包括西欧13个)增至71个沿海地点(北美8个、西欧37个、南美9个、澳大利亚和新西兰7个、日本6个、印度4个)。
- 拟菱形藻引起的记忆丧失性贝类中毒事件从位于北美的1个沿海地点增至31个沿海地点(包括北美12个、西欧9个、澳大利亚和新西兰9个)。

虽然有理由怀疑沿海富营养化增加、海面温度上升、垂直分层增加的综合影响可能有利于甲藻生长,但造成这些趋势的根本原因仍在猜测中(Wells等人,2015年)。

海洋上层变暖正在影响浮游生物物种的生物地理学和物候学(Hays等人,2005年;Thackeray等人,2010年;Mackas等人,2012年)。平均而言,生物量的季节性春季高峰每十年提前4.4天,标准误差为0.7天;物种分布的前沿每十年向极地推进72公里(1920-2010年),标准误差为0.35公里(Hoegh-Guldberg等人,2014年)。受海洋上层变暖影响,终生浮游生物在生物地理学和物候学方面都显示出巨大变化,而阶段浮游生物的分布变化相对较小,但物候变化较大(Edwards和Richardson,2004年),这些变化可能对成年种群的丰度产生反馈效应。

## 7.2. 极地海冰区

### 7.2.1. 南大洋

南大洋作为一个整体,其净初级生产力的显著年际趋势尚未得到记录(Arrigo等人,2008年)。然而,罗斯海(增加)和西南极半岛(减少)相反的净初级生产力趋势恰与海冰范围的扩大(罗斯海)和减少(西南极半岛)相应<sup>17</sup>(Montes-Hugo等人,2009年;Ducklow等人,2013年)。浮游植物的大小随着海面温度升高而从以小型浮游生物为主的(硅藻)集群向微型浮游生物和超微型真核生物转变,净初级生产力的下降与这种转变有关(Moline等人,2004年;Montes-Hugo等人,2009年)。赫氏

颗石藻的生长范围从南极环极区向极地海冰区扩张也与升温以及向较小浮游植物的转变有关(Cubillos等人,2007年)。

南极半岛沿海海冰范围的年际变化似乎也反映在两种主要食植者的相对丰度上:磷虾(南极大磷虾)和樽海鞘(纽鳃樽)。磷虾补充量有赖冬季磷虾幼体的存活情况,是最有可能被气候变化改变的种群参数(Flores等人,2012年)。研究发现,在海冰覆盖范围较大的冬季过后,南极大磷虾的丰度更高,而在海冰覆盖范围较小的冬季过后,樽海鞘的丰度更高(Loeb等人,1997年)。在二十世纪,磷虾数量可能受到了海冰减少的影响,而樽海鞘则似乎受益于表层海水变暖(Loeb和Santora,2012年)。观察到的海冰范围缩小预示着一一种长期转变,即从以南极大磷虾为主的食物网向以樽海鞘为主的食物网转变,这对脊椎动物捕食者的丰度将产生未知的连锁效应(Henschke等人,2016年)。

### 7.2.2. 北冰洋

北冰洋正在向更温暖的状态过渡(参见Buchholz等人,2010年)。与南极不同,由于海面温度上升(Kahru等人,2016年),北极所有地区的海冰范围都有缩小(1998-2015年),这一趋势与净初级生产力的增加(Arrigo和van Dijken,2011年;Hill等人,2017年)和超微型真核生物的生物量增加(随着水体垂直分层的增加而增加,以小型浮游硅藻为代价)(Li等人,2009年)有关。

与西南极半岛近岸水体的情况一样,磷虾是包括胡瓜鱼在内的多种物种的重要猎物。1984年至1992年以及2007年至2015年,尽管胡瓜鱼的捕食量很大,巴伦支海西南部和中部的磷虾丰度仍然增加,原因可能是温度升高、裹挟磷虾进入巴伦支海的平流增强(Slagstad等人,2011年)以及浮游植物净初级生产力增加(Dalpadado等人,2014年)。升温还影响到各磷虾种的相对丰度,北方种北方磷虾丰度增加,冷水种*Thysanoessa raschii*丰度减少(Rasmussen,2018年)。

<sup>17</sup> 见Michon Scott and Kathryn Hansen, “Sea ice”, Earth Observatory, 2016年9月16日。

### 7.3. 北大西洋高纬度春季藻华区

在北大西洋高纬度春季藻华区的季节性富营养水域, 海洋上层的变暖和季节性密度跃层<sup>18</sup>的提前形成, 延长了生长季节, 增加了可用的日照量。因此, 近几十年来(1979-2010年), 净初级生产力一直在增加(Dalpadado等人, 2014年); 这一趋势伴随着超微型真核生物和颗石藻相对于硅藻增加(Li等人, 2009年), 浮游植物和浮游动物的平均大小减少, 浮游生物集群的生物多样性增加(Hoegh-Guldberg和Bruno, 2010年; Edwards等人, 2013年)。

浮游生物物种的范围随着海洋上层变暖而向极地扩张的情况已有详细记录(Polocznanska等人, 2013年), 特别是在北大西洋: 赫氏颗石藻进入巴伦支海(Smyth等人, 2004年); 北海的海哥兰哲水蚤取代了飞马哲水蚤(Edwards等人, 2013年); 浮游生物钙化物种(有孔虫、颗石藻和翼足类)的范围向极地扩展(Beaugrand等人, 2013年; Winter等人, 2014年)。

浮游植物和浮游动物物种也正随着海洋上层变暖而发生物候<sup>19</sup>变化(1958-2002年)。例如, 在1958年至2002年期间, 北大西洋桡足类飞马哲水蚤年内季节性丰度达到峰值的时间逐年提前, 以致到本世纪初, 丰度达到峰值的时间比过去提前了约10天, 而其食物(小型浮游硅藻和甲藻)达到峰值的时间提前了约30天(Edwards和Richardson, 2004年)。同样, 北海硅藻藻华发生的时间早于其大型浮游食植物的丰度峰值时间(Hays等人, 2005年)。波罗的海也记录了这种营养级分离现象, 1988年至2017年期间生长季节时长以每年4.5天的速度增加, 导致春季藻华提前到来, 夏季最低生物量持续时间延长, 秋季藻华时间推迟但持续时间延长(Wasmund等人, 2019年)。

### 7.4. 上升流区

东部边界上升流系统的硅藻产量一直在增加(1996-2011年)(Kahru等人, 2012年), 同时太平洋赤道上升流的净初级生产力增加(Chavez等人, 2011年), 原因显然是上升流增加(Tim等人, 2016年)。然而, 沿海上升流系统的海洋酸化被证明对翼足类贝壳(蟠虎螺)具有腐蚀性(Bednaršek等人, 2014年)。随着翼足类生境适宜度下降, 后生动物食物网可能受到影响(Bednaršek等人, 2012年; Lischka等人, 2011年), 海洋酸化可能在南大洋和北冰洋造成类似影响(Comeau等人, 2009年; Negrete-García等人, 2019年)。

### 7.5. 亚热带环流

叶绿素a的显著下降趋势(1998-2013年)已在除南太平洋以外的所有环流中得到记录(Signorini等人, 2015年), 主要原因是硅藻和绿藻减少(Gregg等人, 2017年)。北半球的降速最快, 南大西洋和印度洋的降速最慢, 这一趋势与大西洋环流和北太平洋环流的扩张相应(Polovina等人, 2008)。

在所有五个环流中都观察到了净初级生产力下降趋势, 这些趋势伴随着海洋上层变暖和浮游植物细胞变小(Polovina和Woodworth, 2012年)。后者与观察到的原绿球藻和聚球藻相对丰度的增加相一致(Flombaum等人, 2013年; Agustí等人, 2019年), 这些趋势极可能是反映了温度升高(Daufresne等人, 2009年; Morán等人, 2010年)以及因透光带与富营养深水层日益分离而造成的养分供应减少(Marañón等人, 2015年; Sommer等人, 2016年)。

<sup>18</sup> 密度跃层是一个垂直带, 在该垂直带上, 密度增加使密度较小的表层与密度较大的深层分离。冬末春初, 当日照开始使表层升温时, 北大西洋高纬度春季藻华区开始形成季节性密度跃层, 这一过程增加了可用于光合作用的太阳能。

<sup>19</sup> 物候是指在季节和气候变化影响下的植物和动物生命中的生物事件(如繁殖和迁移)发生时间。

## 8. 展望

预计二十一世纪的气候变化将继续引发海洋上层变化，对区域和全球尺度上的浮游生物集群多样性和生产力产生影响。这些变化包括亚热带环流扩张(Polovina等人，2011年)、海洋暖化和酸化、盐度降低、垂直分层增加以及开阔洋透光带的无机营养盐供应减少(Bopp等人，2013年)。全球尺度上对这些变化的预测生物反应包括以下方面：

- (a) 净初级生产力可能减少，超微型浮游植物的相对丰度可能增加(Daufresne等人，2009年；Morán等人，2010年)，其代价是小型浮游硅藻(Bopp等人，2005年；Moore等人，2018年)；
- (b) 这些趋势可能通过食物网传递，导致海洋的渔业承载能力下降(Worm等人，2006年；Chust等人，2014年)，其通过生物泵固存碳的能力下降(Boyd，2015年)；
- (c) 亚热带环流的扩张可能会促进固氮量增加(Boatman等人，2017年；Follett等人，2018年)，这种趋势可能会进一步扰乱全球氮循环(Jiang等人，2018年)；
- (d) 由于二氧化碳在冷水中的溶解度较高，极地海洋和沿海上升流区的浮游生物食物网受海洋酸化的影响将最为严重(Bednaršek等人，2014年；Gardner等人，2018年)。

预测二十一世纪期间的区域例外情况会出现在亚热带环流靠极地一侧，原因是透光带环境出现变化，包括可用日照量随着富营养环境中的表面混合

层变浅而增加(促进净初级生产力增加)、温度升高和盐度降低(有利于小型浮游植物生长)(Tréguer等人，2018年)。值得注意的预测例外情况包括：

- (a) 在北冰洋，净初级生产力将增加，浮游植物个体将变小(Mueter等人，2009年；Kahru等人，2011年；Dalpadado等人，2014年)；
- (b) 在南极洲极地海冰区，净初级生产力、输出生产力和硅藻丰度将在本世纪上半叶增加(Bopp等人，2001年；Kaufman等人，2017年；Moore等人，2018年)；
- (c) 在高纬度春季藻华区，赫氏颗石藻的生长范围将向极地海洋扩张(Winter等人，2014年)，颗石藻藻华频率将增加(Bopp等人，2013年；Rivero-Calle等人，2015年)；
- (d) 在北大西洋高纬度藻华区，净初级生产力将增加，硅藻的相对丰度将减少(Bopp等人，2005年、2013年；Sundby等人，2016年)。

由于不确定上升流有利风的增加(上升流、净初级生产力和硅藻相对丰度增加)和海洋上层变暖(上升流、净初级生产力和硅藻相对丰度减少)之间将发生何种相互作用，对沿海上升流区净初级生产力未来趋势的预测准确度较低(Chavez等人，2011年；García-Reyes等人，2015年)。

在这方面，必须强调指出，目前关于气候变化对浮游生物群落的影响的分析没有考虑到对海洋上层环境中气候所致变化的跨代适应(例如，Schlüter等人，2014年；Thor和Dupont，2015年)。

## 参考资料

- Acevedo-Trejos, Esteban, and others (2018). Phytoplankton size diversity and ecosystem function relationships across oceanic regions. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 285, No. 1879, pp. 20180621.
- Agusti, Susana, and others (2019). Projected changes in photosynthetic picoplankton in a warmer subtropical ocean. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 506.
- Allredge, A.L., and L.P. Madin (1982). Pelagic tunicates: unique herbivores in the marine plankton. *Bioscience*, vol. 32, No. 8, pp. 655–663.

- Allredge, Alice L. (1984). The quantitative significance of gelatinous zooplankton as pelagic consumers. In *Flows of Energy and Materials in Marine Ecosystems*, pp. 407–433. Boston, MA: Springer.
- Amaral-Zettler, Linda, and others (2010). A global census of marine microbes. *Life in the World's Oceans: Diversity, Distribution and Abundance*, pp. 223–245.
- Angel, Martin V., and others (2007). Changes in the composition of planktonic ostracod populations across a range of latitudes in the North-east Atlantic. *Progress in Oceanography*, vol. 73, No. 1, pp. 60–78.
- Angly, Florent E., and others (2006). The marine viromes of four oceanic regions. *PLoS Biology*, vol. 4, No. 11, e368.
- Appeltans, Ward, and others (2012). The magnitude of global marine species diversity. *Current Biology*, vol. 22, No. 23, pp. 2189–2202.
- Arrigo, Kevin R., and Gert L. van Dijken (2011). Secular trends in Arctic Ocean net primary production. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 116, No. C 9.
- Arrigo, Kevin R., and others (2008). Primary production in the Southern Ocean, 1997–2006. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 113, No. C 8.
- Azam, Farooq, and Francesca Malfatti (2007). Microbial structuring of marine ecosystems. *Nature Reviews Microbiology*, vol. 5, pp. 782–791.
- Baker, A. de C., and others (1990). A practical guide to the euphausiids of the world. *British Museum (Natural History)*, vol. 96.
- Balch, William M., and others (2016). Factors regulating the Great Calcite Belt in the Southern Ocean and its biogeochemical significance. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 30, No. 8, pp. 1124–1144.
- Bar-On, Yinon M., and others (2018). The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, No. 25, pp. 6506–6511.
- Basu, Samarpita, and Katherine R. M. Mackey (2018). Phytoplankton as key mediators of the biological carbon pump: Their responses to a changing climate. *Sustainability*, vol. 10, No. 3.
- Batten, Sonia D., and others (2019). A global plankton diversity monitoring program. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 321.
- Beaugrand, Grégory (2005). Monitoring pelagic ecosystems using plankton indicators. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 62, No. 3, pp. 333–338.
- Beaugrand, Gregory, and others (2013). Long-term responses of North Atlantic calcifying plankton to climate change. *Nature Climate Change*, vol. 3, pp. 263–267.
- Bednaršek, N., and others (2012). Extensive dissolution of live pteropods in the Southern Ocean. *Nature Geoscience*, vol. 5, No. 12, pp. 881–885.
- Bednaršek, N., and others (2014). *Limacina helicina* shell dissolution as an indicator of declining habitat suitability owing to ocean acidification in the California Current Ecosystem. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 281, No. 1785, 20140123.
- Behrenfeld, M.J., and others. 2006. Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature*, vol. 444, pp. 752–755. <https://doi.org/10.1038/nature05317>.
- Benavides M., and others (2018). Deep into oceanic N<sub>2</sub> fixation. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 108. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00108>.
- Berger, Wolfgang H. (1969). Ecologic patterns of living planktonic foraminifera. In *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, vol. 16: pp. 1–24. Elsevier.
- Blanchard, Julia L., and others (2012). Potential consequences of climate change for primary production and fish production in large marine ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 367, No. 1605, pp. 2979–2989.
- Boatman, Tobias G., and others (2017). A key marine diazotroph in a changing ocean: the interacting effects of temperature, CO<sub>2</sub> and light on the growth of *Trichodesmium erythraeum* IMS101. *PLoS One*, vol. 12, No. 1, e0168796.

- Boltovskoy, Demetrio, and others (2003). Marine zooplanktonic diversity: a view from the South Atlantic. *Oceanologica Acta*, vol. 25, No. 5, pp. 271–278.
- Boopendranath, M.R. (2013). Antarctic krill—A keystone species of Antarctica. *Science India*, vol. 16, pp. 4–10.
- Bopp, Laurent, and others (2001). Potential impact of climate change on marine export production. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 15, No. 1, pp. 81–99.
- Bopp, Laurent, and others (2005). Response of diatoms distribution to global warming and potential implications: A global model study. *Geophysical Research Letters*, vol. 32, No. 19.
- Bopp, Laurent, and others (2013). Multiple stressors of ocean ecosystems in the 21st century: projections with CMIP5 models. *Biogeosciences*, vol. 10, pp. 6225–6245.
- Boyce, Daniel G., and others (2015). Spatial patterns and predictors of trophic control in marine ecosystems. *Ecology Letters*, vol. 18, No. 10, pp. 1001–1011.
- Boyd, Philip W. (2015). Toward quantifying the response of the oceans' biological pump to climate change. *Frontiers in Marine Science*, vol. 2, art. 77.
- Breitbart, Mya, and others (2004). Diversity and population structure of a near-shore marine-sediment viral community. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, vol. 271, No. 1539, pp. 565–574.
- Breitbarth, Eike, and others (2007). Physiological constraints on the global distribution of *Trichodesmium*? Effect of temperature on diazotrophy. *Biogeosciences*, vol. 4, No. 1, pp. 53–61.
- Brown, Christopher W., and James A. Yoder (1994). Coccolithophorid blooms in the global ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 99, No. C 4, pp. 7467–7482.
- Buchholz, Friedrich, and others (2010). Ten years after: krill as indicator of changes in the macro-zooplankton communities of two Arctic fjords. *Polar Biology*, vol. 33, No. 1, pp. 101–113.
- Bucklin, Ann, and others (2010). A census of zooplankton of the global ocean. *Life in the World's Oceans: Diversity, Distribution, and Abundance*, Edited by: McIntyre, A247–265.
- Bucklin, Ann, and others (2016). Metabarcoding of marine zooplankton: prospects, progress and pitfalls. *Journal of Plankton Research*, vol. 38, No. 3, pp. 393–400.
- Buitenhuis, Erik Theodoor, and others (2012). Picophytoplankton biomass distribution in the global ocean. *Earth System Science Data*, vol. 4, No. 1, pp. 37–46.
- Bullock, Hannah A., and others (2017). Evolution of dimethylsulfoniopropionate metabolism in marine phytoplankton and bacteria. *Frontiers in Microbiology*, vol. 8, art. 637.
- Burrige, Alice K., and others (2017). Diversity and distribution of hyperiid amphipods along a latitudinal transect in the Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography*, vol. 158, pp. 224–235.
- Calbet, Albert (2008). The trophic roles of microzooplankton in marine systems. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 65, No. 3, pp. 325–331.
- Canonico, Gabrielle, and others (2019). Global observational needs and resources for marine biodiversity. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 367.
- Caron, David A. (2016). Mixotrophy stirs up our understanding of marine food webs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, No. 11, pp. 2806–2808.
- Caron, David A., and N. R. Swanberg (1990). The ecology of planktonic sarcodines. *Reviews in Aquatic Sciences*, vol. 3, pp. 147–80.
- Chavez, Francisco P., and others (2011). Marine primary production in relation to climate variability and change. *Annual Review of Marine Science*, vol. 3, pp. 227–260.

- Chisholm, Sallie W. (1992). Phytoplankton Size. In *Primary Productivity and Biogeochemical Cycles in the Sea*, eds. Paul G. Falkowski, Avril D. Woodhead, and Katherine Vivirito, pp. 213–237. Boston, MA: Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0762-2\\_12](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0762-2_12).
- Chisholm, Sallie W. (2017). *Prochlorococcus*. *Current Biology*, vol. 27, No. 11, pp. R447–R448.
- Church, Matthew J., and others (2003). Abundance and distribution of planktonic Archaea and Bacteria in the waters west of the Antarctic Peninsula. *Limnology and Oceanography*, vol. 48, No. 5, pp. 1893–1902.
- Chust, Guillem, and others (2014). Biomass changes and trophic amplification of plankton in a warmer ocean. *Global Change Biology*, vol. 20, No. 7, pp. 2124–2139.
- Comeau, S., and others (2009). Impact of ocean acidification on a key Arctic pelagic mollusc (*Limacina helicina*). *Biogeosciences*, vol. 6, No. 9, pp. 1877–1882.
- Costello, Mark J., and Chhaya Chaudhary (2017). Marine biodiversity, biogeography, deep-sea gradients, and conservation. *Current Biology*, vol. 27, No. 11, pp. R511–R527.
- Coutinho, Felipe H., and others (2017). Marine viruses discovered via metagenomics shed light on viral strategies throughout the oceans. *Nature Communications*, vol. 8, art. 15955.
- Cubillos, J.C., and others (2007). Calcification morphotypes of the coccolithophorid *Emiliania huxleyi* in the Southern Ocean: changes in 2001 to 2006 compared to historical data. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 348, pp. 47–54.
- Dalpadado, Padmini, and others (2014). Productivity in the Barents Sea-response to recent climate variability. *PLoS One*, vol. 9, No. 5, e95273.
- Danovaro, R., and others (2015). Towards a better quantitative assessment of the relevance of deep-sea viruses, Bacteria and Archaea in the functioning of the ocean seafloor. *Aquatic Microbial Ecology*, vol. 75, No. 1, pp. 81–90.
- Danovaro, Roberto, and others (2017). Marine archaea and archaeal viruses under global change. *F1000Research*, vol. 6.
- Daponte, M.C., and others (2004). *Sagitta friderici* Ritter-Záhony (Chaetognatha) from South Atlantic waters: abundance, population structure, and life cycle. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 61, No. 4, pp. 680–686.
- Daufresne, Martin, and others (2009). Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 106, No. 31, pp. 12788–12793.
- Delong, E.F. (2009) The microbial ocean from genomes to biomes. *Nature*, vol. 459, pp. 200–206.
- Deibel, Don, and Ben Lowen (2012). A review of the life cycles and life-history adaptations of pelagic tunicates to environmental conditions. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 69, No. 3, pp. 358–369.
- Del Giorgio, Paul A., and Carlos M. Duarte (2002). Respiration in the open ocean. *Nature*, vol. 420, pp. 379–384.
- Delmont, Tom O., and others (2018). Nitrogen-fixing populations of Planctomycetes and Proteobacteria are abundant in surface ocean metagenomes. *Nature Microbiology*, vol. 3, No. 7, pp. 804–813.
- De Vargas, Colomban, and others (2015). Eukaryotic plankton diversity in the sunlit ocean. *Science*, vol. 348, No. 6237.
- Ducklow, Hugh W., and others (2013). West Antarctic Peninsula: an ice-dependent coastal marine ecosystem in transition. *Oceanography*, vol. 26, No. 3, pp. 190–203.
- Edwards, Martin, and others (2013). Impacts of climate change on plankton. *MCCIP Science Review*, vol. 2013, pp. 98–112.
- Edwards, Martin, and Anthony J. Richardson (2004). Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature*, vol. 430, pp. 881–884.

- Fenchel, T. (1982). Ecology of heterotrophic microflagellates. IV. Quantitative occurrence and importance as bacterial consumers. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 9, pp. 35–42.
- Fenchel, Tom (1988). Marine plankton food chains. *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 19, No. 1, pp. 19–38.
- Field, Christopher B., and others (1998). Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, vol. 281, No. 5374, pp. 237–240.
- Flombaum, Pedro, and others (2013). Present and future global distributions of the marine Cyanobacteria *Prochlorococcus* and *Synechococcus*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, No. 24, pp. 9824–9829.
- Flores, Hauke, and others (2012). Impact of climate change on Antarctic krill. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 458, pp. 1–19.
- Follett, Christopher L., and others (2018). Seasonal resource conditions favor a summertime increase in North Pacific diatom–diazotroph associations. *The ISME Journal*, vol. 12, pp. 1543–1557.
- Follows, Michael J., and others (2007). Emergent biogeography of microbial communities in a model ocean. *Science*, vol. 315, No. 5820, pp. 1843–1846.
- Fuhrman, Jed A., and David A. Caron (2016). Heterotrophic planktonic microbes: virus, bacteria, archaea, and protozoa. In *Manual of Environmental Microbiology, Fourth Edition*, pp. 4–2. American Society of Microbiology.
- Galloway, James N., and others (2004). Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry*, vol. 70, No. 2, pp. 153–226.
- García-Reyes, Marisol, and others (2015). Under pressure: climate change, upwelling, and eastern boundary upwelling ecosystems. *Frontiers in Marine Science*, vol. 2, art. 109.
- Gardner, Jessie, and others (2018). Southern Ocean pteropods at risk from ocean warming and acidification. *Marine Biology*, vol. 165, art. 8.
- Gasca, Rebeca, and Steven H.D. Haddock (2004). Associations between gelatinous zooplankton and hyperiid amphipods (Crustacea: Peracarida) in the Gulf of California. *Hydrobiologia*, vol. 530, Nos. 1–3, pp. 529–535.
- Gasol, Josep M., and others (1997). Biomass distribution in marine planktonic communities. *Limnology and Oceanography*, vol. 42, No. 6, pp. 1353–1363.
- Giovannoni, Stephen J. (2017). SAR11 bacteria: the most abundant plankton in the oceans. *Annual Review of Marine Science*, vol. 9, pp. 231–255.
- Glibert, Patricia M., and others (2008). *Prorocentrum* minimum tracks anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs on a global basis: application of spatially explicit nutrient export models. *Harmful Algae*, vol. 8, No. 1, pp. 33–38.
- Goetze, Erica (2010). Species discovery in marine planktonic invertebrates through global molecular screening. *Molecular Ecology*, vol. 19, No. 5, pp. 952–967.
- Gregg, Watson W., and others (2017). Global trends in ocean phytoplankton: a new assessment using revised ocean colour data. *Remote Sensing Letters*, vol. 8, pp. 1102–1111.
- Gruber, Nicolas (2004). The dynamics of the marine nitrogen cycle and its influence on atmospheric CO<sub>2</sub> variations. In *The Ocean Carbon Cycle and Climate*, pp. 97–148. Springer.
- \_\_\_\_\_ (2019). A diagnosis for marine nitrogen fixation. *Nature*, vol. 566, pp. 191–193.
- Hallegraeff, Gustaaf M., and others (2004). *Manual on Harmful Marine Microalgae*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Harbison, G.R. (1985). On the classification and evolution of the Ctenophora. In *The Origins and Relationships of Lower Invertebrates*, pp. 78–100.

- Harvey, Julio B.J., and others (2017). Comparison of morphological and next generation DNA sequencing methods for assessing zooplankton assemblages. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 487, pp. 113–126.
- Hays, Graeme C., and others (2005). Climate change and marine plankton. *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 20, No. 6, pp. 337–344.
- Henschke, Natasha, and others (2016). Rethinking the role of salps in the ocean. *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 31, No. 9, pp. 720–733.
- Hill, Victoria, and others (2017). Decadal trends in phytoplankton production in the Pacific Arctic Region from 1950 to 2012. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 152, pp. 82–94.
- Hoegh-Guldberg, Ove, and John F. Bruno (2010). The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science*, vol. 328, No. 5985, pp. 1523–1528.
- Hoegh-Guldberg, Ove, and others (2014): The Ocean. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Barros, V.R., and others (eds.) (Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, United States), pp. 1655–1731.
- Hoegh-Guldberg, Ove, and Elvira S. Poloczanska (2017). The Effect of Climate Change across Ocean Regions. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 361.
- Honjo, Susumu, and others (2014). Understanding the role of the biological pump in the global carbon cycle: an imperative for ocean science. *Oceanography*, vol. 27, No. 3, pp. 10–16.
- Hughes, T.P., and others (2000). Supply-side ecology works both ways: the link between benthic adults, fecundity, and larval recruits. *Ecology*, vol. 81, No. 8, pp. 2241–2249.
- Iglesias-Rodríguez, M. Débora, and others (2002). Representing key phytoplankton functional groups in ocean carbon cycle models: Coccolithophorids. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 16, No. 4, pp. 47–1.
- Jennings, Robert M., and others (2010). Species diversity of planktonic gastropods (Pteropoda and Heteropoda) from six ocean regions based on DNA barcode analysis. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 57, Nos. 24–26, pp. 2199–2210.
- Jiang, Hai-Bo, and others (2018). Ocean warming alleviates iron limitation of marine nitrogen fixation. *Nature Climate Change*, vol. 8, pp. 709–712.
- Kahru, M., and others (2011). Are phytoplankton blooms occurring earlier in the Arctic? *Global Change Biology*, vol. 17, No. 4, pp. 1733–1739.
- Kahru, M., and others (2012). Trends in the surface chlorophyll of the California Current: Merging data from multiple ocean color satellites. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 77, pp. 89–98.
- Kahru, M., and others (2016). Effects of sea ice cover on satellite-detected primary production in the Arctic Ocean. *Biology Letters*, vol. 12, No. 11, 20160223.
- Karl, D.M., and others (2002). Dinitrogen fixation in the World's oceans. *Biogeochemistry*, vols.57–58, pp. 47–98. <https://doi.org/10.1023/A:1015798105851>.
- Karner, Markus B., and others (2001). Archaeal dominance in the mesopelagic zone of the Pacific Ocean. *Nature*, vol. 409, pp. 507–510.
- Kaufman, Daniel E., and others (2017). Climate change impacts on southern Ross Sea phytoplankton composition, productivity, and export. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 122, No. 3, pp. 2339–2359.
- Keller, Maureen D., and others (1989). Dimethyl sulfide production in marine phytoplankton: The Importance of Species Composition and Cell Size. *Biological Oceanography*, vol. 6, Nos. 5–6, pp. 75–382.

- Kent, Alyssa G., and others (2016). Global biogeography of *Prochlorococcus* genome diversity in the surface ocean. *The ISME Journal*, vol. 10, pp. 1856–1865.
- Kjørboe, Thomas (2011). How zooplankton feed: mechanisms, traits and trade-offs. *Biological Reviews*, vol. 86, No. 2, pp. 311–339.
- Kirkham, Amy R., and others (2013). A global perspective on marine photosynthetic picoeukaryote community structure. *The ISME Journal*, vol. 7, pp. 922–936.
- Landolfi, Angela, and others (2018). Global marine N<sub>2</sub> fixation estimates: From observations to models. *Frontiers in Microbiology*, vol. 9, art. 2112.
- Landry, Michael R., and Albert Calbet (2004). Microzooplankton production in the oceans. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 61, No. 4, pp. 501–507.
- Le Quéré, Corinne, and others (2005). Ecosystem dynamics based on plankton functional types for global ocean biogeochemistry models. *Global Change Biology*, vol. 11, No. 11, pp. 2016–2040.
- Lefort, Thomas, and Josep M. Gasol (2013). Short-time scale coupling of picoplankton community structure and single-cell heterotrophic activity in winter in coastal NW Mediterranean Sea waters. *Journal of Plankton Research*, vol. 36, No. 1, pp. 243–258.
- Legendre, Louis, and Josée Michaud (1998). Flux of biogenic carbon in oceans: size-dependent regulation by pelagic food webs. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 164, pp. 1–11.
- Lelong, A. (2012). *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) species, domoic acid and amnesic shellfish poisoning: revisiting previous paradigms. *Phycologia*, vol. 51 (2), pp. 168–216.
- Li, William K.W. (1994). Primary production of prochlorophytes, cyanobacteria, and eucaryotic ultraphytoplankton: measurements from flow cytometric sorting. *Limnology and Oceanography*, vol. 39, No. 1, pp. 169–175.
- Li, William K.W., and others (2009). Smallest algae thrive as the Arctic Ocean freshens. *Science*, vol. 326, No. 5952, pp. 539–539.
- Lindeque, Penelope K., and others (2013). Next generation sequencing reveals the hidden diversity of zooplankton assemblages. *PloS One*, vol. 8, No. 11, e81327.
- Lindley, J.A., and S. D. Batten (2002). Long-term variability in the diversity of North Sea zooplankton. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, vol. 82, No. 1, pp. 31–40.
- Liquete, Camino, and others (2013). Current status and future prospects for the assessment of marine and coastal ecosystem services: a systematic review. *PloS One*, vol. 8, No. 7, e67737.
- Lischka, Silke, and others (2011). Impact of ocean acidification and elevated temperatures on early juveniles of the polar shelled pteropod *Limacina helicina*: mortality, shell degradation, and shell growth. *Biogeosciences (BG)*, vol. 8, pp. 919–932.
- Litchman, Elena, and others (2010). Linking traits to species diversity and community structure in phytoplankton. In *Fifty Years after the "Homage to Santa Rosalia": Old and New Paradigms on Biodiversity in Aquatic Ecosystems*, pp. 15–28. Springer.
- Loeb, Valerie, and others (1997). Effects of sea-ice extent and krill or salp dominance on the Antarctic food web. *Nature*, vol. 387, pp. 897–900.
- Loeb, V.J., and J.A. Santora (2012). Population dynamics of *Salpa thompsoni* near the Antarctic Peninsula: growth rates and interannual variations in reproductive activity (1993–2009). *Progress in Oceanography*, vol. 96, No. 1, pp. 93–107.
- Luo, Haiwei, and Mary Ann Moran (2014). Evolutionary ecology of the marine Roseobacter clade. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, vol. 78, No. 4, pp. 573–587.
- Mackas, D.L., and others (2012). Changing zooplankton seasonality in a changing ocean: Comparing time series of zooplankton phenology. *Progress in Oceanography*, vol. 97, pp. 31–62.

- Madin, L.P., and G.R. Harbison (1977). The associations of Amphipoda Hyperiidea with gelatinous zooplankton—I. Associations with Salpidae. *Deep Sea Research*, vol. 24, No. 5, pp. 449–463.
- \_\_\_\_\_ (2001). Gelatinous zooplankton. *1st Edition of Encyclopedia of Ocean Sciences*, vol. 2, pp. 1120–1130.
- Malone, T. C. (1980). Algal size. *The Physiological Ecology of Phytoplankton*.
- Mangel, Marc, and Stephen Nicol (2000). Krill and the unity of biology. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 57, (S3), pp. 1–5.
- Marañón, Emilio, and others (2001). Patterns of phytoplankton size structure and productivity in contrasting open-ocean environments. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 216, pp. 43–56.
- Marañón, Emilio, and others (2012). Temperature, resources, and phytoplankton size structure in the ocean. *Limnology and Oceanography*, vol. 57, No. 5, pp. 1266–1278.
- Marañón, Emilio, and others (2015). Resource supply alone explains the variability of marine phytoplankton size structure. *Limnology and Oceanography*, vol. 60, No. 5, pp. 1848–1854.
- Massana, Ramon, and Klaus Jürgens (2003). Composition and population dynamics of planktonic bacteria and bacterivorous flagellates in seawater chemostat cultures. *Aquatic Microbial Ecology*, vol. 32, No. 1, pp. 11–22.
- Miron, Gilles, and others (1995). Use of larval supply in benthic ecology: testing correlations between larval supply and larval settlement. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 124, pp. 301–305.
- Mitra, Aditee, and others (2016). Defining planktonic protist functional groups on mechanisms for energy and nutrient acquisition: incorporation of diverse mixotrophic strategies. *Protist*, vol. 167, No. 2, pp. 106–120.
- Moline, Mark A., and others (2004). Alteration of the food web along the Antarctic Peninsula in response to a regional warming trend. *Global Change Biology*, vol. 10, No. 12, pp. 1973–1980.
- Möllmann, Christian, and others (2003). The marine copepod, *Pseudocalanus elongatus*, as a mediator between climate variability and fisheries in the Central Baltic Sea. *Fisheries Oceanography*, vol. 12, Nos. 4–5, pp. 360–368.
- Monteiro, Fanny Meline, and others (2010). Distribution of diverse nitrogen fixers in the global ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 24, No. 3.
- Montes-Hugo, Martin, and others (2009). Recent changes in phytoplankton communities associated with rapid regional climate change along the western Antarctic Peninsula. *Science*, vol. 323, No. 5920, pp. 1470–1473.
- Moore, J. Keith, and others (2018). Sustained climate warming drives declining marine biological productivity. *Science*, vol. 359, No. 6380, pp. 1139–1143.
- Morán, Xosé Anxelu, and others (2010). Increasing importance of small phytoplankton in a Warmer Ocean. *Global Change Biology*, vol. 16, No. 3, pp. 1137–1144. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01960.x>.
- Mousing, Erik Askov, Katherine Richardson, and Marianne Ellegaard (2018). Global patterns in phytoplankton biomass and community size structure in relation to macronutrients in the open ocean. *Limnology and Oceanography*, vol. 63, No. 3, pp. 1298–1312.
- Mueter, Franz J., and others (2009). Ecosystem responses to recent oceanographic variability in high-latitude Northern Hemisphere ecosystems. *Progress in Oceanography*, vol. 81, Nos. 1–4, pp. 93–110.
- Müren, U., and others (2005). Potential effects of elevated sea-water temperature on pelagic food webs. *Hydrobiologia*, vol. 545, No. 1, pp. 153–166.
- Negrete-García, Gabriela, and others (2019). Sudden emergence of a shallow aragonite saturation horizon in the Southern Ocean. *Nature Climate Change*, vol. 9, pp. 313–317.

- Nissen, Cara, and others (2018). Factors controlling coccolithophore biogeography in the Southern Ocean. *Biogeosciences*, vol. 15, No. 22, pp. 6997–7024.
- Not, Fabrice, and others (2007). Diversity and ecology of eukaryotic marine phytoplankton. In *Advances in Botanical Research*, vol. 64: pp. 1–53. Elsevier.
- Paez-Espino, David, and others (2019). IMG/VR v. 2.0: an integrated data management and analysis system for cultivated and environmental viral genomes. *Nucleic Acids Research*, vol. 47, No. D 1, pp. D678–D686.
- Palumbi, Stephen R., and others (2009). Managing for ocean biodiversity to sustain marine ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 7, No. 4, pp. 204–211.
- Pierce, Richard W., and Jefferson T. Turner (1992). Ecology of planktonic ciliates in marine food webs. *Reviews in Aquatic Sciences*, vol. 6, No. 2, pp. 139–181.
- Pineda, Jesús, and others (2010). Causes of decoupling between larval supply and settlement and consequences for understanding recruitment and population connectivity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 392, Nos. 1–2, pp. 9–21.
- Pitt, Kylie Anne, and others (2018). Claims that anthropogenic stressors facilitate jellyfish blooms have been amplified beyond the available evidence: a systematic review. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 451.
- Poloczanska, Elvira S., and others (2013). Global imprint of climate change on marine life. *Nature Climate Change*, vol. 3, pp. 919–925.
- Polovina, Jeffrey J., and others (2011). Projected expansion of the subtropical biome and contraction of the temperate and equatorial upwelling biomes in the North Pacific under global warming. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 68, No. 6, pp. 986–995.
- Polovina, Jeffrey J., and others (2008). Ocean's least productive waters are expanding. *Geophysical Research Letters*, vol. 35, No. 3.
- Polovina, Jeffrey J., and Phoebe A. Woodworth (2012). Declines in phytoplankton cell size in the subtropical oceans estimated from satellite remotely-sensed temperature and chlorophyll, 1998–2007. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 77, pp. 82–88.
- Pomeroy, Lawrence R., and others (2007). The microbial loop. *Oceanography*, vol. 20, No. 2, pp. 28–33.
- Purcell, Jennifer E., and others (2007). Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 350, pp. 153–174.
- Raitsos, Dionysios E., and others (2014). From silk to satellite: half a century of ocean colour anomalies in the Northeast Atlantic. *Global Change Biology*, vol. 20, No. 7, pp. 2117–2123.
- Rasmussen, Astrid Fuglseth (2018). Changes in the abundance, species composition and distribution of the Barents Sea euphausiids (krill): with focus on the expansion and reproduction of *Meganyctiphanes norvegica*. Master's Thesis, Norwegian University of Life Sciences, Aas.
- Read, Betsy A., and others (2013). Pan genome of the phytoplankton *Emiliana* underpins its global distribution. *Nature*, vol. 499, pp. 209–213.
- Rivero-Calle, Sara, and others (2015). Multidecadal increase in North Atlantic coccolithophores and the potential role of rising CO<sub>2</sub>. *Science*, vol. 350, No. 6267, pp. 1533–1537.
- Rohwer, Forest, and Rebecca Vega Thurber (2009). Viruses manipulate the marine environment. *Nature*, vol. 459, pp. 207–212.
- Rombouts, Isabelle, and others (2009). Global latitudinal variations in marine copepod diversity and environmental factors. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 276, No. 1670, pp. 3053–3062.

- Rousseaux, Cecile S., and Watson W. Gregg (2015). Recent decadal trends in global phytoplankton composition. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 29, No. 10, pp. 1674–1688.
- Salazar, Guillem, and Shinichi Sunagawa (2017). Marine microbial diversity. *Current Biology*, vol. 27, No. 11, pp. R489–R494.
- Santoro, Alyson E., and others (2019). Planktonic marine archaea. *Annual Review of Marine Science*, vol. 11, pp. 131–158.
- Sarmiento, Jorge Louis, and others (2002). A new estimate of the CaCO<sub>3</sub> to organic carbon export ratio. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 16, No. 4, pp. 54-1–54-12.
- Schiebel, Ralf, and Christoph Hemleben (2005). Modern planktic foraminifera. *Paläontologische Zeitschrift*, vol. 79, No. 1, pp. 135–148.
- Schlüter, Lothar, and others (2014). Adaptation of a globally important coccolithophore to ocean warming and acidification. *Nature Climate Change*, vol. 4, pp. 1024–1030.
- Schoemann, Véronique, and others (2005). *Phaeocystis* blooms in the global ocean and their controlling mechanisms: a review. *Journal of Sea Research*, vol. 53, Nos. 1–2, pp. 43–66.
- Sherr, Evelyn B., and Barry F. Sherr (2007). Heterotrophic dinoflagellates: a significant component of microzooplankton biomass and major grazers of diatoms in the sea. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 352, pp. 187–197.
- Sherr, Evelyn B., and others (2009). Microzooplankton grazing impact in the Western Arctic Ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 56, No. 17, pp. 1264–1273.
- Sieburth, John McN., and others (1978). Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnology and Oceanography*, vol. 23, No. 6, pp. 1256–1263.
- Sieradzki, Ella T., and others (2019). Dynamic marine viral infections and major contribution to photosynthetic processes shown by spatiotemporal picoplankton metatranscriptomes. *Nature Communications*, vol. 10, art. 1169.
- Signorini, Sergio R., and others (2015). Chlorophyll variability in the oligotrophic gyres: mechanisms, seasonality and trends. *Frontiers in Marine Science*, vol. 2, art. 1.
- Silberberger, Marc J., and others (2016). Spatial and temporal structure of the meroplankton community in a sub-Arctic shelf system. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 555, pp. 79–93.
- Simmonds, Peter, and others (2017). Consensus statement: virus taxonomy in the age of metagenomics. *Nature Reviews Microbiology*, vol. 15, pp. 161–168.
- Simon, Nathalie, and others (2009). Diversity and evolution of marine phytoplankton. *Comptes Rendus Biologies*, vol. 332, Nos. 2–3, pp. 159–170.
- Slagstad, D., and others (2011). Evaluating primary and secondary production in an Arctic Ocean void of summer sea ice: an experimental simulation approach. *Progress in Oceanography*, vol. 90, Nos. 1–4, pp. 117–131.
- Smith, Helen E.K., and others (2017). The influence of environmental variability on the biogeography of coccolithophores and diatoms in the Great Calcite Belt. *Biogeosciences*, vol. 14, pp. 4905–4925.
- Smyth, T.J., and others (2004). Time series of coccolithophore activity in the Barents Sea, from twenty years of satellite imagery. *Geophysical Research Letters*, vol. 31, No. 11.
- Sommer, Ulrich, and others (2002). Pelagic food web configurations at different levels of nutrient richness and their implications for the ratio fish production: primary production. In *Sustainable Increase of Marine Harvesting: Fundamental Mechanisms and New Concepts*, pp. 11–20. Springer.
- Sommer, Ulrich, and others (2016). Benefits, costs and taxonomic distribution of marine phytoplankton body size. *Journal of Plankton Research*, vol. 39, No. 3, pp. 494–508.
- Sommer, Ulrich, and others (2017). Do marine phytoplankton follow Bergmann's rule sensu lato? *Biological Reviews*, vol. 92, No. 2, pp. 1011–1026.

- Sournia, Alain, and others (1991). Marine phytoplankton: how many species in the world ocean? *Journal of Plankton Research*, vol. 13, No. 5, pp. 1093–1099.
- Sunagawa, Shinichi, and others (2015). Structure and function of the global ocean microbiome. *Science*, vol. 348, No. 6237, 1261359.
- Sundby, Svein, and others (2016). The North Atlantic spring-bloom system—Where the changing climate meets the winter dark. *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 28.
- Suttle, Curtis A. (2007). Marine viruses—major players in the global ecosystem. *Nature Reviews Microbiology*, vol. 5, pp. 801–812.
- Swailethorp, Rasmus, and others (2019). Microzooplankton distribution in the Amundsen Sea Polynya (Antarctica) during an extensive *Phaeocystis antarctica* bloom. *Progress in Oceanography*, vol. 170, pp. 1–10.
- Thackeray, Stephen J., and others (2010). Trophic level asynchrony in rates of phenological change for marine, freshwater and terrestrial environments. *Global Change Biology*, vol. 16, No. 12, pp. 3304–3313.
- Thor, Peter, and Sam Dupont (2015). Transgenerational effects alleviate severe fecundity loss during ocean acidification in a ubiquitous planktonic copepod. *Global Change Biology*, vol. 21, No. 6, pp. 2261–2271.
- Tim, N., and others. (2016). The importance of external climate forcing for the variability and trends of coastal upwelling in past and future climate. *Ocean Science*, vol. 12, pp. 807–823.
- Tréguer, Paul, and others (2018). Influence of diatom diversity on the ocean biological carbon pump. *Nature Geoscience*, vol. 11, pp. 27–37.
- Uitz, Julia, and others (2010). Phytoplankton class-specific primary production in the world's oceans: Seasonal and interannual variability from satellite observations. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 24, No. 3.
- United Nations (2017a). Chapter 34: Global patterns in marine biodiversity. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 501–524. <https://doi.org/10.1017/9781108186148.037>.
- \_\_\_\_\_ (2017b). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2017c). Chapter 6: Primary production, cycling of nutrients, surface layer and plankton. In United Nations (ed.), *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 119–148. <https://doi.org/10.1017/9781108186148.009>.
- Valdés, Valentina, and others (2017). Scaling copepod grazing in a coastal upwelling system: the importance of community size structure for phytoplankton C flux. *Latin American Journal of Aquatic Research*, vol. 45, No. 1, pp. 41–54.
- Vallina, Sergio M., and others (2014). Global relationship between phytoplankton diversity and productivity in the ocean. *Nature Communications*, vol. 5, art. 4299.
- Vaulot, Daniel, and others (2008). The diversity of small eukaryotic phytoplankton ( $\leq 3 \mu\text{m}$ ) in marine ecosystems. *FEMS Microbiology Reviews*, vol. 32, No. 5, pp. 795–820.
- Verity, Peter G., and Victor Smetacek (1996). Organism life cycles, predation, and the structure of marine pelagic ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 130, pp. 277–293.
- Vinogradov, Mikhail Evgen'evich, and others (1996). Hyperiid amphipods (Amphipoda, Hyperiidea) of the world oceans.
- Vogt, Meike, and others (2012). Global marine plankton functional type biomass distributions: *Phaeocystis* spp. *Earth System Science Data*, vol. 4, No. 1, pp. 107–120.

- Ward, Ben A., and others (2012). A size-structured food-web model for the global ocean. *Limnology and Oceanography*, vol. 57, No. 6, pp. 1877–1891.
- Wasmund, Norbert, and others (2019). Extension of the growing season of phytoplankton in the western Baltic Sea in response to climate change. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 622, pp. 1–16.
- Wells, Mark L., and others (2015). Harmful algal blooms and climate change: Learning from the past and present to forecast the future. *Harmful Algae*, vol. 49, pp. 68–93.
- Westberry, T., and others (2008). Carbon-based primary productivity modeling with vertically resolved photoacclimation. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 22, No. 2.
- White, Angelique E., and others (2018). Temporal Variability of *Trichodesmium* spp. and Diatom-Diazotroph Assemblages in the North Pacific Subtropical Gyre. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 27.
- Wiebe, Peter H., and others (2010). Deep-sea sampling on CMarZ cruises in the Atlantic Ocean—An introduction. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 57, Nos. 24–26, pp. 2157–2166.
- Wietz, Matthias, and others (2010). Latitudinal patterns in the abundance of major marine bacterioplankton groups. *Aquatic Microbial Ecology*, vol. 61, No. 2, pp. 179–189.
- Winter, Amos, and others (2014). Poleward expansion of the coccolithophore *Emiliana huxleyi*. *Journal of Plankton Research*, vol. 36, No. 2, pp. 316–325.
- Wood, Sylvia L.R., and others (2018). Distilling the role of ecosystem services in the Sustainable Development Goals. *Ecosystem Services*, vol. 29, pp. 70–82.
- Worden, Alexandra Z., and Fabrice Not (2008). Ecology and diversity of picoeukaryotes. *Microbial Ecology of the Oceans*, vol. 2, pp. 159–205.
- Worm, Boris, and others (2006). Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, vol. 314, No. 5800, pp. 787–790.
- Yooseph, Shibu, and others (2010). Genomic and functional adaptation in surface ocean planktonic prokaryotes. *Nature*, vol. 468, pp. 60–66.



# 第 6B 章

# 海洋无脊椎动物

**撰稿人:** Lis L. Jørgensen (召集人)、Christos Arvanitidis、Silvana N.R. Birchenough、Malcolm R. Clark、Igor Cristino Silva Cruz、Marina Cunha、Alan Deidun、Judith Gobin、Maruf Hossain、Ana C.M. de Jesus、Carmen Mifsud、Khac Bat Nguyen、Chul Park (本章牵头成员)、Rachel Przeslawski、Jake Rice、Lennert Schepers、Paul Snelgrove、Natalia Strelkova和Leen Vandepitte。



## 主旨要点

- 截至2019年,全球有153 434种海洋底栖无脊椎动物得到描述。
- 自2012年以来,研究人员描述了10 777种新的海洋底栖无脊椎动物;与此同时,生物多样性正以人类史上前所未有的速度在全球范围内发生着变化,因此物种在被描述之前就有可能灭绝。
- 深海覆盖了地球表面的43%,估计95%的海洋无脊椎动物物种仍未被描述。
- 海洋无脊椎动物面临的主要压力包括温度升高、海洋酸化、对海底的物理影响、生物/非生物资源的开采、沿海利用、物种入侵和污染。
- 全球大片地区,包括国家管辖范围以外区域,仍然缺乏对海洋无脊椎动物有效、充分的长期生态系统监测和(或)保护。
- 尽管人们对许多重要的生态系统过程、功能、货物和服务进行了新研究,但在认识底栖无脊椎动物生物多样性的减少如何影响人类福祉和生态系统动态方面仍存在巨大的知识差距。

## 1. 引言

本分章重点介绍生活在海床上或海床中的为鱼类、海洋哺乳动物、海鸟和人类提供重要食物来源的底栖虾、蠕虫、腹足类、双壳类和其他无脊椎动物,以及一些商业捕捞活动专门针对的无脊椎动物。这些分类群构成了地球上一些最具生产力的生态系统(如河口和珊瑚礁)的基础,不亚于热带森林(Valiela, 1995年),造成的生境所覆盖的地球表面面积超过所有其他生境之和(Snelgrove等人, 1997年)。海洋利用方面的变化、生物捕捞、气

候变化、污染和物种入侵,使全球自然界以人类史上前所未有的速度发生改变。从历史上看,沿海生物群经历了比深海更大的压力和影响,但沿海海洋资源的枯竭和新技术创造了在海洋最深处捕鱼、采矿和钻探的能力和动力(McCauley等人, 2015年)。生物多样性的改变往往会损害全球的经济、生计、粮食安全、健康和生活质量(生物多样性和生态系统服务政府间科学与政策平台(生物多样性平台), 2019年)。

## 2. 《第一次世界海洋评估》所记录情况摘要

《第一次世界海洋评估》(联合国, 2017年b)确定了从区域到全球范围内海洋无脊椎动物生物多样性的主要驱动因素和模式。由于驱动因素之间复杂的相互作用,以及这些因素在生物分级和观测的多重尺度上对海洋生物多样性造成的单独和集体影响,我们难以自信地对区域多样性作出预测。就全球来说,沿海和海洋的模式不同。在全球范围内,沿海底栖生物物种丰度通常在赤道附近达到峰值,而向两极逐渐递减,这与海洋物种在中纬度达到峰值形成鲜明对比。然而,强烈的纵向梯度使沿海模式复杂化,热带印度洋—太平洋和加勒比海等地区的许多分类群都出现局部生物多样性热点。

低氧区、海底不稳定、海洋化学变化、生境变量和海洋活动,使预测海洋无脊椎动物的空间和时间多样性模式变得复杂。驱动变化的种种力量往往是联动的,因此很难将自然变化与人为压力分开。生物多样性热点往往吸引和支持人类的采掘活动,将海洋生物多样性与生态系统服务直接联系起来。此外,这些热点还往往支持重要的生态系统功能,如养分循环、食物网支持和生境创建,而这些功能反过来又有助于为人类带来直接惠益的生态系统服务。

## 3. 环境变化的描述(2010—2020年)

### 3.1. 海洋无脊椎动物生物多样性

《世界海洋物种目录》中的记录(Vandepitte等人, 2018年;《世界海洋物种目录》编辑委员会, 2019年)表明, 2012至2019年间描述了10 777个有效的新海洋底栖无脊椎动物物种, 使全球得到描述的此类物种总数达到153 434个。被描述的海洋底栖无脊椎动物中数量最多的是软体动物分类(31%), 其次是节肢动物(24%)。

海洋生物多样性信息系统包含124 372种海洋生物的分布信息, 共5 640万条分布记录。其中,《世界海洋物种目录》目前鉴定为海洋底栖无脊椎动物的有80 132种, 共810万条分布记录。

根据2019年可获取的海洋生物多样性信息系统和《世界海洋物种目录》的数据(见下图), 采样充分的北大西洋记录的海洋底栖无脊椎动物物种最多(24 214种), 其次是采样相对较少的南太平洋(23 245种), 包括珊瑚海(18 224种), 南太平洋肯定会出现更多尚未发现的物种。

一项基于水深区域的研究(见下图)显示, 珊瑚海在浅于200米深度记录的物种数量最多(11 353种), 其次是印度洋(9 971种)、北大西洋(9 915种)和南太平洋(7 498种)。在某些情况下(如白令海、北冰洋和挪威海), 相似纬度的底栖动物多样性却不同。在1 000米以下, 采样较好(与其他海盆相比)的北大西洋包含的物种数量最多(8 027种)。<sup>1</sup>

### 3.2. 海洋无脊椎动物生物多样性评估与现状

在全球范围内, 多重压力和驱动因素同时影响着海洋底栖无脊椎动物(见下表)。虽然全球各地以这些影响为专题进行了许多研究, 但下面这一节和下

表只突出强调了最近一些有针对性或有价值的时间序列研究。这些研究反映了自《第一次世界海洋评估》以来人们对这些问题的进一步认识。

#### 3.2.1. 气候变暖

强有力的证据表明, 自1970年以来, 全球海洋变暖趋势有增无减, 已占气候系统过剩热量的90%以上。自1993年以来, 海洋暖化的速度可能增加了一倍多(政府间气候变化专门委员会, 2019年)。对海洋底栖生物的影响在极地和亚极区尤为深刻。北极海冰的减少将使船只更容易进入该区域, 这可能会局部增加对底栖群落的人为压力, 特别是在港口。

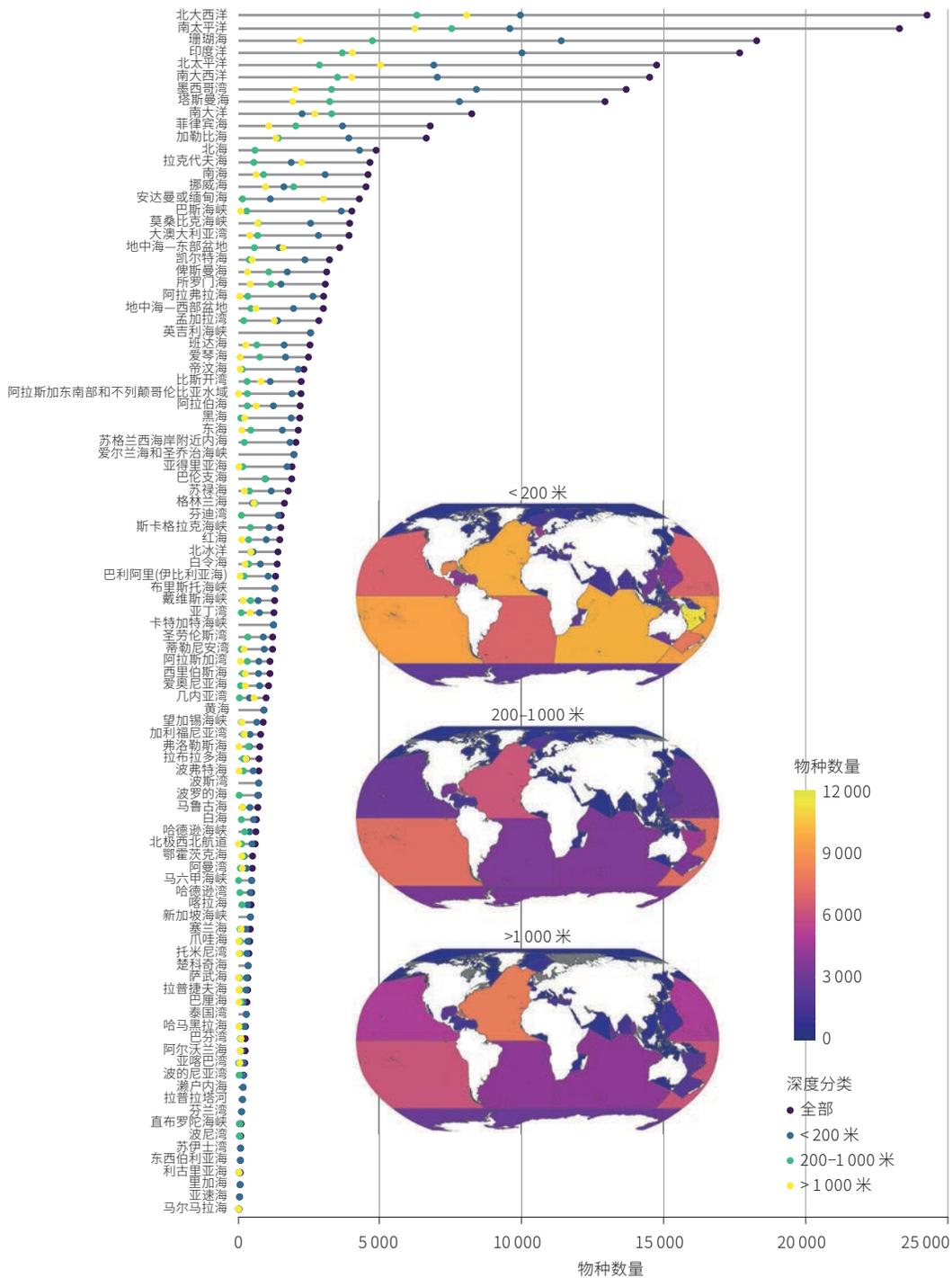
#### 近期研究结果

- 在北极<sup>2</sup>、巴伦支海(Jørgensen等人, 2019年)、欧亚大陆以北其他海域和北太平洋远东海域(Lobanov等人, 2014年), 由于海水变暖, 海洋无脊椎动物正在向北迁移(见下表)。阿拉斯加海域的无脊椎动物生物量下降(见下表)(Grebmeier等人, 2015年), 导致营养级升高(Grebmeier, 2012年); 土著长老认为这种变化与海冰覆盖率下降、沙坝移动和洋流变化有关(Jørgensen等人中的Metcalf和Behe, 2017年)。
- 在北大西洋, 气候变暖使受湾流影响的大不列颠及北爱尔兰联合王国近岸地区出现暖水物种(见下表)(Birchenough等人, 2015年)。
- 在太平洋, 海洋热浪导致澳大利亚周围(Le Nohaïc等人, 2017年; Hughes等人, 2018年; Stuart-Smith等人, 2018年)、中美洲海岸(Cruz等人, 2018年)和南海珊瑚严重白化和大量死亡(见下表)。

<sup>1</sup> 并非所有《世界海洋物种目录》描述的物种都有可用的分布信息。海洋生物多样性信息系统不断收到来自众多数据提供者的输入信息, 并显示已记录海洋物种的确切海洋位置。由于《世界海洋物种目录》对底栖生物特征记录仍在进行中, 海洋生物多样性信息系统中约有11 000种无脊椎动物仍然缺乏可用的所属类群名称, 因此本概述不含这些海洋底栖无脊椎动物物种。

<sup>2</sup> 见[www.arcticbiodiversity.is/index.php/findings/benthos](http://www.arcticbiodiversity.is/index.php/findings/benthos)。

三个深度类别(<200米、200-1 000米、>1 000米)的已记录海洋底栖无脊椎物种总数



资料来源: 物种出现记录(海洋生物多样性信息系统(2019年)); 物种类群信息(《世界海洋物种目录》); 水深测量数据(欧洲海洋观测和数据网(2016年)、世界大洋深度图(2015年)、Provoost和Bosch (2018年)); 海域改编自Marineregions.org (Claus等人(2014年)、佛兰德斯海洋研究所(2018年))。

选定的国家案例研究以及相关自然和人为驱动因素和压力

	印度洋—南太平洋界线	澳大利亚, 南部	×																		
	南太平洋	新西兰, 东部						×													
		澳大利亚, 东北部		×		×				×											
	北太平洋	俄罗斯联邦, 东海	×					×													
		南海	×					×			×	×	×							×	
	印度洋	越南, 沿海		×	×			×			×										
		澳大利亚, 西部		×		×															
	南大西洋	孟加拉国, 沿海			×	×	×			×				×						×	
		巴西, 沿海和海湾				×		×		×	×	×						×	×	×	
	北大西洋	特立尼达和多巴哥			×	×				×			×								
		马耳他, 沿海									×								×	×	×
		希腊, 海湾				×		×				×	×						×	×	×
		葡萄牙, 西南部						×		×											
		联合王国, 北海	×					×							×	×					
		格陵兰, 西部和东南部	×					×													
		加拿大, 东北部	×					×		×					×						
	北冰洋	美国, 北极	×							×											
		俄罗斯联邦, 北极海域	×							×											
		挪威和俄罗斯联邦, 巴伦支海	×					×		×											
气候变化																					
温度事件(例如厄尔尼诺现象)																					
沉积作用																					
风暴和波浪作用																					
底拖网渔业																					
过度捕捞无脊椎动物																					
新物种传播																					
物种暴发																					
污染																					
富营养化(农业、水产养殖、污水)																					
油气开采与提炼																					
海上风电场																					
大型拆船活动																					
锚定																					
沿海基础设施建设																					
旅游业																					

一些研究人员预测,即使达到《巴黎协定》<sup>3</sup>设定的减排目标,未来几十年海洋热浪的发生频率和严重程度也会越来越高(Frölicher和Laufkötter, 2018年)。这种变暖可能会使全球温带和北极沿海地区的关键生物生境消失(Krumhansl等人, 2016年),并影响监测不力水域的珊瑚礁生态系统,造成未知损害(Genevier等人, 2019年)。

### 3.2.2. 底拖网渔业

底拖网渔业是对全球海底生境造成人为物理干扰的最广泛来源,2011年至2013年全球近四分之一的海产品上岸量是由底拖网捕捞的(Hiddink等人, 2017年)。拖网工具每通过一次可去除6-41%的动物生物量,而恢复时间中值为1.9-6.4年(不包括深海)(出处同上),具体取决于所涉渔业和环境的情况。拖网捕捞影响研究表明,拖网区域长寿(>10年)动物相对丰度的下降幅度大于寿命较短(1-3年)的动物(Hiddink等人, 2019年)。

### 近期研究结果

- 在北海,底拖网作业改变了本地底栖动物群落,其影响表述为“一些改变”。北大西洋其他海域以及其他海洋的研究报告显示,疏浚(Cooper等人, 2017年)和实验性拖网捕捞(Kenchington等人, 2006年)共同作用,给底栖生物群落带来了类似的变化;葡萄牙西南部“单位上岸生物量足迹是最大的之一”(Ramalho等人, 2018年),格陵兰南部“大型底栖动物构造受到负面影响”(Yesson等人, 2016年)。
- 在新西兰以东的南太平洋深层带海山上,使用重型渔具后,珊瑚群落的恢复可能需要几十年的时间(Clark等人, 2019年)。
- 在北太平洋,东海报告了底拖网捕捞对大型底栖动物构造的负面影响(Wang等人, 2018年)。
- 丢弃或丢失的渔具对数百米深处的冷水珊瑚群落产生重大影响(Deidun等人, 2015年)。

- 无脊椎动物渔业捕获量(另见第15章)在全球迅速增加,每年超过1 000万吨,为全球海产品供应、出口、贸易和当地生计作出了巨大贡献。平均而言,90%的无脊椎动物渔获量可以在25%的枯竭率下实现,不需要做出太大的捕捞努力,并因而提高利润,同时大大减少对其他营养群体的影响(Eddy等人, 2017年)。
- 北极(巴伦支海)的扇贝捕捞(Nosova等人, 2018年)以及俄罗斯联邦东部海域的海参、扇贝和螃蟹捕捞(Lysenko等人, 2015年)正在改变生物生境。

### 3.2.3. 入侵物种

入侵物种(另见第22章和国际外来入侵物种开放知识协会)<sup>4</sup>偶尔会成为本地底栖生物的主要压力。

### 近期研究结果

- 根据对北极商业捕食性雪蟹范围扩大情况的研究,雪蟹每年在巴伦支海东部消灭近3万吨大型底栖生物(见上表)(Zakharov等人, 2018年)。
- 在北大西洋,入侵的青蟹对加拿大一些沿海区域<sup>5</sup>的海草和海底无脊椎动物造成了影响(见上表)(Garbary等人, 2014年; Matheson等人, 2016年)。大规模入侵的马尾藻(另见第6E和6G章)现在覆盖了特立尼达和多巴哥以及其他加勒比海岛屿的海滩和近岸沿海生境(Gobin, 2016年)。广阔的马尾藻床可以改变许多本地海洋无脊椎动物的丰度,并可能为以前未出现在当地底栖动物群落中的物种提供合适的生境。
- 在地中海,记录了500多种外来海洋无脊椎动物(Tsiamis等人, 2019年),其中很多入侵物种已经在许多地点确立下来,至少是局部确立。
- 海钱的暴发正在使澳大利亚塔斯马尼亚海岸的海带森林退化(Ling和Keane, 2018年)。

<sup>3</sup> 见 FCCC/CP/2015/10/Add.1,decision1/CP.21, 附件。

<sup>4</sup> [www.invasivesnet.org/news/](http://www.invasivesnet.org/news/)。

<sup>5</sup> 可查阅[www.dfo-mpo.gc.ca/species-especies/ais-eae/about-sur/index-eng.html](http://www.dfo-mpo.gc.ca/species-especies/ais-eae/about-sur/index-eng.html)。

- 在南大西洋, 入侵物种经常在一些巴西沿海珊瑚礁中占主导地位(Creed等人, 2016年; Mantellato等人, 2018年)(见上表)。

### 3.2.4. 污染对海底群落造成的后果

污染对海底群落的影响在《第一次世界海洋评估》和生物多样性平台(生物多样性平台, 2019年)中有充分的记录。要评估底栖无脊椎动物的环境状态和复原力, 则需要研究它们的行为、动态和与环境的多重互动(Neves等人, 2013年; Pessoa等人, 2019年)。

### 近期研究结果

- 农业径流和城市垃圾排入海洋, 会增加营养物质, 产生藻类水华。这些水华最终会沉入海底, 造成缺氧条件和低pH值, 而这通常会减少海底物种的多样性。自《第一次世界海洋评估》以来, 研究人员报告印度洋沿孟加拉国海岸(Kibria等人, 2016年; Mallick等人, 2016年; Molla等人, 2015年)和南大西洋沿巴西海岸(Cruz等人, 2018年)(见上表)出现了更多藻类水华。
- 在北大西洋, 奥里诺科河(特立尼达和多巴哥)的外流(沉积)(见上表)增加了底栖无脊椎动物群落的潜在污染和死亡率(Gobin, 2016年), 而金属排放导致希腊沿海底栖群落生态状况多年来一直下降(Simboura等人, 2014年)(见上表)。

### 3.2.5. 风暴和海浪活动

气旋和海啸是塑造海洋底栖群落生物丰度和结构的最关键变量, 并对其复原力和稳定性构成重大挑战(Betti等人, 2020年)。近几十年来, 由于气候变化相关的种种影响, 热带大西洋沿岸的飓风发生频率和强度都有增加(参考Hernández-Delgado等人, 2020年)。

### 3.2.6. 深海矿产开采

深海矿物开采(另见第18章)是一个潜在新兴产业, 可以帮助支持不断扩大的以电动汽车新电池技术、风力涡轮机和改进的电信和计算技术为基础

的“绿色”经济的发展(Hein等人, 2013年)。尽管目前在公海上没有深海采矿活动, 但国际海底管理局在太平洋、印度洋以及大西洋中脊沿线管理着30个勘探许可证(覆盖150万平方公里区域)。在采矿作业中, 直接物理清除海底动物以及沉积物羽流的次生影响或释放生态毒素, 可能会影响底栖环境, 需要仔细评估(Miller等人, 2018年)。缺乏深海生物多样性知识是在确保环境可持续性方面的一个主要制约因素(Glover等人, 2018年)。

### 3.2.7. 人类娱乐活动、沿海基础设施发展以及船舶锚泊和加油

如《第一次世界海洋评估》所述, 人类娱乐活动、沿海基础设施发展以及船舶锚泊和加油继续影响脆弱的生境和相关无脊椎动物群落。地中海马耳他附近的其他记录(见上表)也反映了这种情况(García-March等人, 2007年; Mifsud等人, 2006年)。此外, 孟加拉湾孟加拉国沿海的拆船活动(见上表)减少了底栖物种的多样性(Hossain, 2010年)。

### 3.2.8. 犯罪活动

对海洋物种的犯罪性利用在全球范围内发生, 犯罪团伙从南非走私鲍鱼就是例证。向接收国执法机构请求协助, 可能是一个解决办法(Warchol和Harrington, 2016年)。

### 3.2.9. 海洋无脊椎动物生物多样性变化对人类社区、经济和福祉的影响

生物多样性的变化对人类福祉产生直接和间接影响(生物多样性平台, 2019年)。不幸的是, 我们缺乏对大面积海洋区域的大规模长期监测, 尽管一些北极和北大西洋国家已经在现有的国家鱼类科学评估调查中建立了对无脊椎动物渔业和拖网兼捕渔获物的长期监测(Jørgensen 等人, 2017年)。

有限的一些出版物具体记录了海洋底栖无脊椎动物如何为人类福祉作出贡献(例如, Officer等人, 1982年; Snelgrove等人, 1997年), 而《第一次世界海洋评估》和本《评估》则记录了底栖无脊椎动物对海洋食物网以及对许多形成生境或参与生

境工程的底栖生物物种的重要性。以下简述一些关键问题。

- 在一切照旧的排放情景下, 联合国教育、科学及文化组织预测, 到2100年, 澳大利亚大堡礁和其他世界遗产珊瑚礁将不再是正常运转的珊瑚礁生态系统(Heron等人, 2017年)。
- 珊瑚、牡蛎和其他生物礁(另见第7F章)可以驱散高达97%到达它们的波浪能, 从而保护建筑物和人类的生命(Ferrario等人, 2014年)。在海平面上升时, 这可能是一个重要的缓解因素。到21世纪下半叶, 为保护沿海基础设施和人类社区免受与气候有关的海平面上升的影响, 估计将耗资数千亿美元修建人工海岸屏障(气专委, 2019年)。
- 海产品可获得性降低带来的粮食安全风险增加的程度, 在不同地区和文化间差异很大。然而, 对于许多沿海土著人民和地方社区来说, 捕捞底栖无脊椎动物, 特别是潮间带物种, 对他们的文化和全社区粮食安全的意义重大(生物多样性平台, 2018年a、b; 气专委, 2019年)。
- 海面温度升高导致全球水域物种范围扩大, 包括扩散进南太平洋塔斯马尼亚水域(Pecl等人, 2014年), 这可能会影响该区域的渔业、旅游业和生态系统服务。

## 4. 国际和政府的应对措施

目前正在实施的几项倡议反映出, 无论是在国家管辖范围内还是在国家管辖范围以外的区域, 保护海洋生物多样性都日益受到重视。这些倡议包括《世界海洋评估》等科学进程、“根据《联合国海洋法公约》的规定就国家管辖范围以外区域海洋生物多样性的养护和可持续利用问题拟订一份具有法律约束力的国际文书政府间会议”等法律进程, 以及国际海底管理局等政府间组织的倡议。

大会2006年12月8日关于可持续渔业的第61/105号决议呼吁使用触底渔具的渔业避免对脆弱的海洋生态系统造成严重不利影响。该决议对海洋渔业

- 气候导致许多底栖无脊椎动物的分布发生变化, 使依赖这些动物的沿海社区的粮食资源物种增加、减少(包括局部灭绝)或者甚至产生新的粮食资源物种(气专委, 2019年)。
- 若干研究报告显示, 固着无脊椎动物范围向极点变化的速度比鱼类慢, 但也认为底栖无脊椎动物更有可能对温度和pH值的变化做出直接反应(气专委, 2019年)。
- 雪蟹等入侵物种支持着北极巴伦支海增加的商业捕捞(Jørgensen等人, 2019年), 而分布在地中海的雷赛布迁徙蟹蓝泳蟹以鱼、带壳软体动物、甲壳类动物和有机质为食, 因此除了寄居各种寄生虫外, 还极大地影响了当地生态系统的营养过程(Rabaoui等人, 2015年)。
- 在非洲和亚太地区, 入侵性底栖无脊椎动物的影响增加了粮食安全需求得不到满足的风险(生物多样性平台, 2018b、c)。
- 在地中海, 基础设施的发展(如为了船只而进行生境改造)直接影响到受保护物种(如地中海石珊瑚)和重要商业物种, 降低了海洋生态系统服务的价值。

尽管取得了一些进展, 但仍然需要填补在生物多样性丧失对人类社区、经济和福祉影响方面存在的巨大知识差距。要理解造成变化的根本原因, 需要反复的时间序列研究。

的影响特别大。联合国粮食及农业组织(粮农组织)专家指导意见(粮农组织, 2009年)支持各国和区域渔业管理组织确定脆弱海洋生态系统, 并以符合该决议的方式经营渔业。

在第61/105号决议推动下采取的行动加强了区域渔业管理组织现有管理渔业生物多样性影响的工作。由脆弱海洋生态系统存在指标触发的有针对性的空间和时间关闭和偏离规则, 现在与各种目标和限制渔获量空间管理办法以及渔具和作业条例结合起来使用。这样做的目的是为了将渔业对目标物种、兼捕渔获物种、海底生境和生态群落的影响

响保持在安全的生态水平之内(Garcia等人, 2014年)。区域渔业管理组织在执行这一任务以保护海底生境和物种方面所取得的绩效, 随着时间的推移和因各区域的差异而不同(Gianni等人, 2016年), 但该框架被认为是健全的, 并且正在取得进展(Bell等人, 2019年)。

#### 4.1. 近期政府行动

- 一些北极和北大西洋国家在现有的国家鱼虾科学评估调查中, 建立了具有时间和成本效益的对拖网兼捕渔获无脊椎动物的长期监测(Jørgensen等人, 2017年)。
- 在南太平洋, 新西兰政府颁布政策<sup>6</sup>禁止海底拖网和疏浚, 以保护海山封闭区和底栖生物保护区的深海环境。有证据表明, 受关注的底栖物种从这些禁令中受益(Kelly等人, 2000年)。
- 在北极, 挪威政府2019年把巴伦支海442 022平方公里的区域定为禁止海底拖网捕捞区(Jørgensen等人, 2020年)。
- 在北太平洋和中国渤海, 2018年出台了严格的生态修复和渔业资源养护措施。<sup>7</sup>
- 在印度洋凹入式海湾中, 尽管有保护海洋生态系统以免危害和破坏性活动的规则和条例, 但实际执行仍然很少。
- 在地中海, 爱琴海生态区最近对海绵的养护状况进行了本地评估(Gerovasileiou等人, 2018年)。
- 欧洲联盟成员国主管当局正在执行《海洋战略框架指令》。<sup>8</sup>在相关区域, 除其他因素外, 海底完整性应保持在保护生态系统结构和功能、不对海底生态系统造成不利影响的水平。该指令第二轮实施计划<sup>9</sup>加强了对底栖无脊椎动物很重要的海底地物的保护, 使之不受渔业的影响。

响。这其中包括禁止在水深不到50米的地方使用移动触底渔具, 以保护海草床等脆弱生境。

另一个重要的全球政策倡议——《生物多样性公约》爱知生物多样性目标11, 与底栖无脊椎动物直接相关。这一倡议呼吁制定强有力的养护战略, 其基础是有效公平管理、具有生态代表性、建立良好联系的保护区系统(另见Kenchington等人, 2019年)和其他有效的划区养护措施, 并将其纳入更大范围的海上景观(另见第26章和第27章)。目标11包括确定和在空间上划定保护区, 确保保护区规模与生物多样性特征空间和时间需求相匹配。

这种方法旨在为养护生物多样性, 特别是海底无脊椎动物生物多样性和相关的生态系统功能和服务, 以及适用情况下的文化、精神、社会经济和其他当地相关价值, 实现积极、持续的长期成果。<sup>10</sup>

海底无脊椎动物生物多样性尤其可以从这些发展中受益。正如本分章所述, 海底生境经受了来自许多部门及其相关活动的压力和影响, 并且如此多种多样, 因而特定类型的养护措施的效力随特定的环境条件、历史以及包括气候变化在内的各种人类压力的不同而大相径庭。

大体上, 海洋保护区网络的覆盖面积不断增加, 应该会减轻底栖无脊椎动物的压力, 并促进受到负面影响的区域的恢复。爱知生物多样性目标11有助于人们日益认识到, 养护战略需要超越保护单个孤立的海域(生物多样性公约秘书处, 2011年)。海洋保护区网络是重要的生物多样性养护工具, 旨在涵盖各种空间尺度, 以更好地反映物种生活史分布情况, 从而改善对海洋生物多样性的养护。目标11还通过承认治理及经济、社会和生态因素共同影响生态结果的重要作用, 促进了跨界养护(Meehan等人, 2020年)。

<sup>6</sup> 见[www.mpi.govt.nz/dmsdocument/7242-compliance-fact-sheet-7-benthic-protection-areas-and-sea-mount-closures](http://www.mpi.govt.nz/dmsdocument/7242-compliance-fact-sheet-7-benthic-protection-areas-and-sea-mount-closures)。

<sup>7</sup> 见[www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/201812/t20181211\\_684232.html](http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/201812/t20181211_684232.html)。

<sup>8</sup> 可查阅<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0056>。

<sup>9</sup> 见[https://mcc.jrc.ec.europa.eu/main/dev.py?N=24&O=202&titre\\_chap=D6%20Sea-floor%20integrity&titre\\_page=Implementation#2016331103713](https://mcc.jrc.ec.europa.eu/main/dev.py?N=24&O=202&titre_chap=D6%20Sea-floor%20integrity&titre_page=Implementation#2016331103713)。

<sup>10</sup> 见[www.cbd.int/sp/targets/rationale/target-11/](http://www.cbd.int/sp/targets/rationale/target-11/)。

## 5. 相关可持续发展目标的实现情况<sup>11</sup> 和对爱知生物多样性目标11的贡献

生物多样性和生态系统目前的负面趋势将破坏在实现爱知生物多样性目标11方面取得的进展。该目标包括,通过有效公平管理、具有生态代表性和建立良好联系的保护区和其他有效的划区养护措

施,并将其融入更大范围的地上景观和海上景观中,以便到2020年养护10%对生物多样性和生态系统服务特别重要的沿海和海洋区域。

## 6. 知识和能力建设方面仍然存在的主要差距

### 6.1. 知识差距

- 关于保护区影响的研究仍然有限。
- 审查没有按物种类别细分对海洋生物多样性的影响(例如气候变化、资源开发和污染)。这限制了关于无脊椎动物对人类福祉的价值和重要性的知识。
- 缺乏对中温带、水下洞穴和全球成千上万海山中许多海山的(生态区域或作为生物多样性热点的生境)的基线生物多样性研究。

这段时间里,也只能增加1 000个物种(Glover等人,2018年)。

- 为了增加生物多样性知识和对生态系统的认知,国家定期海洋评估测量船应报告目标和非目标科学渔获量。
- 将海洋综合管理列为优先事项,以便在所有相关活动中协调养护和管理。
- 管理者应制定和实施明确的共同措施,以确定和应对国内和国际水域不断衰落的底栖生物生境。
- 需要开展研究,以确定减少或消失的底栖生物对生态系统的效应,特别是在食物网相互作用背景下的效应。
- 需要开展研究,以确定如果被捕捞的底栖群落消失,对食物供应会有什么效应。
- 评估可能共同影响海洋生物多样性的驱动因素和压力的累积影响。

### 6.2. 实地能力建设方面的差距

- 必须继续在国家层面和国际层面大规模保护海底,维持海底生物多样性,避免物种尚未记录便局部灭绝。
- 目前最紧迫的需要是列出有限捕地域范围(往往出于专门生境需要)的物种清单。在未来十年里,即使每年描述100个分类单位,据一些专家预计,在商业规模的深海采矿开始之前的

## 参考资料

- Betti, F., and others (2020). Effects of the 2018 exceptional storm on the *Paramuricea clavata* (Anthozoa, Octocorallia) population of the Portofino Promontory (Mediterranean Sea). *Regional Studies in Marine Science*, vol. 34, 101037.
- Birchenough, Silvana N.R., and others (2015). Climate change and marine benthos: a review of existing research and future directions in the North Atlantic. In *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, eds. Henning Reiss and others, vol. 6, No. 2, pp. 203–223.
- Clark, Malcolm R., and others (2019). Little evidence of benthic community resilience to bottom trawling on seamounts after 15 years. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 63.

<sup>11</sup> 见大会第70/1号决议。

- Claus, Simon, and others (2014). Marine regions: towards a global standard for georeferenced marine names and boundaries. *Marine Geodesy*, vol. 37, No. 2, pp. 99–125.
- Cooper, K.M., and J. Barry (2017). A big data approach to macrofaunal baseline assessment, monitoring and sustainable exploitation of the seabed. *Scientific Reports*, vol. 7, art. 12431.
- Creed, Joel C., and others (2016). The invasion of the azooxanthellate coral *Tubastraea* (Scleractinia: Dendrophylliidae) throughout the world: history, pathways and vectors. *Biological Invasions*, vol. 19, No. 1, pp. 283–305.
- Cruz, Igor C.S., and others (2018). Marginal coral reefs show high susceptibility to phase shift. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 135, pp. 551–561.
- Deidun, Alan, and others (2015). First characterisation of a *Leiopathes glaberrima* (Cnidaria: Anthozoa: Antipatharia) forest in Maltese exploited fishing grounds. *Italian Journal of Zoology*, vol. 82, No. 2, pp. 271–280.
- Eddy, Tyler D., and others (2017). Ecosystem effects of invertebrate fisheries. *Fish and Fisheries*, vol. 18, No. 1, pp. 40–53.
- EMODnet Bathymetry Consortium (2016). *EMODnet Digital Bathymetry (DTM 2016)*. *EMODnet Bathymetry Consortium*. <https://sextant.ifremer.fr/record/c7b53704-999d-4721-b1a3-04ec60c87238>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2009). International guidelines for the management of deep-sea fisheries in the high seas. Rome. [www.fao.org/in-action/vulnerable-marine-ecosystems/background/deep-sea-guidelines/en/](http://www.fao.org/in-action/vulnerable-marine-ecosystems/background/deep-sea-guidelines/en/)
- Ferrario, Filippo, and others (2014). The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation. *Nature Communications*, vol. 5, art. 3794.
- Flanders Marine Institute (2018). IHO Sea Areas, version 3 (accessed on 25 October 2019). <https://doi.org/10.14284/323>.
- Frölicher, T.L., and Laufkötter, C. (2018). Emerging risks from marine heat waves. *Nature Communications*, vol. 9, art. 650.
- Garbary, David J., and others (2014). Drastic decline of an extensive eelgrass bed in Nova Scotia due to the activity of the invasive green crab (*Carcinus maenas*). *Marine Biology*, vol. 161, No. 1, pp. 3–15.
- García-March, J.R., and others (2007). Preliminary data on the *Pinna nobilis* population in the marine protected area of Rđum Il-Majjiesa to Ras Ir-Raheb (N.W. Malta). Poster presented at the European Symposium on MPAs as a Tool for Fisheries Management and Ecosystem Conservation. Murcia, Spain.
- GEBCO (2015). The GEBCO\_2014 Grid, version 20150318 (accessed on 25 October 2019). [www.gebco.net](http://www.gebco.net).
- Genevier, L.G., and others, 2019. Marine heatwaves reveal coral reef zones susceptible to bleaching in the Red Sea. *Global Change Biology*, vol. 25, No. 7, pp. 2338–2351.
- Gerovasileiou, V., and others (2018). Assessing the regional conservation status of sponges (Porifera): the case of the Aegean ecoregion. *Mediterranean Marine Science*, vol. 19, No. 3, pp. 526–537. <https://doi.org/10.12681/mms.14461>.
- Glover, Adrian G., and others (2018). Point of View: Managing a sustainable deep-sea ‘blue economy’ requires knowledge of what actually lives there. *ELife*, vol. 7, e41319.
- Gobin, J. (2016). Environmental Impacts on Marine Benthic Communities in an Industrialized Caribbean Island–Trinidad and Tobago. *Marine Benthos: Biology, Ecosystem Functions and Environmental Impact*. New York: Nova Science Publishers.
- Grebmeier, Jacqueline M. (2012). Shifting patterns of life in the Pacific Arctic and sub-Arctic seas. *Annual Review of Marine Science*, vol. 4, pp. 63–78.
- Grebmeier Jacqueline, and others (2015). Ecosystem characteristics and processes facilitating persistent macrobenthic biomass hotspots and associated benthivory in the Pacific Arctic. *Progress in Oceanography*, vol. 136, pp. 92–114.

- Hernández-Delgado, E.A., and others (2020). Hurricane Impacts and the Resilience of the Invasive Sea Vine, *Halophila stipulacea*: a Case Study from Puerto Rico. *Estuaries and Coasts*, pp. 1–21.
- Heron, Scott Fraser, and others (2017). *Impacts of Climate Change on World Heritage Coral Reefs: A First Global Scientific Assessment*. Paris: UNESCO.
- Hiddink, Jan Geert, and others (2017). Global analysis of depletion and recovery of seabed biota after bottom trawling disturbance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 114, No. 31, pp. 8301–8306.
- Hiddink, J.G., and others (2019). Assessing bottom trawling impacts based on the longevity of benthic invertebrates. *Journal of Applied Ecology*, vol. 56, No. 5, pp. 1075–1084.
- Hossain, Maruf Md. M. (2010). *Ship Breaking Activities: Threat to Coastal Environment, Biodiversity and Fishermen Community in Chittagong, Bangladesh*. Publication Cell, Young Power in Social Action.
- Hughes, T.P., and others (2018). Large-scale bleaching of corals on the Great Barrier Reef. *Ecology*, vol. 99, No. 2, pp. 501–501.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) (2018a). *Summary for Policymakers of the Regional Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services for Africa of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. eds. E. Archer and others. Bonn, Germany: IPBES secretariat.
- \_\_\_\_\_ (2018b). *Summary for Policymakers of the Regional Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services for Asia and the Pacific of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. eds. M. Karki and others. Bonn, Germany: IPBES secretariat.
- \_\_\_\_\_ (2018c). *Summary for Policymakers of the Regional Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services for the Americas of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. eds. J. Rice and others. Bonn, Germany: IPBES secretariat.
- \_\_\_\_\_ (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. eds. Sandra Díaz and others. Paris: IPBES secretariat.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2019). Summary for Policymakers. In *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. [https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC\\_SPM\\_Approved.pdf](https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC_SPM_Approved.pdf).
- Jørgensen, Lis L., and others (2017). Benthos. In *State of the Arctic Marine Biodiversity Report*, pp. 85–107. Conservation of Arctic Flora and Fauna (CAFF).
- Jørgensen, Lis L., and others (2019). Impact of multiple stressors on sea bed fauna in a warming Arctic. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 608, pp. 1–12.
- Jørgensen, Lis L., and others (2020). Responding to global warming: new fisheries management measures in the Arctic. *Progress in Oceanography*, vol. 188, art. 102423.
- Kelly, S., and others (2000). Spiny lobster, *Jasus edwardsii*, recovery in New Zealand marine reserves. *Biological conservation*, vol. 92, No. 3, pp. 359–369.
- Kenchington, Ellen, and others (2006). Effects of experimental otter trawling on benthic assemblages on Western Bank, northwest Atlantic Ocean. *Journal of Sea Research* vol. 56, pp. 249–270.
- Kenchington, Ellen, and others (2019). Connectivity modelling of areas closed to protect vulnerable marine ecosystems in the northwest Atlantic. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 143, pp. 85–103.
- Kibria, Golam, and others (2016). Trace/heavy metal pollution monitoring in estuary and coastal area of Bay of Bengal, Bangladesh and implicated impacts. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 105, No. 1, pp. 393–402.
- Krumhansl, Kira A., and others (2016). Global patterns of kelp forest change over the past half-century. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, No. 48, pp. 13785–13790.

- Le Nohaïc, Morane, and others (2017). Marine heatwave causes unprecedented regional mass bleaching of thermally resistant corals in northwestern Australia. *Scientific Reports*, vol. 7, art. 14999.
- Ling, Scott D., and John P. Keane (2018). Resurvey of the Longspined Sea Urchin (*Centrostephanus rodgersii*) and associated barren reef in Tasmania. Hobart, Australia: University of Tasmania.
- Lobanov, V. B., and others (2014). Chapter 5. Impact of climate change on marine natural systems, 5.6: Far-Eastern seas of Russia. In *Second Roshydromet Assessment Report on Climate Change and its Consequences in the Russian Federation*. Moscow: ROSHYDROMET. pp. 684–743.
- Lysenko, V.N., and others (2015). The abundance and distribution of the Japanese sea cucumber, *Apostichopus japonicus* (Selenka, 1867) (Echinodermata: Stichopodidae), in nearshore waters of the southern part of the Far Eastern State Marine Reserve. *Russian Journal of Marine Biology*, vol. 41, No. 2, pp. 140–144.
- Mallick, Debbrota, and others (2016). Seasonal variability in water chemistry and sediment characteristics of intertidal zone at Karnafully estuary, Bangladesh. *Pollution*, vol. 2, No. 4, pp. 411–423.
- Mantelatto, Marcelo Checoli, and others (2018). Invasion of aquarium origin soft corals on a tropical rocky reef in the southwest Atlantic, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 130, pp. 84–94.
- Matheson, K., and others (2016). Linking eelgrass decline and impacts on associated fish communities to European green crab (*Linnaeus 1758*) invasion. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 538, pp. 31–45.
- McCauley, Douglas J., and others (2015). Marine defaunation: Animal loss in the global ocean. *Science*, vol. 347, No. 6219, 1255641.
- Meehan, Mairi C., and others (2020). How far have we come? A review of MPA network performance indicators in reaching qualitative elements of Aichi Target 11. *Conservation Letters*, e12746.
- Mifsud, C., and others (2006). The distribution and state of health of *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows along the Maltese territorial waters. *Biologia Marina Mediterranea*, vol. 13, No. 4, pp. 255–261.
- Miller, Kathryn A., and others (2018). An overview of seabed mining including the current state of development, environmental impacts, and knowledge gaps. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 418.
- Molla, H.R., and others (2015). Spatio-temporal variations of microbenthic annelid community of the Karnafuli River Estuary, Chittagong, Bangladesh. *International Journal of Marine Science*, vol. 5, No. 26, pp. 1–11.
- Neves, R.A.F., and others (2013). Factors influencing spatial patterns of molluscs in a eutrophic tropical bay. *Marine Biological Association of the United Kingdom. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, vol. 93, No. 3, pp. 577–589.
- Nosova, Tatyana, and others (2018). Structure and long-term dynamics of zoobenthos communities in the areas of scallop *Chlamys islandica* beds at Kola Peninsula. *Izvestiya TINRO*, vol. 194, pp. 27–41. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2018-194-27-41>.
- OBIS (2019). Ocean Biogeographic Information System. 2019. [www.obis.org](http://www.obis.org).
- Pecl, Gretta, and others (2014). Redmap: ecological monitoring and community engagement through citizen science. *Tasmanian Naturalist*, vol. 136, pp. 158–164.
- Pessoa, L.A., and others (2019). Intra-annual variation in rainfall and its influence of the adult's *Cyprideis* spp. (Ostracoda, Crustacea) on a eutrophic estuary (Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil). *Brazilian Journal of Biology*, (AHEAD).
- Provoost, Pieter, and Samuel Bosch (2018). obistools: Tools for data enhancement and quality control. Ocean Biogeographic Information System. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. <https://cran.r-project.org/package=obistools>.
- Rabaoui, Lotfi, and others (2015). Occurrence of the lessepsian species *Portunus segnis* (Crustacea: Decapoda) in the Gulf of Gabes (Tunisia): first record and new information on its biology and ecology. *Cahiers de Biologie Marine*, vol. 56, No. 2, pp. 169–175.

- Ramalho, Sofia P., and others (2018). Bottom-trawling fisheries influence on standing stocks, composition, diversity and trophic redundancy of macrofaunal assemblages from the West Iberian Margin. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 138, pp. 131–145.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2011). Strategic plan for biodiversity 2011–2020: Provisional technical rationale, possible indicators and suggested milestones for the Aichi Biodiversity Targets. Japan: Nagoya.
- Simboura, N., and others (2014). Benthic community indicators over a long period of monitoring (2000–2012) of the Saronikos Gulf, Greece, Eastern Mediterranean. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 186, No. 6, pp. 3809–3821.
- Snelgrove, P.V.R., and others (1997) The importance of marine sediment biodiversity in ecosystem processes, *Ambio*, vol. 26, pp. 578–583.
- Officer, C.B., and others (1982). Benthic filter feeding: a natural eutrophication control. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 9, pp. 203–210.
- Stuart-Smith, Rick D., and others (2018). Ecosystem restructuring along the Great Barrier Reef following mass coral bleaching. *Nature*, vol. 560, pp. 92–96.
- Tsiamis, Konstantinos, and others (2019). Non-indigenous species refined national baseline inventories: A synthesis in the context of the European Union’s Marine Strategy Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 145, pp. 429–435.
- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Valiela, Ivan (1995). *Marine Ecological Processes*. New York, Springer-Verlag, second edition.
- Vandepitte, Leen, and others (2018). A decade of the World Register of Marine Species—General insights and experiences from the Data Management Team: Where are we, what have we learned and how can we continue? *PloS One*, vol. 13, No. 4, e0194599.
- Wang, H.J., and others (2018). The characteristics and changes of the species and quantity of macrobenthos in Yueqing Bay. *Marine Sciences*, vol. 6, pp. 78–87 (中文版, 摘要为英文).
- Warchol, Greg, and Michael Harrington (2016). Exploring the dynamics of South Africa’s illegal abalone trade via routine activities theory. *Trends in Organized Crime*, vol. 19, No. 1, pp. 21–41.
- WoRMS Editorial Board (2019). WoRMS – World Register of Marine Species. [www.marinespecies.org](http://www.marinespecies.org). <https://doi.org/10.14284/170>.
- Yesson, Chris, and others (2016). The impact of trawling on the epibenthic megafauna of the west Greenland shelf. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 74, No. 3, pp. 866–876.
- Zakharov Denis V., and others (2018). Diet of the snow crab in the Barents Sea and macrozoobenthic communities in the area of its distribution. *Trudy VNIRO*. vol. 172, pp. 70–90 (俄文版).
- Zalota, Anna K., and others (2018). Development of snow crab *Chionoecetes opilio* (Crustacea: Decapoda: Oregonidae) invasion in the Kara Sea. *Polar Biology*, vol. 41, No. 10, pp. 1983–1994.

## 海洋环境状况(包括社会经济方面问题)全球报告和评估经常程序专家组的增编

### 中上层无脊椎动物的现状：头足纲

在经国际自然保护联盟(自然保护联盟)审议的750个物种中，只有一种被列为极危物种，两种被列为濒危物种，另外两种被列为易危物种，所有这些物种都是深海伞章鱼(自然保护联盟，2020年)。

然而，超过419个物种被认为缺乏数据，其中包括许多深海生物(自然保护联盟，2020年)。2017年将10种鸚鵡螺列入《濒危野生动植物种国际贸易公约》附录二，以规范所涉国际贸易。

虽然关于许多深海生物的信息仍然很少，但最近深海研究的进展增加了人们对深海头足纲动物的生态学和生物学认知。据记录，在太平洋中部，有一次罕见地观察到手枪鱿属深海鱿鱼的交配和繁殖行为(Vecchione, 2019年)。2019年在墨西哥湾拍摄到的巨乌贼样本是最大(最长可达13米)也是最神秘的物种之一，这是自2012年首次观察到该物种以来，仅第二次记录该物种。对来自北太平洋、大西洋和大洋洲的43个样本的线粒体DNA进行分析后支持这样的假设，即这些巨乌贼属于同一物种(大王鱿)(Winkelmann等人，2013年)。通过稳定

同位素分析确定了吸血乌贼(幽灵蛸)摄食策略在个体发育过程中的变化(Golikov等人，2019年)。

最近的研究发现，在不同的海洋区域，具有不同生物和生态策略(底层、近底层和中上层)的数十种头足纲物种的捕获率均有持续了数十年的增长趋势(Doubleday等人，2016年)。这种增殖是因为它们生长快速，发育灵活，因而对环境波动具有高度适应能力和韧性。例如，一直认为加利福尼亚洋流系统最低含氧层变窄使得洪堡乌贼(美洲大赤鱿)的摄食条件得以优化。这使得该物种得以蓬勃发展，并将分布范围向北扩展至阿拉斯加湾(Stewart等人，2014年)。据认为，北海自1980年代中期起到2010年代中期的变暖趋势使得若干鱿鱼物种总体丰度增加，分布范围向北扩大(van der Kooij等人，2016年)。今后北冰洋变暖可能会促使欧洲墨鱼(普通墨鱼)跨北极分布，到2300年时扩展至加拿大北部水域(Xavier等人，2016年)。在澳大利亚水域，因东澳大利亚洋流向极地延伸而变暖的海水正在促进暗黑章鱼(郁蛸)分布范围的扩大(Ramos等人，2018年)。

### 参考资料

- Doubleday, Zoë A., and others (2016). Global proliferation of cephalopods. *Current Biology*, vol. 26, No. 10, pp. R406–R407.
- Golikov, Alexey V., and others (2019). The first global deep-sea stable isotope assessment reveals the unique trophic ecology of vampire squid *Vampyroteuthis infernalis* (Cephalopoda). *Scientific Reports*, vol. 9, No. 1, art. 19099. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55719-1>.
- International Union for Conservation of Nature (IUCN) (2020). *The IUCN Red List of Threatened Species*. [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org).
- Ramos, Jorge E., and others (2018). Population genetic signatures of a climate change driven marine range extension. *Scientific Reports*, vol. 8, art. 9558. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27351-y>.
- Stewart, Julia S., and others (2014). Combined climate- and prey-mediated range expansion of Humboldt squid (*Dosidicus gigas*), a large marine predator in the California current system. *Global Change Biology*, vol. 20, No. 6, pp. 1832–1843. <https://doi.org/10.1111/gcb.12502>.
- Van der Kooij, Jeroen, and others (2016). Climate change and squid range expansion in the North Sea. *Journal of Biogeography*, vol. 43, No. 11, pp. 2285–2298. <https://doi.org/10.1111/jbi.12847>.

- Vecchione, Michael (2019). ROV observations on reproduction by deep-sea cephalopods in the central Pacific Ocean. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 403. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00403>.
- Winkelmann, Inger, and others (2013). Mitochondrial genome diversity and population structure of the giant squid *Architeuthis*: genetics sheds new light on one of the most enigmatic marine species. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 280, No. 1759, 20130273. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.0273>.
- Xavier, José C., and others (2016). Climate change and polar range expansions: could cuttlefish cross the arctic? *Marine Biology*, vol. 163, No. 4, art. 78. <https://doi.org/10.1007/s00227-016-2850-x>.



# 第 6C 章

# 鱼类

撰稿人: Thomas J. Webb (召集人)、Maria José Juan-Jordá、Hiroyuki Motomura、Francisco Navarrete-Mier、Henn Ojaveer (分章牵头成员)、Hazel A. Oxenford、Chul Park (本章牵头成员)、Clive Roberts、Mudjekeewis D. Santos、Tracey Sutton和Michael Thorndyke。



## 主旨要点

- 通过运用现有数据、开发工具并制定开放的全球储存库, 提供了海洋鱼类多样性的全球图景, 其中包含17 762个已知物种, 包括自《第一次世界海洋评估》(联合国, 2017年e)以来描述的238个物种。
- 虽然对海洋鱼类生物多样性的了解超过了对许多其他海洋类群的了解, 但无论是在分类学和生物系统基础设施方面, 还是在海洋的探索和特征归纳方面仍需要进一步改进, 以实现完整的盘点。
- 国际自然保护联盟(自然保护联盟)对超过一半的已知海洋鱼类物种的养护状况进行了评估, 其中约三分之一的评估是在《第一次评估》之后进行的。
- 在进行了养护评估的鱼类物种中, 大约6%的硬骨鱼、近50%的板鳃纲、10%的银鲛和全部两种腔棘鱼都面临灭绝或接近灭绝威胁。
- 记录和认知海洋鱼类多样性的能力继续增强, 但在某些生态系统类群(例如中深海层鱼类)方面以及在预测同时面对多重外部压力因素时可能出现的反应方面仍然存在重大差距。

## 1. 导言

本分章涵盖海洋鱼类的分类、分布、生境和养护状况, 着重讨论自《第一次评估》以来整体知识状况如何发生变化, 简要讨论了鱼类多样性的不断改变对人类产生了何种影响, 并提供了针对特定区域的视角。本章最后提出了对鱼类生物多样性、包括在知识和能力方面继续存在的差距的看法。《世界海洋物种目录》鱼形总纲下全部17 762种分类有效的物种(《世界海洋物种名录》, 2019年)都被考虑在内, 包括硬骨鱼(辐鳍纲, 16 503个物种)、鲨鱼和鳐鱼(板鳃纲, 1 202个物种)、银鲛(全头纲, 55个物种)和腔棘鱼(腔棘纲, 2个物种)。

全球海洋鱼类的生物量大约是所有鸟类和哺乳动物总生物量的四倍(Bar-On等人, 2018年), 鱼类是海洋生物多样性的重要组成部分。尽管估计数差别幅度大, 但海洋鱼类生物量的大约70%由中深海层鱼类组成, 生活在200至1 000米深处(Irigoien等人, 2014年; Hidalgo和Browman, 2019年)。鱼类遍布世界各地的海洋, 生活在海洋各种深度中。例如, 观察到存活在最大深度的鱼是钝口拟狮子鱼, 于2017年正式描述, 发现于太平洋马里亚纳海沟内深度超过8 000米的地方(Linley等人, 2016年; Gerringer等人, 2017年)。鱼类在海洋食物网中扮演着关键角色, 既作为掠食鱼也作为被食鱼, 在整个生命过程往往贯穿食物网移动, 例如从浮游幼鱼发育为掠食性成鱼。不同生境的鱼类生物多

样性各不相同。世界鱼类数据库(FishBase)生物多样性信息系统中17 246个物种(占有已知物种的97%)的生境关联情况显示, 大多数硬骨鱼为底栖或与珊瑚礁有关联, 而鲨鱼和鳐鱼、银鲛和腔棘鱼的大多数物种则为底栖或深海底栖(见表1)。

鱼类生物多样性正在发生变化, 鱼类对多重外部压力造成的环境变化(Comte和Olden, 2017年)并对渔业开发(见第15章)非常敏感, 这对人类福祉具有重要影响(联合国粮食及农业组织(粮农组织), 2018年)。《第一次评估》的一些章节谈到了1 088种鲨鱼和其他板鳃纲(联合国, 2017年c)以及25种金枪鱼和长咀鱼(同上, 2017年d)面临的养护挑战。此外, 《第一次评估》在总括性综合章节中指出, 鱼类是最为人所知的海洋类群之一(同上, 2017年a、b), 在多样性方面具有明显的纬度梯度和深度梯度。促进鱼类多样性的机制很复杂, 包括生态系统稳定性和年龄、生态位划分和在掠食鱼调节下的支配优势度降低等(Rabosky等人, 2018年)。

最近有研究将过度捕捞、生境丧失和退化确定为对海洋鱼类生物多样性的主要威胁, 虽然气候变化的影响已经变得更加明显, 但未将污染视为重大威胁(Arthington等人, 2016年)。之后, 有证据表明, 科学评估和有效的渔业管理可以扭转过度捕捞的影响, 让得到良好管理、占全球所报告渔获

量一半的种群的丰度平均而言得以增加, 尽管过度捕捞在渔业管理欠发达地区仍然是一个重大威胁(Hilborn等人, 2020年)。气候变化和热应力给海洋鱼类, 特别是珊瑚礁鱼类群落带来的影响变得

更加严重(Robinson等人, 2019年), 而微塑料污染等新威胁现在也不断引起更大的研究兴趣, 即便其对种群水平的效应仍然存在相当大的不确定性(Villarrubia-Gómez等人, 2018年)。

表1

按照《世界海洋物种目录》分类的每个鱼类纲目在每个生境大类别中的有效海洋物种数量

生境	纲目							
	辐鳍纲		板鳃纲		全头纲		腔棘纲	
	现存物种数量	2015年以来描述数量	现存物种数量	2015年以来描述数量	现存物种数量	2015年以来描述数量	现存物种数量	2015年以来描述数量
深海底栖	1 785 (11%)	4	314 (26%)	2	38 (69%)	-	-	-
底栖	5 691 (34%)	11	449 (37%)	5	11 (20%)	3	2 (100%)	-
近底层	1 422 (9%)	18	131 (11%)	13	4 (7%)	-	-	-
次深海层	1 346 (8%)	3	33 (3%)	1	2 (4%)	-	-	-
中上层—浅海	807 (5%)	38	34 (3%)	10	-	-	-	-
中上层—大洋	378 (2%)	1	83 (7%)	11	-	-	-	-
与珊瑚礁关联	4 618 (28%)	93	98 (8%)	1	-	-	-	-
不详	456 (3%)	22	60 (5%)	2	-	-	-	-
共计	共计	190	1202	45	55	3	2	-

## 2. 鱼类生物多样性状况有案可查的变化

记录鱼类生物多样性的变化需要考虑鱼类分类, 包括对新物种的描述; 分布范围, 可以使用出现记录来评估, 以揭示分布范围的收缩或扩张; 对养护状况的正式评估, 以着重指出引起养护关切的物

种。对出现在类似生境区域的较高分类群以及物种群的研究结果加以汇总也是必要的。表2列出了用于量化所有这些变化方面的原始数据来源。

表2

全球海洋鱼类数据汇总的主要类型

数据类型	来源	参考
分类和系统	《世界海洋物种目录》加利福尼亚科学院 Eschmeyer鱼类名录	《世界海洋物种名录》编辑委员会, 2019年; van der Laan等人, 2019年 Fricke等人, 2020年
全球物种出现数据	海洋生物多样性信息系统(OBIS)	OBIS, 2018年
生境关联	世界鱼类数据库	Froese和Pauly, 2019年。
养护状态	自然保护联盟濒危物种红色名录	自然保护联盟, 2019年

## 2.1. 分类学

自2015年以来描述了238个新的海洋鱼类物种,并添加至《世界海洋物种目录》(见表1)。新描述的硬骨鱼中有将近一半(49%)与珊瑚礁相关,而大多数新描述的板鳃纲栖息在中上层(见表1)。与1999年至2013年期间每天描述一个物种的速度相比,这一描述速度仅约为当时的七分之一至六分之一(联合国,2017年a)。最近对硬骨鱼(Rabosky等人,2018年)以及鲨鱼、鳐鱼和银鲛(Stein等人,2018年)的系统发育学研究补充了这项分类工作。

## 2.2. 物种出现

鱼类继续在全球物种出现数据库中得到大量记录,有助于深入了解分布状况、生物地理学并进行宏观生态分析。总体而言,海洋生物多样性信息系统(OBIS)(OBIS,2018年)中有15 101种海洋鱼类物种的20 302 222次出现记录,在所有物种出现记录中鱼占三分之一以上。目前,OBIS提供了85%的硬骨鱼、84%的板鳃纲、78%的银鲛以及仅有的两种腔棘鱼其中一种的物种出现记录。自《第一次评估》以来,共增加了306 913条物种出现新记录,涵盖4 099种(23%)鱼类,其中包括3 857种(23%)硬骨鱼(共241 385条物种出现新记录)、233种(19%)鲨鱼和鳐鱼(65 480条新记录)、8种(15%)银鲛(46条新记录)以及仅有的两种腔棘鱼其中一种(2条新记录)。自2015年以来,OBIS记录了76个物种(68种硬骨鱼和8种板鳃纲)的首次物种出现记录(共153条物种出现记录)。这些物种主要是底栖物种(32种)或与珊瑚礁相关联的物种(13种)。自《第一次评估》以来添加到《世界海洋物种目录》的238个物种中,有5种已经在OBIS中有物种出现记录。

## 2.3. 养护状况

就养护状况而言,海洋鱼类属于经过充分评估的海洋分类类群(Webb和Mindel,2015年)。自然保护联盟在2019年红色名录(自然保护联盟,2019年)中对所有海洋鱼类的53%(9 372种)进行了评

估,44%(7 756种)被归入“数据缺乏”以外的类别。<sup>1</sup>在所有对海洋鱼类的评估中,32%(3 008种)发生在《第一次评估》(2015年)之后。到目前为止,由于自《第一次评估》以来没有重新评估过海洋鱼类物种,因此尚不能使用自然保护联盟红色名录评估单个物种状况的变化。不过,图3按分类学纲目、图4按生境关联列示了物种在每个威胁类别中所占的比例。用于预测归类为“数据缺乏”的物种养护状况的生态学方法和基于特征的方法表明,至少就欧洲水域发现的鲨鱼和鳐鱼而言,这一类别中大约一半到三分之二的物种也应被视为有灭绝风险(Walls和Dulvy,2019年)。最近的证据表明,鲨鱼平均每月使用的空间中有24%属于中上层延绳钓作业区域,在目前捕捞努力水平下,中上层鲨鱼在国家管辖范围以外区域可供避险的空间有限(Queiroz等人,2019年)。

## 2.4. 有助评估状态变化的知识和能力进步

对自《第一次评估》以来状态变化的评估得益于以下方面:持续的长期监测方案中获得的新数据(例如国际海洋考察理事会(海考会)的国际底拖网调查);渔业观察员对科学数据收集的贡献;全球鱼类资源评估(例如RAM遗留种群评估数据库)和养护评估(例如2019年自然保护联盟红色名录)汇编;技术改进,从而得以在新环境中采样(Linley等人,2016年);使用卫星标记监测个体活动(Curtis等人,2018年)。商船和科考船加大了深水捕捞活动(至1 200米),再加上浅水采样增加,关于鱼类多样性的知识得以大幅提高,从而在一些区域发现了许多隐秘的珊瑚礁鱼类物种(Gordon等人,2010年)。为评估提供支撑的数据基础设施(如《世界海洋物种目录》、OBIS和海考会数据门户)得到了新的分析工具的补充,使用户能够通过计算机程序与数据来源互动(Boettiger等人,2012年;Chamberlain,2018年;Chamberlain和Salmon,2018年;Provoost和Bosch,2019年;Millar等人,2019年)。这些新发展和工具有助于利用海洋鱼类数据产品作为海洋生态系统状况的指标(海考会,2018年、2019年)。

<sup>1</sup> 搜索的重点是辐鳍纲、头甲鱼纲、软骨鱼纲、盲鳗纲和肉鳍纲在全球范围的物种,包括海洋远洋、海洋深海底栖、海洋潮间带、海洋沿岸和潮上带或海洋浅海生境,以确保纳入《世界海洋物种目录》鱼纲下的所有物种(见 [www.iucnredlist.org/search?permalink=c53bbf34-fec3-4549-8a83-d7630d2bc6bd](http://www.iucnredlist.org/search?permalink=c53bbf34-fec3-4549-8a83-d7630d2bc6bd))。

**表3**  
**自然保护联盟每个灭绝风险分类中的海洋鱼类物种数量，按纲目列示**

自然保护联盟类别	纲目											
	辐鳍纲			板鳃纲			全头纲			腔棘纲		
	第一次评估前	第一次评估后	共计	第一次评估前	第一次评估后	共计	第一次评估前	第一次评估后	共计	第一次评估前	第一次评估后	共计
无危	4 642	2 071	6 713 (80.6%)	117	201	318 (31.8%)	9	16	25 (54.3%)	-	-	-
近危	70	27	97 (1.2%)	85	22	107 (10.7%)	2	-	2 (4.3%)	-	-	-
易危	171	39	210 (2.5%)	80	27	107 (10.7%)	-	1	1 (2.2%)	1	-	1 (50%)
濒危	45	18	63 (0.8%)	29	15	44 (4.4%)	-	-	-	-	-	-
极危	25	2	27 (0.3%)	14	24	38 (3.8%)	-	-	-	1	-	1 (50%)
野外灭绝或灭绝	2	-	2 (0.02%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
数据缺乏	746	467	1 213 (14.6%)	310	75	385 (38.5%)	15	3	18 (39.1%)	-	-	-
共计	共计	2 624 (15.9%)	8 325	635 (52.5%)	364 (30.1%)	999	26 (47.3%)	20 (36.4%)	46	2 (100%)	0 (0%)	2

注：“《第一次评估》前”指2015年前最后一次评估的物种数量，“《第一次评估》后”指自2015年以来评估的物种数量。还列示了每一纲目在自然保护联盟各类别的物种总数，以及每一纲目所有经评估物种在各类别中所占百分比。最后一行列示了每个纲目在《第一次评估》之前和之后得到评估的物种总数，以及该纲目中已评估的所有物种所占百分比。

**表4**  
**自然保护联盟每个灭绝风险类别中的海洋鱼类物种数量, 按生境关联列示**

	未评估		数据缺乏		不受威胁		受威胁	
	物种数目	占有已知物种的百分比	物种数目	经自然保护联盟评估的物种百分比	物种数目	经自然保护联盟评估的物种百分比	物种数目	经自然保护联盟评估的物种百分比
深海底栖	1 325	61.9	285	34.9	491	60.1	41	5.0
底栖	3 060	49.7	617	19.9	2 169	69.9	317	10.2
近底层	936	60.0	124	19.8	440	70.4	61	9.8
次深海层	594	42.7	140	17.6	452	81.9	4	0.5
中上层—浅海	351	41.6	120	24.4	335	68.1	37	7.5
中上层—大洋	187	40.5	41	14.9	202	73.5	32	11.6
与珊瑚礁关联	1 561	33.0	262	8.3	2 712	85.5	198	6.2
不详	425	82.2	27	29.3	55	59.8	10	10.9

注: 归类为“未评估”的物种百分比是指具有特定生境关联、但未经自然保护联盟评估的所有已知物种所占百分比。其他纵列中的百分比是经自然保护联盟评估的物种在各类别中所占的百分比。自然保护联盟的“无危”和“较低风险/无危”类别合并至“不受威胁”项下, 而“近危”、“易危”、“濒危”、“极危”、“野外灭绝”和“灭绝”类别则合并至“受威胁”项下。

### 3. 生物多样性变化对人类社区、经济和福祉的影响

鱼类生物多样性的变化影响了商业性、休闲性和自给性渔业, 也影响了旅游业等源于海洋生态系统的其他收入来源, 进而对人类社区、经济和福祉产生立竿见影的直接后果(粮农组织, 2018年)。鱼类对于实现养护和可持续利用海洋资源的可持续发展目标14是不可或缺的,<sup>2</sup>其中有若干指标与鱼类在可持续粮食供应中发挥的作用直接相关(见

第15章)。值得一提的是, 加深对海洋鱼类分布和丰度的了解是监测实现具体目标14.4(有效规范捕捞活动)进展情况的关键。通过旅游业增加小岛屿发展中国家和最不发达国家获得的经济收益(具体目标14.7)意味着了解蝠鲞等充满魅力的鱼类物种(Kessel等人, 2017年)或珊瑚礁鱼等鱼类群落(Wabnitz等人, 2018年)的分布和状况。

## 4. 特定区域的主要变化和后果

### 4.1. 北大西洋

在北大西洋及毗邻区域, 2003至2017年期间鱼类种群所受的压力总体呈下降趋势, 捕捞死亡系数中位数稳定在1.0。地中海和黑海的压力指数(F/F<sub>msy</sub>)保持在2.2。安全生物界限内的种群数量几乎翻了一番, 从2003年的15种增至2017年的29

种, 其中比斯开湾和伊比利亚水域增幅最大——从2种增至8种。总体生物量继续往积极方向发展, 增加了约36%。在地中海和黑海, 2016年的产卵群生物量与2003年相比没有显著增加。在西北大西洋, 过度捕捞导致鳕鱼和鲑鱼种群崩溃, 鱼类群落结构发生了显著变化(Shelton和Sinclair, 2008年; Van Beveren等人, 2020年)。

<sup>2</sup> 见大会第70/1号决议。

在波罗的海，1971年至2013年间观察到功能多样性和多特征群落组成方面出现的变化并非突然出现，而是长期渐进的趋势(Törnroos等人，2018年)。波罗的海自西向东含盐量阶梯式急剧减少，沿着这一梯度分布着三个亚群落，而与其他亚区相比，波罗的海本身的功能冗余性较低，表明生态系统更容易受到外部压力的影响(Frelat等人，2018年)。在北海，分类学指标和基于特征的指标提供了鱼类群落结构的新证据，并凸显了造成这些变化的驱动因素的多方面影响。具体而言，北海中部的群落规模结构随着捕捞的变化而减少，挪威海沟地区的群落规模结构增加则主要与气候变化有关，而苏格兰东部海岸的群落规模结构与净初级生产量密切相关，在那里没有观察到群落规模结构的变化(Marshall等人，2016年)。在地中海，中小型中上层鱼类种群的动态与气候变化同步：北大西洋涛动影响着地中海西部和中部的种群动态，而地中海东部和中部的鳀鱼和沙丁鱼种群则顺应大西洋年代际涛动的信号。因此，地中海中上层鱼类在时间上的动态呈现出显著的次区域模式(Tsikliras等人，2019年)。

## 4.2. 南大西洋

大加勒比区域生物多样性很丰富，是拥有大量特有鱼类的重要区域，该区域有50%的硬骨鱼为此地特有(Linardich等人，2017年)。各式各样的海洋特征和水文特征产生了一系列亚热带和热带生境，包括世界上8%的珊瑚礁和6%的海山(Oxenford和Monnereau，2018年)。鱼类生物多样性受到过度捕捞、生境破坏(尤其是珊瑚礁)和气候变化的负面影响(Jackson等人，2014年；Oxenford和Monnereau，2018年)。若干大型鱼类物种已经商业性灭绝或处于极危状态(Linardich等人，2017年)。鱼类生物多样性的减少正在影响加勒比珊瑚礁的功能运作(Lefcheck等人，2019年)，带来社会经济后果，特别是对小岛屿发展中国家而言，因为那里高达22%的劳动力就业于渔业部门(Edwards和Yarde，2019年)。

一个重要的新现象是赤道大西洋上出现了前所未有的中上层马尾藻藻华，自2011年以来不

停流入加勒比海(Wang等人，2019年)。这对近岸的关键鱼类生境和相关的鱼类生物多样性产生了负面影响(van Tussenbroek等人，2017年；Rodríguez-Martínez等人，2019年)，但对一些与中上层珊瑚礁关联物种产生了积极影响：这些物种的数量增加了，目前正在为渔业提供支撑(例如巴氏若鲹和长鳍鲷)(Ramlogan等人，2017年；Monnereau和Oxenford，2017年)。近海中上层鱼类的上岸量似乎受到马尾藻的干扰，其中一些更容易捕获，但通常是幼体(例如鳀鱼)，而其他物种(例如斑翼文鳐鱼)则更难捕获(Oxenford等人，2019年；加勒比区域渔业机制—日本国际协力机构，2019年)。

## 4.3. 北太平洋

北太平洋从北冰洋延伸至热带水域，拥有世界上最丰富的鱼类物种多样性，有6 000多个物种。这种丰富的多样性是由沿西北大陆架向北和向南流动的强大洋流衍生和支持的。这种洋流既可转移鱼类，也可隔离鱼类种群，从而促进了物种形成(Motomura，2019年)。北部区域是一个主要渔场，贡献了全球渔获量的约30%，主要捕捞对象为狭鳕、金枪鱼、沙丁鱼和鳀鱼。南部区域包括被认定为海洋生物多样性热点的珊瑚礁三角区北部，拥有的海岸鱼类物种比全球任何其他大型海区都要丰富(Roberts等人，2002年)。南部区域的大多数鱼类与珊瑚礁关联，由于巨大的捕捞压力和生境退化而出现种群数量下降(Nañola等人，2011年)。

## 4.4. 南太平洋

南太平洋包括若干个生物多样性极为丰富的热带、亚热带和温带海洋生态系统，它们直接受到厄尔尼诺/南方涛动和季风的调节。初级生产量的年际变化很大，因而海洋鱼类种类丰富，包括珊瑚鱼、中上层鱼种和高度洄游鱼种(例如金枪鱼、鲨鱼和鳐鱼)。该区域的鱼类生物多样性受到小型中上层鱼类、鲨鱼和金枪鱼捕捞(包括兼捕渔获物)的影响，也受到气候变化和污染的影响，这威胁到幼鱼生境，并将物种从热带水域驱赶至温带水域。红树

林等战略生境遭到破坏可能会改变利用这些区域进行繁殖和觅食的鱼类物种的分布和丰度。

西南太平洋的海底洋脊和海山链等已勘探区域为丰富的海洋鱼类多样性提供支持(Clark和Roberts, 2008年; Roberts人, 2015年)。西南太平洋北部的美拉尼西亚和波利尼西亚热带岛屿鱼类物种主要来自印度—西太平洋, 具有高度多样性, 但特有程度相对较低。相比之下, 新喀里多尼亚(法属)是鱼类特有性的中心, 2 341种经记录物种

中有107种为该专属经济区特有(Fricke等人, 2011年; 2015年)。在新西兰沿岸海域, 已知的海洋鱼类物种已从1993年的约1 000种增加到2019年的超过1 294种(Roberts和Paulin, 1997年; Roberts等人, 2015年、2019年), 其中22%为新西兰地区特有物种, 占科学上新发现物种的一半。澳大利亚位于上述热带群岛的西南方, 横跨两个主要大洋的交界处, 是大约2 000种已知海洋鱼类物种的家园。

## 5. 展望

对鱼类生物多样性前景抱持积极态度是因为有证据表明, 有成效的渔业管理对单个鱼类种群产生了积极效果(Hilborn等人, 2020年), 有成效的海洋保护区内的鱼类多样性和生物量得以增加(Sala和Giakoumi, 2017年)。然而, 单翼合鳍躑鱼的全球灭绝>Last等人, 2020年)提醒人们, 鱼类生物多样性仍继续面临重大威胁。积极和消极结果均已为人所知, 因为鱼类主要因其经济价值而一直是海洋生态系统中得到最为系统的研究和监测的物种之一。尽管如此, 仍有相当大的鱼类多样性有待发现: 专家估计表明, 仅新西兰专属经济区和扩展大陆架就至少还有另外700个鱼类物种(大约比目前已知物种数量多50%)有待描述(Gordon等人, 2010年; Roberts等人, 2019年)。分类学和生物系统分类学能力的进一步提高(分类学十年计划工作组, 2018年)以及现有生物多样性文献集(Nelson等人, 2015年)和其他来源(Edgar等人, 2016

年)数据的整合, 将为近期至中期对鱼类生物多样性进行更全面的综合分析铺平道路。除了提高我们对鱼类生物多样性的认知外, 还需要改进对某些海洋区域(如远洋区)的鱼类生物量估计。虽然据估计中深海层鱼类在全球鱼类生物量中占主导地位, 但关于中深海层鱼类生物量的各种估计数之间差距较大, 跨度达若干个数量级, 因此, 对于这一类群对全球模式的确切影响仍然知之甚少(Irigoien等人, 2014年; Hidalgo和Browman, 2019年)。此外, 虽然目前没有对生活在世界上最大的环境(以体积计)中的次深海层鱼类物种丰度或生物量进行估计, 但这些鱼类极有可能构成全球鱼类生物量的一大部分(Sutton等人, 2017年)。自《第一次评估》以来, 提取矿石后的深海海底采矿废水排放已成为对次深海层鱼类的重大威胁(Drazen等人, 2019年)。表5总结了鱼类生物多样性方面的关键知识和能力差距。

**表5**  
**对海洋鱼类生物多样性认知上的主要差距**

知识和能力建设差距	为弥合差距而采取的补救措施的例子
分类学和生物系统分类学基础设施和能力	支持和发展核心分类活动、劳动力和基础设施的国家和国际计划(如分类学十年计划工作组, 2018年)
将现有数据纳入开放的全球数据储存库中	历史数据抢救、博物馆标本和生物多样性历史文献数字化(例如Faulwetter等人, 2016年)
对中深海层和深海鱼类多样性的认知	更多更好的采样制度, 采用新技术(例如Linley等人, 2016年; Hidalgo和Browman, 2019年)。
鱼类对多种同时存在的压力源的反应	各学科相关数据更好地挂钩(例如Hodgson等人, 2019年)

## 参考资料

- Arthington, Angela H., and others (2016). Fish conservation in freshwater and marine realms: status, threats and management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 26, No. 5, pp. 838–857.
- Bar-On, Yinon M., Rob Phillips, and Ron Milo (2018). The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, No. 25, pp. 6506–6511. <https://doi.org/10.1073/pnas.1711842115>.
- Boettiger, Carl, and others (2012). rfishbase: exploring, manipulating and visualizing FishBase data from R. *Journal of Fish Biology*, vol. 81, No. 6, pp. 2030–2039.
- Caribbean Regional Fisheries Mechanism-Japan International Cooperation Agency (2019). *Fact-Finding Survey Regarding the Influx and Impacts of Sargassum Seaweed in the Caribbean Region*. Belize City: Caribbean Regional Fisheries Mechanism.
- Chamberlain, Scott (2018). *worms: World Register of Marine Species (WoRMS) Client* (version 0.4.0). <https://CRAN.R-project.org/package=worms>.
- Chamberlain, Scott, and M. Salmon (2018). *rredlist: IUCN Red List Client*. R Package. 0.6.0. <https://CRAN.R-project.org/package=rredlist>.
- Clark, Malcolm R., and Clive Roberts (2008). *Fish and Invertebrate Biodiversity on the Norfolk Ridge and Lord Howe Rise, Tasman Sea (NORFANZ Voyage, 2003)*. Wellington: Ministry of Fisheries.
- Comte, Lise, and Julian D. Olden (2017). Climatic vulnerability of the world's freshwater and marine fishes. *Nature Climate Change*, vol. 7, pp. 718–722.
- Curtis, Tobey H., and others (2018). First insights into the movements of young-of-the-year white sharks (*Carcharodon carcharias*) in the western North Atlantic Ocean. *Scientific Reports*, vol. 8, art. 10794.
- Drazen, Jeffrey C., and others (2019). Report of the workshop Evaluating the nature of midwater mining plumes and their potential effects on midwater ecosystems. *Research Ideas and Outcomes*, vol. 5, e33527. <https://doi.org/10.3897/rio.5.e33527>.
- Edgar, Graham J., and others (2016). New approaches to marine conservation through the scaling up of ecological data. *Annual Review of Marine Science*, vol. 8, pp. 435–461.
- Edwards, Thera, and Thérèse Yarde (2019). *The State of Biodiversity in the Caribbean Community: A Review of Progress Towards the Aichi Biodiversity Targets*. Caribbean Community Secretariat.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2018). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018: Meeting the Sustainable Development Goals*. Rome.
- Frelat, Romain, and others (2018). A three-dimensional view on biodiversity changes: spatial, temporal, and functional perspectives on fish communities in the Baltic Sea. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 75, No. 7, pp. 2463–2475.
- Fricke, Ronald, and others (2011). Checklist of the fishes of New Caledonia, and their distribution in the Southwest Pacific Ocean (Pisces). *Stuttgarter Beiträge Zur Naturkunde A, Neue Serie*, vol. 4, pp. 341–463.
- Fricke, Ronald, and others (2015). Twenty-one new records of fish species (Teleostei) from the New Caledonian EEZ (south-western Pacific Ocean). *Marine Biodiversity Records*, vol. 8.
- Fricke, Ronald, and others (2020). Eschmeyer's Catalog of Fishes: Genera, Species, References. <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>.
- Froese, Rainer, and Daniel Pauly (2019). FishBase. Available at [www.fishbase.de/search.php](http://www.fishbase.de/search.php).
- Gerringer, Mackenzie E., and others (2017). *Pseudoliparis swirei* sp. nov.: A newly-discovered hadal snailfish (Scorpaeniformes: Liparidae) from the Mariana Trench. *Zootaxa*, vol. 4358, No. 1, pp. 161–177.

- Gordon, Dennis P., and others (2010). Marine Biodiversity of Aotearoa New Zealand. *PloS One*, vol. 5, No. 8, e 10905.
- Hidalgo, Manuel, and Howard I. Browman (2019). Developing the knowledge base needed to sustainably manage mesopelagic resources. *ICES Journal of Marine Science* vol. 76, No. 3.
- Hilborn, Ray, and others (2020). Effective fisheries management instrumental in improving fish stock status. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 117, No. 4, pp. 2218–2224.
- International Council for the Exploration of the Sea (ICES) (2018). Report of the Working Group on Ecosystem Effects of Fishing Activities (WGECO), 12–19 April 2018, San Pedro del Pinatar, Spain. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00441/55216>.
- \_\_\_\_\_ (2019). Working Group on the Ecosystem Effects of Fishing Activities (WGECO). *ICES Scientific Reports*, vol. 1, No. 27. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.4981>.
- Irigoien, Xabier, and others (2014). Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open ocean. *Nature Communications*, vol. 5, art. 3271.
- International Union for Conservation of Nature (IUCN) (2019). *The IUCN Red List of Threatened Species*. [www.iucnredlist.org/en](http://www.iucnredlist.org/en).
- Jackson, J., and others (2014). *Status and Trends of Caribbean Coral reefs: 1970–2012*. Global Coral Reef Monitoring Network. Washington, D.C.: International Union for the Conservation of Nature Global Marine and Polar Program.
- Kessel, Steven Thomas, and others (2017). Conservation of reef manta rays (*Manta alfredi*) in a UNESCO World Heritage Site: Large-scale island development or sustainable tourism? *PloS One*, vol. 12, No. 10, e 0185419.
- Last, P.R., and others (2020). *Sympterichthys unipennis*. *The IUCN Red List of Threatened Species*. e. T123423283A123424374. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-1.RLTS.T123423283A123424374.en>.
- Lefcheck, Jonathan S., and others (2019). Tropical fish diversity enhances coral reef functioning across multiple scales. *Science Advances*, vol. 5, No. 3, e aav6420.
- Linardich, C., and others (2017). *The Conservation Status of Marine Bony Shorefishes of the Greater Caribbean*. Gland, Switzerland: IUCN.
- Linley, Thomas D., and others (2016). Fishes of the hadal zone including new species, in situ observations and depth records of Liparidae. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 114, pp. 99–110.
- Marshall, Abigail M., and others (2016). Quantifying heterogeneous responses of fish community size structure using novel combined statistical techniques. *Global Change Biology*, vol. 22, No. 5, pp. 1755–1768.
- Millar, C., and others (2019). IcesDatras: DATRAS Trawl Survey Database Web Services (version 1.3-0). <https://CRAN.R-project.org/package=icesDatras>.
- Monnereau, I., and H.A. Oxenford (2017). Impacts of climate change on fisheries in the coastal and marine environments of Caribbean Small Island Developing States (SIDS). *Caribbean Marine Climate Change Report Card: Science Review*, vol. 2017, pp. 124–154.
- Motomura, H., (2019). Chapter 4. Distribution. In *The Encyclopedia of Ichthyology*, pp. 163–206.
- Nañola, Cleto L., and others (2011). Exploitation-related reef fish species richness depletion in the epicenter of marine biodiversity. *Environmental Biology of Fishes*, vol. 90, No. 4, pp. 405–420.
- Nelson, Wendy, and others (2015). *National Taxonomic Collections in New Zealand*. Royal Society of New Zealand.

- OBIS (2018). *Ocean Biogeographic Information System*. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO.
- Oxenford, Hazel A., and others (2019). *Report on the Relationships between Sargassum Events, Oceanic Variables and Dolphinfish and Flyingfish Fisheries*. Bridgetown: Centre for Resource Management and Environmental Studies, University of the West Indies, Cave Hill Campus.
- Oxenford, Hazel, and Iris Monnereau (2018). Chapter 9: Climate change impacts, vulnerabilities and adaptations: Western Central Atlantic marine fisheries. In *Impacts of Climate Change on Fish and Shellfish in the Coastal and Marine Environments of Caribbean Small Island Developing States (SIDS)*, M. Barange and others, eds. FAO Fisheries Technical Paper, No. 627, pp. 147–68.
- Provoost, Pieter, and Samuel Bosch (2019). Robis: R Client to access data from the OBIS API. Ocean Biogeographic Information System. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. <https://cran.r-project.org/package=robis>.
- Queiroz, Nuno, and others (2019). Global spatial risk assessment of sharks under the footprint of fisheries. *Nature*, vol. 572, pp. 461–466.
- Rabosky, Daniel L., and others (2018). An inverse latitudinal gradient in speciation rate for marine fishes. *Nature*, vol. 559, pp. 392–395.
- Ramlogan, N.R., and others (2017). *Socio-Economic Impacts of Sargassum Influx Events on the Fishery Sector of Barbados*. CERMES Technical Report, No. 81. Bridgetown, Barbados: Centre for Resource Management and Environmental Studies, University of the West Indies, Cave Hill Campus.
- Roberts, Callum M., and others (2002). Marine biodiversity hotspots and conservation priorities for tropical reefs. *Science*, vol. 295, No. 5558, pp. 1280–1284.
- Roberts, Clive D., and others (2019). *Checklist of the Fishes of New Zealand: Online Version 1.1*. Wellington: Museum of New Zealand Te Papa Tongarewa. <https://collections.tepapa.govt.nz/document/10564>.
- Roberts, Clive D., and Chris D. Paulin (1997). Fish collections and collecting in New Zealand. In *Collection Building in Ichthyology and Herpetology*, Theodore W. Pietsch and William D. Anderson, Jr., eds., ASIH Special Publication 3. pp. 207–229.
- Roberts, Clive D., and others (2015). *The Fishes of New Zealand*. Te Papa Press.
- Robinson, James P.W., and others (2019). Thermal stress induces persistently altered coral reef fish assemblages. *Global Change Biology*, vol. 25, No. 8, pp. 2739–2750.
- Rodríguez-Martínez, R.E., and others (2019). Faunal mortality associated with massive beaching and decomposition of pelagic *Sargassum*. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 146, pp. 201–205.
- Sala, Enric, and Sylvaine Giakoumi (2017). No-take marine reserves are the most effective protected areas in the ocean. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 75, No. 3, pp. 1166–1168. <http://doi.org/10.1093/icesjms/fsx059>.
- Shelton, P.A., and A.F. Sinclair. 2008. It's time to sharpen our definition of sustainable fisheries management. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 65, pp. 2305–2314.
- Stein, R. William, and others (2018). Global priorities for conserving the evolutionary history of sharks, rays and chimaeras. *Nature Ecology & Evolution*, vol. 2, pp. 288–298.
- Sutton, Tracey T., and others (2017). A global biogeographic classification of the mesopelagic zone. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 126, pp. 85–102.
- Taxonomy Decadal Plan Working Group (2018). *Discovering Diversity: A Decadal Plan for Taxonomy and Biosystematics in Australia and New Zealand 2018–2028*. Canberra and Wellington: Australian Academy of Science and Royal Society Te Apārangi.
- Törnroos, Anna, and others (2019). Four decades of functional community change reveals gradual trends and low interlinkage across trophic groups in a large marine ecosystem. *Global Change Biology*, vol. 25, No. 4, pp. 1235–1246.

- Tsikliras, Athanassios C., and others (2019). Synchronization of Mediterranean pelagic fish populations with the North Atlantic climate variability. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 159, pp. 143–151.
- United Nations (2017a). Chapter 34: Global patterns in marine biodiversity. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press Cambridge.
- \_\_\_\_\_ (2017b). Chapter 35: Extent of assessment of marine biological diversity. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*, pp. 525–54. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2017c). Chapter 40: Sharks and other elasmobranchs. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2017d). Chapter 41: Tunas and billfishes. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2017e). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Van Beveren, Elisabeth, and others (2020). An example of how catch uncertainty hinders effective stock management and rebuilding. *Fisheries Research*, vol. 224, doi.org/10.1016/j.fishres.2019.105473.
- Van der Laan, R., and R. Fricke (2019). Eschmeyer's Catalog of Fishes: Classification, vol. 12. [www.calacademy.org/scientists/catalog-of-fishes-classification](http://www.calacademy.org/scientists/catalog-of-fishes-classification).
- Van Tussenbroek, Brigitta I., and others (2017). Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 122, Nos. 1 and 2, pp. 272–281.
- Villarrubia-Gómez, P., and others (2018). Marine plastic pollution as a planetary boundary threat – The drifting piece in the sustainability puzzle. *Marine Policy*, vol. 96, pp. 213–220.
- Wabnitz, Colette C.C., and others (2018). Ecotourism, climate change and reef fish consumption in Palau: Benefits, trade-offs and adaptation strategies. *Marine Policy*, vol. 88, pp. 323–332.
- Walls, Rachel H.L., and Nicholas K. Dulvy (2019). Predicting the conservation status of Europe's Data Deficient sharks and rays. *BioRxiv*.
- Wang, Mengqiu, and others (2019). The great Atlantic *Sargassum* belt. *Science*, vol. 365, No. 6448, pp. 83–87.
- Webb, Thomas J., and Beth L. Mindel (2015). Global patterns of extinction risk in marine and non-marine systems. *Current Biology*, vol. 25, No. 4, pp. 506–511.
- World Register of Marine Species (WoRMS) (2019). WoRMS taxon details. Pisces. [www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=11676](http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=11676).
- WoRMS Editorial Board (2019). World Register of Marine Species. [www.marinespecies.org](http://www.marinespecies.org).



# 第 6D 章

# 海洋哺乳动物

撰稿人: David Lusseau (召集人); Luciano Dalla Rosa、Karen Evans (分章牵头成员)、André Silva Barreto、Mette Skern-Mauritzen, Chul Park (本章牵头成员)和Marta Soeffker。



## 主旨要点

- 海洋哺乳动物在海洋生态系统的生物量、消费和能量传递方面发挥着关键作用,并继续为沿海社区做出重要经济和文化贡献。
- 现已有关于更多物种的养护状况信息,由于有了新信息,8个物种不再处于数据缺乏的状况。36%的须鲸物种丰度增加。总体而言,近岸海豚、海牛以及水獭的两种海洋物种的状况正在恶化,而小头鼠海豚则濒临灭绝。许多物种缺乏种群丰度信息。
- 渔业兼捕仍然是许多物种的主要养护威胁。生境改变、过度捕捞猎物、陆地污染、人为噪声、船只碰撞和干扰等间接威胁正变得更加普遍,沿岸区尤其如此。
- 在一些沿海发展中国家,对被猎捕和兼捕的小型海洋哺乳动物的消费明显增加。

## 1. 引言

现存海洋哺乳动物有132种(鲸目动物、鳍脚类动物、海牛类动物、水獭和北极熊),它们的习性各不相同,有些是广布种,有些由分散各地的多个地方种群组成(如一些海豚物种),有些则是特定生态区域的特有物种(如淡水海豚)。《第一次世界海洋评估》(联合国,2017年)确认,直接捕捞(包括商业性和自给性捕捞)、渔业相互作用(包括缠绕和兼捕)和生境改变(包括干扰、沿海和河流开发以及气候变化)是影响海洋哺乳动物丰度趋势的主要压力。

本章根据国际自然保护联盟(自然保护联盟)的海洋哺乳动物物种生存委员会专家组(自然保护联盟,2019年)进行的《自然保护联盟红色名录》评估报告了自《第一次评估》以来全球海洋哺乳动物状况的变化。这些评估应视需要以原始文献为补充。此外,本章还报告了1999-2008年和2009-2018年20年间在物种养护威胁方面的变化(自然保护联盟,2019年)。

总体而言,由于关于种群的信息有所增加,处于数据缺乏状况的海洋哺乳动物物种有所减少(图一)。自《第一次评估》以来,8个海洋哺乳动物物种的状况有所改善,而4个物种的状况有所恶化(图一)。这些趋势显示出谨慎乐观的局面,表明在全球范围内,为减少众所周知的养护威胁采取的单个管理措施,以及加强收集海洋哺乳动物物种数据和信息的努力正初见成效。

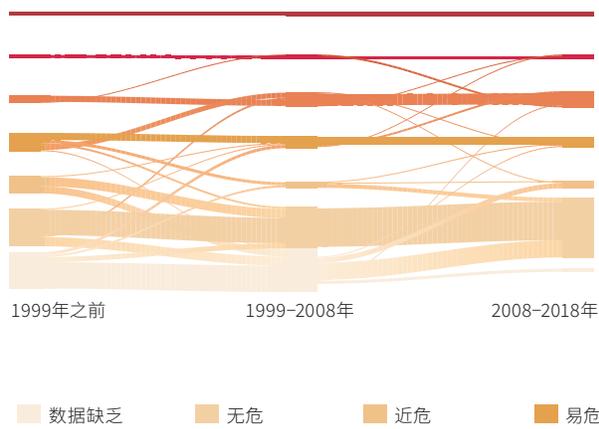
自《第一次评估》以来,对海洋哺乳动物在海洋系统状况和生产力(Roman等人,2014年)中作用的认知更加深入,包括营养循环和碳储存(Doughty等人,2016)、营养级联(Estes等人,2016年;Burkholder等人,2013年;Kiszka等人,2015年)和生态系统工程。海獭种群减少对东太平洋的沿岸生态系统产生了深远影响(Estes等人,1998年;Estes等人,2016年)。须鲸在19世纪和20世纪过度捕捞后继续恢复,这可能将以多种方式影响海洋食物网,影响方式可能是消费,但也可能是垂直(通过水柱)和水平(在觅食和产仔地之间)转移营养物质(Roman等人,2014年)。海洋哺乳动物种群与海洋系统中的所有捕食者一样,也受到海洋盆地生产力的时间和位置变化的影响。一些物种由于行为更灵活,可能比其他物种更能适应气候变化和过度捕捞造成的海洋生产力的动态变化(Sydemann等人,2015年;Moore和Reeves,2018年)。

根据自然保护联盟的评估,故意捕食或商业捕捞以及兼捕和渔具缠绕仍是所有海洋哺乳动物群体面临的主要养护威胁(图二;自然保护联盟,2019年)。人类在海洋中开展多种活动,包括在许多海域进行能源生产和采矿以扩大蓝色经济(Eikeset等人,2018),使海洋哺乳动物养护工作面临新挑战。现在气候变化以及与之相关的海洋生态系统动态变化、人为噪声、船只碰撞、生境改变和破坏性行为正在出现,对更广泛的物种造成影响(图

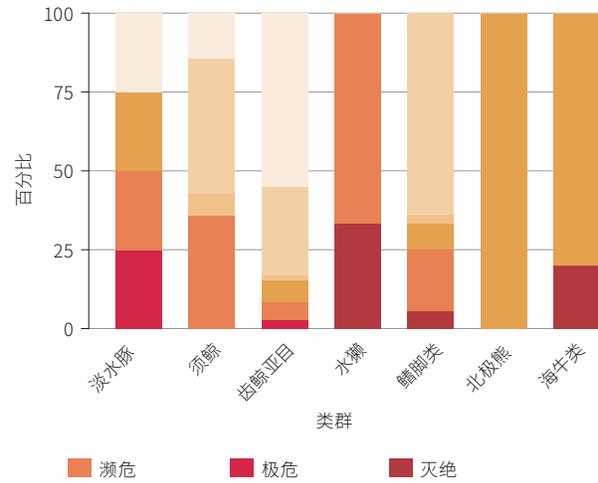
二；自然保护联盟，2019年)。至关重要的是，单独的威胁可以相互作用并导致积累效应，从而加剧

其对物种的影响(美国国家科学院、工程院和医学院，2017年；另见第25章)。

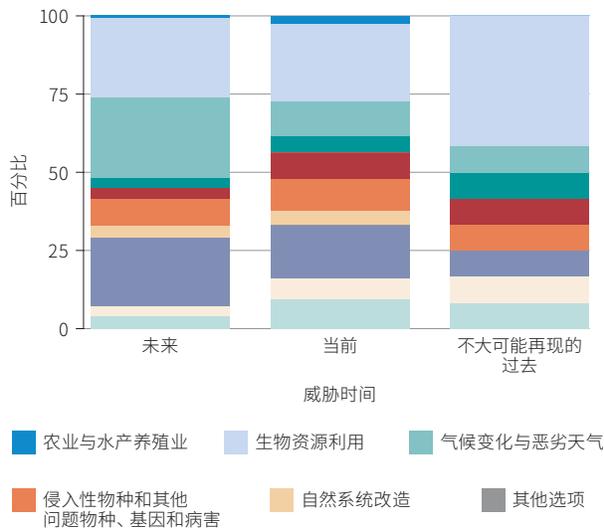
**图一.A**  
根据《自然保护联盟红色名录》的评估，三个评估期(1999年前、1999-2008年和2009-2018年)内海洋哺乳动物养护状况的变化



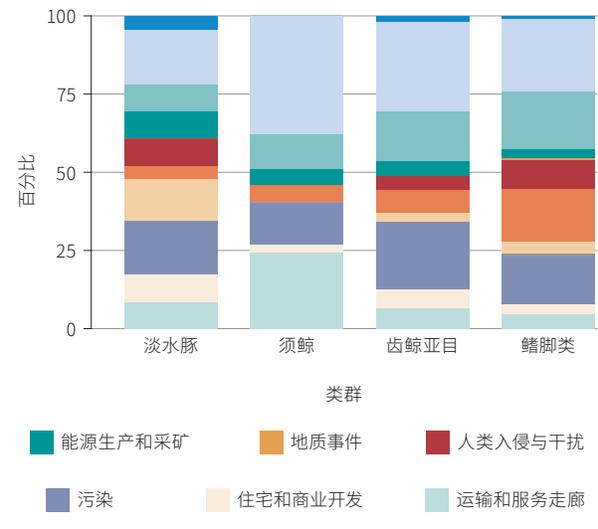
**图一.B.**  
按类群分列的海洋哺乳动物物种的养护状况



**图二.A**  
目前确定的所有海洋哺乳动物的主要养护威胁，按这些威胁对这些物种的影响时间进行分类



**图二.B**  
对特定类群的养护威胁



注：威胁类别指自然保护联盟威胁分类系统中定义类别，其中人为噪声被归类为污染，捕鱼和捕捞水产资源被归类为生物资源利用(自然保护联盟，2019年)。

## 2. 鲸目动物

### 2.1. 须鲸

#### 2.1.1. 多样性

目前已知的须鲸物种有14种, 分布于4个科(露脊鲸科、须鲸科、小露脊鲸科和灰鲸科)。

#### 2.1.2. 丰度和主要威胁

在露脊鲸科物种中, 弓头鲸和南露脊鲸被评估为无危, 反映了种群增加趋势。然而, 并非所有确定了地域的南露脊鲸种群都在增加(George等人, 2018年)。北大西洋露脊鲸最近被评估为濒危。虽然该物种的数量在1990到2010年期间估计有所增加, 但现在估计在随后几年则减少了16%(Pettis等人, 2018年)。没有关于北太平洋露脊鲸(濒危)的大范围种群规模或趋势的数据。

在须鲸科物种中, 由于获得了关于南极小须鲸和布氏鲸的新信息, 其状况从数据缺乏分别变为近危和无危(图三.A)。在全球范围内, 蓝鲸(濒危)、塞鲸(濒危)和座头鲸(无危)的种群正在从工业捕鲸活动中恢复, 数量估计呈增长趋势(自然保护联盟, 2019年)。长须鲸数量增加, 状况从濒危降级为易危。灰鲸被列为无危, 被认为状况稳定, 而小露脊鲸被列为种群丰度或趋势未知的无危物种。

《自然保护联盟红色名录》评估确定, 目前须鲸面临的主要威胁包括渔具缠绕(长须鲸、灰鲸、座头鲸和北大西洋露脊鲸)、捕捞(普通小须鲸、南极小须鲸和塞鲸)和船只碰撞(蓝鲸、长须鲸、灰鲸、座头鲸、北大西洋露脊鲸、北太平洋露脊鲸和南露脊鲸)(自然保护联盟, 2019年)。气候变化对生物生产力的效应, 以及因此对猎物可获得性的效应(Cabrera等人, 2018年)是一个关切。然而, 对某些物种观察到的情况与预测并不一致。例如, 尽管目前冰层迅速消融(Moore和Reeves, 2018年)且相关猎物预计减少, 但北极特有的弓头鲸却在增多。重要的是, 环境变化可以与其他人为威胁相互作用,

造成不可预见的协同影响(Moore等人, 2019年; Seyboth等人, 2016年)。例如, 在气候驱动下, 北大西洋露脊鲸将生境转移到无保护的航运和商业捕鱼区, 导致与缠绕和船只碰撞相关的死亡率增加(Corkeron等人, 2018年; Meyer-Gutbrod和Greene, 2018年)。总体来说, 通过商业性和自给性捕捞活动直接获取须鲸的数量处于可持续范围之内。

### 2.2. 齿鲸、海豚和鼠海豚(齿鲸亚目)

#### 2.2.1. 多样性

全球确认的齿鲸物种达75种, 分布在10个科。海豚科最为多样, 包括一些最受威胁的物种(图三.C)。<sup>1</sup>

#### 2.2.2. 丰度和主要威胁

##### 远洋齿鲸、海豚和鼠海豚

由于远洋鲸目动物分布广泛, 种群丰度和威胁的趋势往往很难评估。因此, 除了抹香鲸(易危)和伪虎鲸(从数据缺乏升级为近危)之外, 大多数大洋物种仍然被列为无危物种。没有关于抹香鲸全球种群规模或趋势的近期估计数据。喙鲸包括22个远洋深潜物种, 人们对这些物种仍然知之甚少, 目前正在考虑一个拟议新物种(黑贝喙鲸)(Yamada等人, 2019年)。除了同被列为无危的南瓶鼻鲸和柯氏喙鲸这两个物种外, 该类群中其他所有物种的状况仍为数据缺乏。虎鲸是广布物种, 其状况为在全球范围内缺乏数据, 但由于与猎物可得性、船只和声音干扰以及污染物累积相关的威胁, 北太平洋东部沿岸的小规模南方种群在美国和加拿大被列为濒危物种(南方虎鲸工作组, 2019年)。

渔具缠绕被确定为对一些大洋物种构成威胁(自然保护联盟, 2019年)。与渔业的其他互动, 如伪虎鲸、虎鲸和抹香鲸掠夺渔获物和偷饵, 可引发射击等威慑行动并随后导致死亡(Tixier等人, 2019年; Werner等人, 2015年; Hamer等人, 2012年)。

<sup>1</sup> 据指出, 随着南大洋捕鲸作业的停止, 这一威胁可能已经减少。

人为噪声,特别是中频主动声纳发出的人为噪声,会影响深潜物种,如喙鲸、短吻鲸(*Kogia Spp*)、和抹香鲸(Pirotta等人,2018年; Harris等人,2018

年)。海冰减少和海水变暖使一角鲸等冰栖物种与虎鲸等更北方哺乳动物物种之间的互动增多,降低了觅食生境的可及性(Breed等人,2017年)。

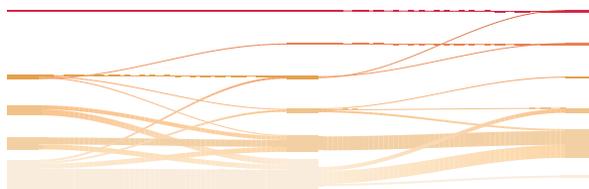
### 图三

根据《自然保护联盟红色名录》的评估,三个评估期(1999年前、1999-2008年和2009-2018年)内养护状况的变化

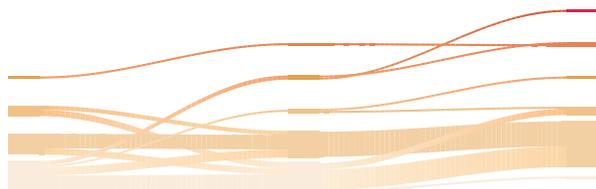
#### A. 须鲸



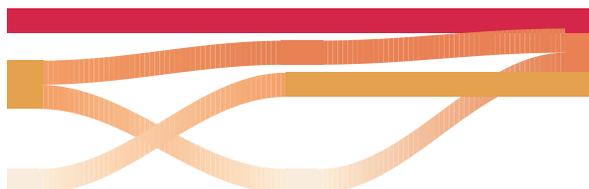
#### B. 齿鲸



#### C. 海豚科动物



#### D. 淡水海豚



1999年之前

1999-2008年

2008-2018年

1999年之前

1999-2008年

2008-2018年

■ 数据缺乏

■ 无危

■ 近危

■ 易危

■ 濒危

■ 极危

■ 灭绝

### 沿岸与河口海豚和鼠海豚

该类群的构成主要是沿岸和区域限定性物种或种群,包括地方特有物种(Möller, 2012年),因此最易受与人类互动的影 响。由于其易受与人类互动的影 响,35个物种中有10个物种呈下降趋势,其中2个物种处于极危状况,4个物种处于濒危状况,4个物种处于易危状况(图三.B)。区域限定性种群在各地的状况可能不同。例如,虽然全球范围内宽吻海豚被评估为无危物种,但目前新西兰菲奥德兰的区域种群被评估为极危,地中海种群为易危,黑海种群为濒危种群。沿岸与河口海豚种群面临的主要威胁是渔业的故意和非故意捕捞。尽管有管理计划,但未能将捕获量减少到可持续水平,导致丰度急剧下降,特别是小头鼠海豚(Jaramillo-Legorreta等人,2019年)和毛伊海豚(Baker等人,2016年)。具体而言,小头鼠海豚在未来10年面临很高的灭绝风险(Rojas-Bracho等

人,2019年)。沿岸海豚和鼠海豚面临的其他威胁包括气候变化和相关的海洋生态系统动态变化、污染、船只碰撞、新疾病以及人类的工业和休闲活动造成的干扰。

### 淡水豚

淡水豚(图三.D)包括目前被列为极危(可能灭绝)的白暨豚(自然保护联盟,2019年),以及亚马逊河豚(在巴西的Mamirauá保留区,在不到一代海豚的时间内(da Silva等人,2018年),亚马逊河豚的数量减少了70%)、恒河豚和印河豚,目前所有这些河豚都被归类为濒危物种。这些物种缺少物种层面的丰度估计数据。所有物种面临的主要威胁包括:水利开发项目(使生境碎片化)、径流污染、兼捕、直接捕捞和其他人为的生境改变,所有这些因素都使种群持续减少(自然保护联盟,2019年)。大多数淡水豚物种属于单一物种科,因此,它们的消失代表着整个进化谱系的丧失。

### 3. 鳍脚类动物

#### 3.1. 多样性

确认现存物种33种, 新近灭绝物种2种, 分属于鳍脚类动物3个科(海狮科、海豹科和海象科)。大多数鳍脚类动物的活动范围有限, 其中7个物种仅限于北半球的寒温带和北极水域, 4个物种仅限于南半球的南极水域。另外4个物种分别只限于里海、贝加尔湖、夏威夷群岛和地中海。

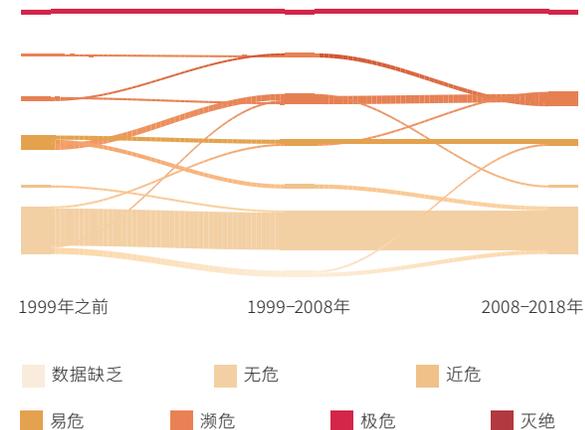
#### 3.2. 丰度和主要威胁

##### 3.2.1. 海豹科

可以获得关于8种海豹的全球趋势: 4种海豹的丰度增加, 包括地中海僧海豹(其状况已从极危降级至濒危); 1种是夏威夷僧海豹(濒危), 数量正在减少; 另外3种海豹状况稳定(图四.A)。南极丰度最大的物种是食蟹海豹, 估计有400万成体; 北极丰度最大的物种是竖琴海豹, 估计有450万成体(自然保护联盟, 2019年)。

#### 图四.A

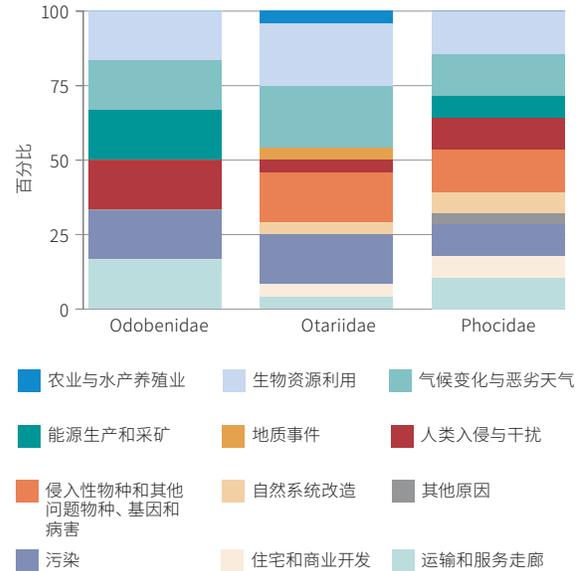
根据《自然保护联盟红色名录》评估, 三个评估期(1999年前、1999-2008年和2009-2018年)内鳍脚类动物养护状况的变化



注: 威胁类别指《自然保护联盟红色名录》威胁, 其中将人为噪声归类为污染, 渔业影响归类为生物资源利用(自然保护联盟, 2019年)。

#### 图四.B

三科鳍脚类动物目前和未来面临的威胁



各海豹物种面临的威胁具有一致性, 包括生境丧失与改变(产崽区和休息区丧失)、与渔业的互动(故意捕杀、缠绕和竞争)以及疾病传播(可能来自宠物和野生陆地哺乳动物(图四.B; 自然保护联盟, 2019年)。近期地中海僧海豹数量趋势的变化可能是该物种在当地成功适应的结果, 部分原因是避免了与人类的互动(例如, 使用庇护地、改变环境管理和减少互动)(Notarbartolo di Sciara和Kotomatas, 2016年)。

##### 3.2.2. 海狮科

状况为无危的海狮(例如新西兰皮毛海狮和加利福尼亚州海狮)的数量正在增加, 但目前受威胁的海狮(例如新西兰海狮、澳大利亚海狮和加拉帕戈斯海狮)的丰度继续减少。北海狮是个例外, 该物种在2012年从濒危降级为近危(自然保护联盟, 2019年)。这种改善的主要原因是自1980年代以来, 分物种奥洛林北海狮的数量在狩猎保护下翻了一

番。西部北海狮虽然在部分活动范围内有所增加，但在阿留申群岛继续减少。目前被确认为受威胁的海狮物种往往在更有限的范围内活动，因此对气候变化引起的海洋生产力的快速变化非常敏感(Atkinson等人, 2008年; McClatchie等人, 2016年)(图四B)。其他威胁包括与渔业的互动(兼捕和争抢猎物)(Chilvers, 2012年; Hamer等人, 2013年)。尽管兼捕管理降低了一些物种与渔业相关的死亡率，但其他因素可能与这种养护威胁相互作用，导致特定生命阶段和组群的存活率降低，从而使无法恢复(Hamilton和Baker, 2019年)。

## 4. 海牛类

### 4.1. 多样性

海牛目现有4个物种(西非海牛、美洲海牛、儒艮和亚马逊海牛)，有一些证据表明它们活动范围内的种群之间存在遗传分化(Hunter等人, 2010年)。

### 4.2. 丰度和主要威胁

关于这4个物种的物种丰度估计数据仍然缺乏。间接证据表明种群呈下降趋势，所有物种都被归

## 5. 水獭和北极熊

### 5.1. 多样性

鼬科包括两个现存海洋水獭物种(秘鲁水獭和海獭)。熊科包括一种现存海洋物种——北极熊。

### 5.2. 丰度和主要威胁

#### 5.2.1. 秘鲁水獭和海獭

尽管无法获得关于这两个物种全球丰度的估计数据，但总体上认为这两个物种在减少，原因是在过去为了获取其毛皮而过度开发后，未能完全恢复。因此，这两个物种目前都被列为濒危物种。然而，在实施了一些养护管理方案后，几个剩余种群正在增加。妨碍种群恢复的新威胁包括疾病、海上石油开采和运输(包括溢漏)、偷猎、兼捕、故意捕杀和休闲活动的干扰(Duplaix和Savage, 2018

### 3.2.3. 海象科

海象是海象科中的单一物种，目前被评估为易危物种。估计有225 000头海象，不过趋势不明(自然保护联盟, 2019年)。过去对海象进行了不可持续式的捕获，但目前的管理方法正在使捕获具有可持续性。气候变化和相关的生境改变预计将影响该物种的可持续捕获水平(MacCracken, 2012年)，从而对人类粮食安全造成影响。人类在北极发展工业活动造成海冰消失，进一步加剧了该物种的养护威胁(Moore和Reeves, 2018年)。

类为易危(自然保护联盟, 2019年)。总体而言，造成种群减少的主要原因是生境丧失、直接捕捞和误捕以及船只碰撞(自然保护联盟, 2019年)。在巴西东北部，由于虾场发展和河口淤积使产犊生境缩小，初生犊和小牛死亡率很高(Balensefer等人, 2017年)。

年)。丰度的变化与厄尔尼诺现象及其对太平洋沿岸生态系统的相关影响有关。尽管厄尔尼诺/南方涛动的预计变化尚不清楚，但在发生和强度上的任何变化都可能对秘鲁水獭产生影响(Vianna等人, 2010年)。

#### 5.2.2. 北极熊

北极熊仍然被列为易危物种，其丰度趋势未知。根据最近发布的数据，全球估计有16 000到31 000头个体(Hamilton和Derocher, 2019年)。该物种面临的最严重威胁是气候变化导致北极用于支撑关键种群功能的冰川生境丧失(Regehr等人, 2016年)。由于海冰减少产生的新病原体带来压力以及由于进入该地区的机会增加使工业和休闲活动增加，正在对这些种群产生越来越大的影响(Hamilton和Derocher, 2019年)。

## 6. 变化对人类社区、经济和福祉的影响

### 6.1. 消费与竞争

一些海洋哺乳动物种群恢复后有可能在一些地区产生冲突,而在另一些地区创造机会。海洋哺乳动物能学会将捕捞活动与食物可获性联系起来,进而形成掠夺渔船捕获物的行为(Tixier等人,2019年),并与水产养殖作业产生冲突(Guera,2019年)。

在《第一次评估》之前小须鲸捕获量增加和商业长须鲸捕获恢复,此后,北大西洋商业小须鲸捕获量下降并持稳,<sup>2</sup>2019和2020年暂停长须鲸的商业捕捞(自《第一次评估》以来有一些少量的受管制自给性捕捞)。在同一时期,北半球的鳍脚类动物和其他鲸目动物的捕获量总体上保持相对稳定(北大西洋海洋哺乳动物委员会,2019年;国际捕鲸委员会,2019年)。自《第一次评估》以来,西北太平洋须鲸的捕捞活动总体保持稳定(国际捕鲸委员会,2019年,根据特别许可证进行捕捞),南极水域的捕捞活动在2019年暂停(国际捕鲸委员会,2019年)。海洋哺乳动物受管制的自给性捕捞活动保持稳定(北大西洋海洋哺乳动物委员会,2019年;国际捕鲸委员会,2019年)。两个政府间组织继续为讨论、评估和管理海洋哺乳动物的捕捞活动提供论坛:1946年成立的国际捕鲸委员会和1992年成立的北大西洋海洋哺乳动物委员会。

兼捕的海洋哺乳动物可以补充渔业渔获量供人类食用。在一些国家,捕杀动物和利用搁浅动物可以成为此种兼捕的进一步补充(Robards和Reeves,2011年)。以这种方式利用的海洋哺乳动物被称为“水生野味”<sup>3</sup>或“海洋丛林野味”,海洋丛林野味类似于用于支持贫困地区粮食安全的陆地丛林野味(Cosentino和Fisher,2016; Clapham和Van Waerebeek,2007年)。低纬度地区沿岸物种的渔获量和消费量可能有所增加(Robards和Reeves,2011年),特别是在东南亚

和西非(Porter和Lai,2017年;Liu等人,2019年;Mintzer等人,2018年;Van Waerebeek等人,2017年),这种做法的可持续性往往未知。由于气候变化造成的生境变化使物种重新分布,并对种群丰度产生潜在影响(Moore和Reeves,2018年),依赖捕捞海洋哺乳动物获取粮食的社区也可能受到影响,从而导致未来的粮食安全挑战(Brinkman等人,2016年)。

海洋哺乳动物具有重要的文化意义,他们的身体部位可以用作造物材料,同时也是沿海传统和文化意象的一部分。这种文化遗产是社区凝聚力和认同感的关键,其中包括独特元素,例如在巴西,人们与海豚合作捕鱼(Daura-Jorge等人,2012年)。

### 6.2. 非致命活动

海洋旅游业日益增多和多样,海洋哺乳动物仍然是海洋旅游业的重要特色(Hoyt,2018年)。<sup>4</sup>有传闻证据表明,由于与种群恢复和气候变化相关的分布变化,以海洋哺乳动物为重点的新地点旅游业得以发展,成熟旅游地点的游客人数增加(例如,Accardo等人,2018年;Harris等人,2018年)。旅游业现在被列为对11种鲸目动物和13种鳍脚类物种的养护威胁(图二;自然保护联盟,2019年)。只要制定适当的管理方案,确保海洋哺乳动物种群不被过度开发(Christiansen和Lusseau,2015年;Pirota和Lusseau,2015年),进行负责任的投资并把利润留在社区(Higham等人,2016年),旅游活动就能为沿海社区提供创收机会。为了支持管理者、监管者和经营者,国际捕鲸委员会和《养护野生动物移栖物种公约》编写了一本观鲸手册,为观鲸活动的管理提供指导。这本观鲸手册每年都会被审查,其内容也会定期更新。尚不清楚海洋哺乳动物相关旅游对全球沿海社区的社会生态贡献的量化数据。

<sup>2</sup> 见<https://nammco.no/>。

<sup>3</sup> 见《养护野生动物移栖物种公约》关于水生野味的第12.15号决议。

<sup>4</sup> 见《养护野生动物移栖物种公约》关于可持续船基海洋野生生物观赏的第11.29号决议。

## 7. 展望

海洋哺乳动物养护的成功包括杜绝大型鲸鱼的过度捕捞和大型中上层流网捕捞中不可持续的兼捕(Reeves等人, 2013年)。只要坚持管理努力(Bejder等人, 2016年), 并且不受气候变化的损害(Tulloch等人, 2019年), 种群的持续改善是可以预期的。

被列为濒危或极危物种(22种)的数量清楚地表明在管理和养护方面存在迫切挑战。小头鼠海豚、白鳍豚、毛伊海豚和大西洋驼背海豚等几乎所有极危物种和物种亚群的分布都非常有限。尽管对它们面临的风险有详细了解, 但数十年的管理干预并没有改善其种群状况(图三.C)。除非对这些物种的管理措施能够减少当前的威胁, 否则根据目前的评估, 这些极危物种或亚群的状况估计将在10年内进一步恶化并可能灭绝(国际小头鼠海豚恢复委员会, 2019年; 自然保护联盟, 2019年)。

需要采取全球举措, 为范围广泛的物种制定全面的管理计划。自《第一次评估》以来, 南极海洋生物资源保护委员会(南极海生委)在罗斯海成立了一个海洋保护区(南极海生委, 2016年)。这个海洋保护区的多重目标包括保护韦德尔氏海豹和C型虎鲸的核心觅食区域。海洋保护区等固定空间管理已被确定为养护物种的有效措施(Gormley等人, 2012年)。然而, 目前观察到威胁有所变化(图二.A), 以及气候变化使海洋生态系统发生快速变

## 8. 知识方面仍然存在的主要差距

世界在快速变化, 我们更难根据回顾性分析预测海洋哺乳动物状况和开发模式。为应对这些快速变化, 需要开发新的机械型工作设计法, 以预测物种和种群将如何应对气候变化, 以及当前和未来人类直接和间接影响的可持续性。具体地说, 需要: (a)制定相关方法, 评估和预测海洋哺乳动物如何应对和适应气候变化及发生相应改变的海洋生态系统; (b)深入了解多重人为压力对海洋哺乳

动物, 使得海洋保护区不能再作为那么灵活的工具, 特别是难以确保高度流动物种的养护和可持续利用(Pinn, 2018年; 另见第27章)。

自《第一次评估》以来, 多方面的累积影响(另见第25章)显然正越来越多地影响海洋哺乳动物的养护状况轨迹(美国国家科学院、工程院和医学院, 2017年)。在未来几十年, 气候变化将以多种方式(包括生境和食物网的改变)影响海洋哺乳动物(图二)。此外, 接触人类活动和相关压力因素机会的增加将助推累积效应, 可能会削弱近期的恢复(Tulloch等人, 2019年)。营养级放大可能会加强气候变化对食物网的影响, 对海洋哺乳动物占据的较高营养级的影响比例更大(Lotze等人, 2019年)。

新的技术和分析发展有助于设计量化框架, 利用观测数据量化多种压力因素对种群的影响(见第25章)。因此, 更容易估计人为噪声、旅游业和海上可再生能源系统等非致命压力因素和间接压力因素对养护的影响。生态系统风险评估方法(Holsman等人, 2017年)正越来越多地被用作综合生态系统评估的关键要素(另见第27章)。这些方法还将风险置于利用海洋哺乳动物的社区的广泛社会生态环境中加以考虑。

动物的累积效应, 包括现有开发活动和新开发活动; (c)制定相关程序, 以确定和实施管理行动, 成功确保极危海洋哺乳动物物种免于灭绝; 以及(d)深入了解数据缺乏的种群, 从而能够量化其丰度, 促进其分类并将其移出数据缺乏类别。此外, 还需要开展进一步工作来更好地认识海洋哺乳动物在海洋过程中的作用, 包括在营养物质和碳空间转移中的作用。<sup>5</sup>

<sup>5</sup> 见 [www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2019/12/natures-solution-to-climate-change-chami.htm](http://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2019/12/natures-solution-to-climate-change-chami.htm)。

## 9. 能力建设方面仍然存在的主要差距

关于哪些人为因素造成成功或不成功管理干预以及进行这些干预的能力和资源, 目前缺乏广泛了解。在海洋哺乳动物丰富的地方, 在获得和可持续利用这些极其宝贵资源的机会最大化方面, 机构能力往往存在缺口。通过意外兼捕或非致命累积影响利用海洋哺乳动物的部门与利用这些物种的传统产业(例如渔业和旅游业)之间存在得失抵换,

缺乏相关工具来评估这些得失抵换。正在为森林等其他自然资源开发激励技术, 以将其可持续利用方式多样化, 并更好地将当地“自然资源丰富的”社区与潜在的偏远市场联通起来(Dao, 2018年)。这可能适用于海洋哺乳动物。有必要评估如何利用这些方法使目前海洋哺乳动物的开发多样化, 并提供开发生产品的机会。

### 参考资料

- Accardo, Corey, and others (2018). Sightings of a bowhead whale (*Balaena mysticetus*) in the Gulf of Maine and its interactions with other baleen whales. *Journal of Cetacean Research and Management*, vol. 19, pp. 23–30.
- Atkinson, S., and others (2008). Anthropogenic causes of the western Steller sea lion *Eumetopias jubatus* population decline and their threat to recovery. *Mammal Review*, vol. 38, No. 1, pp. 1–18.
- Baker, C.S., and others (2016). *Estimating the Abundance and Effective Population Size of Māui Dolphins Using Microsatellite Genotypes in 2015–16, with Retrospective Matching to 2001–16*. Auckland: Department of Conservation.
- Balensiefer, Deisi Cristiane, and others (2017). Three decades of Antillean Manatee (*Trichechus manatus manatus*) stranding along the Brazilian coast. *Tropical Conservation Science*, vol. 10. <https://doi.org/10.1177/1940082917728375>.
- Bejder, Michelle, and others (2016). Embracing conservation success of recovering humpback whale populations: evaluating the case for downlisting their conservation status in Australia. *Marine Policy*, vol. 66, pp. 137–141.
- Breed, Greg A., and others (2017). Sustained disruption of narwhal habitat use and behavior in the presence of Arctic killer whales. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 114, No. 10, pp. 2628–2633.
- Brinkman, Todd J., and others (2016). Arctic communities perceive climate impacts on access as a critical challenge to availability of subsistence resources. *Climatic Change*, vol. 139, Nos. 3 and 4, pp. 413–427.
- Burkholder, Derek A., and others (2013). Patterns of top-down control in a seagrass ecosystem: could a roving apex predator induce a behaviour-mediated trophic cascade? *Journal of Animal Ecology*, vol. 82, No. 6, pp. 1192–1202. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12097>.
- Cabrera, Andrea A., and others (2018). Strong and lasting impacts of past global warming on baleen whale and prey abundance. *BioRxiv*, 497388.
- CCAMLR (2016). Conservation Measure 91-05 (2016): Ross Sea Region Marine Protected Area.
- Chilvers, Barbara (2012). Population viability analysis of New Zealand sea lions, Auckland Islands, New Zealand's sub-Antarctics: assessing relative impacts and uncertainty. *Polar Biology*, vol. 35, No. 10, pp. 1607–1615. <https://doi.org/10.1007/s00300-011-1143-6>.
- Christiansen, Fredrik, and David Lusseau (2015). Linking behavior to vital rates to measure the effects of non-lethal disturbance on wildlife. *Conservation Letters*, vol. 8, No. 6, pp. 424–431.
- Clapham, Phil, and Koen Van Waerebeek (2007). Bushmeat and bycatch: the sum of the parts. *Molecular Ecology*, vol. 16, No. 13, pp. 2607–2609.

- Comité Internacional para la Recuperación de la Vaquita (2019). Report of the Eleventh Meeting of the Comité Internacional para la Recuperación de la Vaquita (CIRVA). La Jolla, California: Southwest Fisheries Science Center.
- Corkeron, Peter, and others (2018). The recovery of North Atlantic right whales, *Eubalaena glacialis*, has been constrained by human-caused mortality. *Royal Society Open Science*, vol. 5, No. 11.
- Cosentino, A. Mel, and Sue Fisher (2016). The utilization of aquatic bushmeat from small cetaceans and manatees in South America and West Africa. *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 163. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00163>.
- Dao, David (2018). Decentralized sustainability: beyond the tragedy of the commons with smart contracts + AI. Medium, 21 June. <https://medium.com/@daviddao/decentralized-sustainability-9a53223d3001>.
- Daura-Jorge, F.G., and others (2012). The structure of a bottlenose dolphin society is coupled to a unique foraging cooperation with artisanal fishermen. *Biology Letters*, vol. 8, No. 5, pp. 702–705. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2012.0174>.
- Doughty, Christopher E., and others (2016). Global nutrient transport in a world of giants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, No. 4, pp. 868–873.
- Duplaix, Nicole, and Melissa Savage (2018). *The Global Otter Conservation Strategy*. IUCN/SSC Otter Specialist Group, Salem, Oregon, United States of America.
- Eikeset, Anne Maria, and others (2018). What is blue growth? The semantics of “Sustainable Development” of marine environments. *Marine Policy*, vol. 87, pp. 177–179. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.10.019>.
- Estes, James A., and others (1998). Killer whale predation on sea otters linking oceanic and nearshore ecosystems. *Science*, vol. 282, No. 5388, pp. 473–476.
- Estes, James A., and others (2016). Megafaunal impacts on structure and function of ocean ecosystems. *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 41, pp. 83–116.
- da Silva, Vera M., and others (2018). Both cetaceans in the Brazilian Amazon show sustained, profound population declines over two decades. *PLOS ONE*, vol. 13, No. 5, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191304>.
- George, J. Craig, and others (2018). Bowhead Whale: *Balaena mysticetus*. In *Encyclopedia of Marine Mammals*, Elsevier, pp. 133–135.
- Gormley, Andrew M., and others (2012). First evidence that marine protected areas can work for marine mammals. *Journal of Applied Ecology*, vol. 49, No. 2, pp. 474–480.
- Guerra, Ana Sofía (2019). Wolves of the Sea: managing human-wildlife conflict in an increasingly tense ocean. *Marine Policy*, vol. 99, pp. 369–373.
- Halliday, William D., and others (2018). Tourist vessel traffic in important whale areas in the western Canadian Arctic: risks and possible management solutions. *Marine Policy*, vol. 97, pp. 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.08.035>.
- Hamer, D.J., and others (2013). The endangered Australian sea lion extensively overlaps with and regularly becomes by-catch in demersal shark gill-nets in South Australian shelf waters. *Biological Conservation*, vol. 157, pp. 386–400. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.07.010>.
- Hamer, Derek J., and others (2012). Odontocete bycatch and depredation in longline fisheries: A review of available literature and of potential solutions. *Marine Mammal Science*, vol. 28, No. 4, pp. E345–374. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2011.00544.x>.
- Hamilton, S.G., and A. E. Derocher (2019). Assessment of global polar bear abundance and vulnerability. *Animal Conservation*, vol. 22, No. 1, pp. 83–95.

- Hamilton, Sheryl, and G. Barry Baker (2019). Population growth of an endangered pinniped—the New Zealand sea lion (*Phocarctos hookeri*)—is limited more by high pup mortality than fisheries bycatch. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 76, No. 6, pp. 1794–1806. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz039>.
- Harris, Catriona M., and others (2018). Marine mammals and sonar: dose-response studies, the risk-disturbance hypothesis and the role of exposure context. *Journal of Applied Ecology*, vol. 55, No. 1, pp. 396–404.
- Higham, James E.S., and others (2016). Managing whale-watching as a non-lethal consumptive activity. *Journal of Sustainable Tourism*, vol. 24, No. 1, pp. 73–90.
- Holsman, Kirstin, and others (2017). An ecosystem-based approach to marine risk assessment. *Ecosystem Health and Sustainability*, vol. 3, No. 1, e01256.
- Hoyt, Erich (2018). Tourism. In *Encyclopedia of Marine Mammals*, 3rd ed., Bernd Würsig, J.G.M. Thewissen, and Kit M. Kovacs, eds. Academic Press, pp. 1010–1114. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804327-1.00262-4>.
- Hunter, M.E., and others (2010). Low genetic variation and evidence of limited dispersal in the regionally important Belize manatee. *Animal Conservation*, vol. 13, No. 6, pp. 592–602. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2010.00383.x>.
- International Union for Conservation of Nature (IUCN) (2019). *The IUCN Red List of Threatened Species*. [www.iucnredlist.org/en](http://www.iucnredlist.org/en).
- International Whaling Commission (2019). Total Catches. Available at <https://iwc.int/total-catches>.
- Jaramillo-Legorreta, Armando M., and others (2019). Decline towards extinction of Mexico's vaquita porpoise (*Phocoena sinus*). *Royal Society Open Science*, vol. 6, No. 7. <https://doi.org/10.1098/rsos.190598>.
- Kiszka Jeremy J., and others (2015). Behavioural drivers of the ecological roles and importance of marine mammals. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 523, pp. 267–81.
- Liu, Mingming, and others (2019). Fishers' experiences and perceptions of marine mammals in the South China Sea: insights for improving community-based conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 29, No. 5, pp. 809–819.
- Lotze, Heike K., and others (2019). Global ensemble projections reveal trophic amplification of ocean biomass declines with climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 116, No. 26, pp. 12907–12912.
- MacCracken, James G. (2012). Pacific Walrus and climate change: observations and predictions. *Ecology and Evolution*, vol. 2, No. 8, pp. 2072–2090.
- McClatchie, Sam, and others (2016). Food limitation of sea lion pups and the decline of forage off central and southern California. *Royal Society Open Science*, vol. 3, No. 3. <https://doi.org/10.1098/rsos.150628>.
- Meyer-Gutbrod, Erin L., and Charles H. Greene (2018). Uncertain recovery of the North Atlantic right whale in a changing ocean. *Global Change Biology*, vol. 24, No. 1, pp. 455–464.
- Mintzer, Vanessa Jordan, and others (2018). The use of aquatic mammals for bait in global fisheries. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 191.
- Möller, Luciana M. (2012). Sociogenetic structure, kin associations and bonding in delphinids. *Molecular Ecology*, vol. 21, No. 3, pp. 745–764.
- Moore, Sue E., and others (2019). Baleen whale ecology in arctic and subarctic seas in an era of rapid habitat alteration. *Progress in Oceanography*, vol. 176.
- Moore, Sue E., and Randall R. Reeves (2018). Tracking arctic marine mammal resilience in an era of rapid ecosystem alteration. *PLoS Biology*, vol. 16, No. 10, e2006708.

- National Academies of Sciences, Engineering and Medicine, and Medicine (2017). *Approaches to Understanding the Cumulative Effects of Stressors on Marine Mammals*. Washington, D.C.: National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/23479>.
- North Atlantic Marine Mammal Commission (NAMMCO) (2019). Marine Mammals. Seals and Walrus (Pinnipeds). <https://nammco.no/marinemammals>.
- Notarbartolo di Sciara, Giuseppe, and S. Kotomatas (2016). Chapter Twelve: are Mediterranean monk seals, *Monachus monachus*, being left to save themselves from extinction? *Advances in Marine Biology*, vol. 75, pp. 359–386. <https://doi.org/10.1016/bs.amb.2016.08.004>.
- Pettis, H., and others (2018). North Atlantic right whale consortium 2018 annual report card. Report to the North Atlantic Right Whale Consortium.
- Pinn, Eunice H. (2018). Protected areas: the false hope for cetacean conservation? In *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, vol. 56. S. J. Hawkins and others, eds. Boca Raton, Florida, United States: CRC Press, pp. 72–104.
- [Pirotta, Enrico, and others (2018). Understanding the population consequences of disturbance. *Ecology and Evolution*, vol. 8, No. 19, pp. 9934–9946.
- Pirotta, Enrico, and David Lusseau (2015). Managing the wildlife tourism commons. *Ecological Applications*, vol. 25, No. 3, pp. 729–741.
- Porter, Lindsay, and Hong Yu Lai (2017). Marine mammals in Asian societies; trends in consumption, bait, and traditional use. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 47.
- Reeves Randall R., and others (2013). Marine mammal bycatch in gillnet and other entangling net fisheries, 1990 to 2011. *Endangered Species Research*, vol. 20, No. 1, pp. 71–97.
- Regehr, Eric V., and others (2016). Conservation status of polar bears (*Ursus maritimus*) in relation to projected sea-ice declines. *Biology Letters*, vol. 12, No. 12, pp. 20160556.
- Robards, Martin D., and Randall R. Reeves (2011). The global extent and character of marine mammal consumption by humans: 1970–2009. *Biological Conservation*, vol. 144, No. 12, pp. 2770–2786.
- Rojas-Bracho L., and others (2019). A field effort to capture critically endangered vaquitas *Phocoena sinus* for protection from entanglement in illegal gillnets. *Endangered Species Research*, vol. 38, pp. 11–27.
- Roman, Joe, and others (2014). Whales as marine ecosystem engineers. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 12, No. 7, pp. 377–385.
- Seyboth, Elisa, and others (2016). Southern Right Whale (*Eubalaena australis*) Reproductive Success is Influenced by Krill (*Euphausia superba*) Density and Climate. *Scientific Reports*, vol. 6, art. 28205. <https://doi.org/10.1038/srep28205>.
- Southern Resident Orca Taskforce (2019). *Final Report and Recommendations*.
- Sydeman, William J., and others (2015). Climate change and marine vertebrates. *Science*, vol. 350, No. 6262, pp. 772–777.
- Tixier, Paul, and others (2019). Commercial fishing patterns influence odontocete whale-longline interactions in the Southern Ocean. *Scientific Reports*, vol. 9, art. 1904.
- Tulloch, Vivitskaia J.D., and others (2019). Future recovery of baleen whales is imperiled by climate change. *Global Change Biology*, vol. 25, No. 4, pp. 1263–1281.
- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Van Waerebeek, Koen, and others (2017). New records of Atlantic humpback dolphin in Guinea, Nigeria, Cameroon and Togo underscore fisheries pressure and generalized marine bushmeat demand. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, vol. 72, No. 2, pp. 1576–1586.
- Vianna, Juliana A., and others (2010). Phylogeography of the marine otter (*Lontra felina*): historical and contemporary factors determining its distribution. *Journal of Heredity*, vol. 101, No. 6, pp. 676–689. <https://doi.org/10.1093/jhered/esq088>.

- Werner, Timothy B., and others (2015). Mitigating bycatch and depredation of marine mammals in longline fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 72, No. 5, pp. 1576–1586.
- Yamada, Tadasu K., and others (2019). Description of a new species of beaked whale (*Berardius*) found in the North Pacific. *Scientific Reports*, vol. 9, art. 12723.



# 第 6E 章

# 海洋爬行动物

撰稿人: Qamar Schuyler (召集人)、Karen Evans (分章牵头成员)、Maximillian Hirschfeld、Carmen Mifsud、Gabriel Hoinsoude Segniagbeto、André Silva Barreto和Vinay Udyawer。



## 主旨要点

- 自《第一次世界海洋评估》(联合国, 2017年a)以来, 在海龟养护状况方面出现了极为不同的变化, 一些种群数量得以增长, 而另一些种群数量则灾难性下降。
- 尽管仍然存在巨大的数据缺口, 但自《第一次评估》以来, 大多数海蛇和海洋蜥蜴种群的养护状况没有改变。
- 海洋爬行动物面临的主要威胁与《第一次评估》记录的情况相似。兼捕是最大威胁, 但定向捕捞、海洋污染、生境丧失、沿海开发、疾病和气候变化也是主要威胁因素。

## 1. 导言

《第一次评估》的第39章概述了海洋爬行动物的养护状况、这些类群面临的主要威胁以及截至2012年最紧迫的养护需求(联合国, 2007年b)。

本章述及全球范围最新评估情况, 确定海龟和海蛇养护状况的区域趋势, 重点讨论自《第一次评估》以来发生的变化。本章还与本《评估》的其他章节特别是第4、7和15章相关。

### 1.1. 评估框架

《第一次评估》使用的主要海洋爬行动物状况评估框架是国际自然保护联盟(自然保护联盟)红色名录评估和自然保护联盟海龟专家小组养护优先项目组合(Wallace等人, 2010年)。本章采取类似做法, 在养护状况资料暂缺时, 纳入海龟专家小组区域报告和经同行审查的出版物所载最新信息。

## 2. 海洋爬行动物的养护状况

### 2.1. 海龟

自《第一次评估》以来, 海龟的2个全球种群和4个亚种群的状况得到更新(表1)。根据关于90%全球所有筑巢种群(包括10个确认亚种群中的6个)的数据, 全球蠘龟状况有所改善, 从濒危变为易危(表1)。但不同亚种群的状况却大相径庭, 从无危(西北和西南大西洋、地中海和北太平洋)到近危(西南和东南印度洋)、濒危(东北大西洋)和极危(西北和东北印度洋以及南太平洋)(Casale和Tucker, 2017年)。

肯氏海龟的总数较历史水平减少80%以上, 其状况已从濒危升级为极危, 扭转了1990年代和2000年代观察到的向好趋势, 原因尚不清楚, 但可能与渔业兼捕和半潜式深水钻机“地平线”号漏油事件有关(Wibbels和Bevan, 2019年)。同样, 棱皮龟的西北大西洋亚种群的状况已经从无危升级至濒危(西

北大西洋棱皮龟工作组, 2019年)。这一变化主要由更新区域筑巢趋势分析得出。

北印度洋(易危)和南大西洋(无危)的绿海龟亚种群首次受到评估(Mancini等人, 2019年; Broderick和Patricio, 2019年), 夏威夷亚种群再次受到评估, 结果仍为无危(Chaloupka和Pilcher, 2019年)。自《第一次评估》以来, 自然保护联盟没有对绿海龟进行全球性重新评估, 但根据美利坚合众国《濒危物种法》进行的一项全球评估, 大多数亚种群在未来100年内面临灭绝的可能性非常低(Seminoff等人, 2015年)。在评估的亚种群中, 地中海的亚种群被列为灭绝风险最高的亚种群。

### 2.2. 海蛇

自《第一次评估》以来, 目前确认的71个海蛇物种中有26个物种的状况得到更新, 包括4个新描述物

种中的3个。2个物种(短鼻剑尾海蛇和叶鳞剑尾海蛇)以前被评估为极危物种, 由于其已知范围的变化, 被重新归类为数据缺乏(D'Anastasi等人, 2016年, Udyawer等人, 2020年)。

在阿什莫尔礁, 深色海蛇(灰刺尾海蛇)的丰度减少, 使已知范围缩小到帝汶海的3个珊瑚礁系。灰刺尾海蛇目前被归类为濒危物种, 灰刺尾海蛇在其已缩小的范围内与榄绿剑尾海蛇这一更常见物种的杂交率很高, 引发了对榄绿剑尾海蛇高水平渐渗的关切(Sanders等人, 2014年)。

更广泛而言, 关于海蛇的文献增多, 为全球物种组合和分布提供了最新记录(Rasmussen等人, 2014年; Rezaie-Atagholipour等人, 2016年; Sarker等人, 2017年; Buzás等人, 2018年; Ganesh等人, 2019年)。通过在这些物种的全球范围内对其进行广泛的遗传评估, 重组了海蛇亚科种系发生(Sanders等人, 2013年), 重新分类了隐存物种(Sanders等人, 2013年; Ukuwela等人, 2013年; Ukuwela等人, 2014年; Lukoschek, 2018年)并描述了自《第一次评估》以来发现的4个新物种(Ukuwela等人, 2012年; Sanders等人, 2012年; Nankivell等人, 2020年)。

**表 1**  
自《第一次评估》以来自然保护联盟红色名录地位发生变化的海龟和海蛇物种

类群	俗名	自然保护联盟红色名录地位的变化
海龟	蠓龟	2015年从濒危降级为易危(亚种群范围从极危降级为无危)
	绿海龟	2019年夏威夷亚种群被评为仍属无危。2019年, 北印度洋和南大西洋亚种群分别被列为易危和无危。全球其他种群为濒危(没有变化, 但参见Seminoff等人, 2015年)
	肯氏海龟	2019年从濒危升级为极危
	棱皮龟	2019年, 西北大西洋亚种群的状况从无危升级为濒危。全球种群自2013年以来没有接受评估, 仍被归类为易危, 但所有其他亚种群要么是极危, 要么是数据缺乏(没有变化)
海蛇	短鼻剑尾海蛇	2018年名录状况从极危修订为数据缺乏
	叶鳞剑尾海蛇	2018年名录状况从极危修订为数据缺乏
	马赛克海蛇	2018年被评为数据缺乏
	鲨鱼湾海蛇	2018年被评为数据缺乏
	粗鳞海蛇	2018年被评为数据缺乏

注: 自《第一次评估》以来, 其他海龟物种没有被重新评估。

2018年, 在自然保护联盟红色名录评估中对26种澳大利亚海蛇物种进行了重新评估。除上表所列的五种物种之外, 未对其余21种澳大利亚物种进行改动。自第一次评估以来, 对在澳大利亚以外发现的(45种)物种未作重新评估。

### 2.3. 海鬣蜥

2020年, 作为自然保护联盟红色名录评估的一部分, 重新评估了海鬣蜥, 其状况仍为易危(MacLeod等人, 2020年)。最近根据形态信息和遗传信息对

该物种进行了分类审查, 将2个亚种重新分类合为1个亚种, 并增加了5个新亚种, 从而使亚种总数达到11个(Miralles等人, 2017年)。

### 3. 区域趋势

不同来源提供了关于海龟和海蛇的局部和区域种群趋势的信息。由于这些来源报告种群趋势的方式大相径庭,表2提供了一个简要总结,其中提供了具体参考信息供查询所用评估和报告方法详情。如果种群趋势数据是关于整个区域管理单位的,会将关于该单位内较小区域的报告包括在内。在

有些情况下,某单位内较小筑巢海滩或地区的趋势方向可能与该单位不同;在这种情况下则分开报告。表2只包括自《第一次评估》以来的趋势数据,因此其依据的是2015年至2020年1月期间发布的资料来源。编纂者未知或在2020年1月之后公布的其他数据可能会改变以下报告的趋势。

**表 2**  
关于海龟和海蛇丰度和分布情况的区域趋势

区域	龟类	海蛇
北大西洋、加勒比海和地中海	<b>增长趋势(筑巢)</b> 蠍龟: 西北大西洋区域管理单位(Ceriani和Meylan, 2017年; Mazaris等人, 2017年; Nalovic等人, 2018年)和地中海区域管理单位(Casale, 2015a; Mazaris等人, 2017年; Casale等人, 2018年) 绿海龟: 西北大西洋区域管理单位(Mazaris等人, 2017年; Nalovic等人, 2018年; Valdivia等人, 2019年; 国家海洋渔业服务局, 2019年), 南大西洋特有种群段(Valdivia等人, 2019年)和地中海(Casale等人, 2018年) 玳瑁龟: 西大西洋区域管理单位(Mazaris等人, 2017年; Nalovic等人, 2018年; Valdivia等人, 2019年)	
	<b>稳定趋势(筑巢)</b> 蠍龟: 佛罗里达半岛(美国)恢复单位(Valdivia等人, 2019年) 肯氏海龟: 在《第一次评估》之后出现了指数级恢复, 趋势已经相当平缓(Wibbels和Bevan, 2019年)	
	<b>下降趋势(筑巢)</b> 棱皮龟: 西北大西洋区域管理单位(西北大西洋棱皮龟工作组, 2019年) 玳瑁龟: 墨西哥(Valdivia等人, 2019年)	
	<b>增长趋势(筑巢)</b> 蠍龟: 西南大西洋区域管理单位(Casale 和 Marcovaldi, 2015年) 绿海龟: 南大西洋区域管理单位(Mazaris等人, 2017年; Broderick和Patricio, 2019年) 棱皮龟: 巴西, 但具变异性(Colman等人, 2019年) 丽龟: 西大西洋区域管理单位(Mazaris等人, 2017年)	随着气候条件的变化, 分布范围有可能扩大(Lillywhite等人, 2017年)
	<b>稳定趋势(筑巢)</b> 丽龟: 法属圭亚那(法国)(Nalovic等人, 2018年)	
	<b>下降趋势(筑巢)</b> 丽龟: 东大西洋区域管理单位(Mazaris等人, 2017年)	
南大西洋		

区域	龟类	海蛇
印度洋、阿拉伯海和波斯湾	<p><b>增长趋势(筑巢)</b></p> <p>蠓龟: 西南印度洋区域管理单位(Mazaris等人, 2017年)</p> <p>绿海龟: 西南印度洋区域管理单位(Mazaris等人, 2017年)</p> <p>丽龟: 东北印度洋区域管理单位(Mazaris等人, 2017年)</p> <p><b>稳定趋势(筑巢)</b></p> <p>绿海龟: 埃及和科威特(Phillott 和Rees, 2018年)</p> <p>棱皮龟: 印度(Phillott 和 Rees, 2018年)</p> <p>玳瑁龟: 科威特和卡塔尔(Phillott 和Rees, 2018年)</p> <p>丽龟: 印度, 两个主要筑巢区和一个次要筑巢区, 或是稳定, 或是增加(Phillott和Rees, 2018年)</p> <p><b>下降趋势(筑巢)</b></p> <p>蠓龟: 西北印度洋区域管理单位(Casale, 2015b)</p> <p>绿海龟: 北印度洋区域管理单位(Mazaris等人, 2019年)</p>	
北太平洋	<p><b>增长趋势(筑巢)</b></p> <p>蠓龟: 北太平洋区域管理单位(Casale和Marcovaldi, 2015年)</p> <p>绿海龟: 中北太平洋区域管理单位(Mazaris等人, 2017年; Chaloupka和Pilcher, 2019年)和北马里亚纳群岛(Summers等人, 2018年)</p> <p><b>下降趋势(筑巢)</b></p> <p>绿海龟: 西北太平洋区域管理单位(Mazaris等人, 2017年)</p> <p>棱皮龟: 西太平洋区域管理单位(Tiwari等人, 2013年; Mazaris等人, 2017年)和东太平洋区域管理单位(Wallace等人, 2013年, Mazaris等人, 2017年)</p> <p><b>无趋势(个体)</b></p> <p>绿海龟: 关岛, 海洋个体计数(Valdia等人, 2019年)</p>	<p>根据新的数据记录, 其地域范围北部的分布扩大(Park等人, 2017年)</p> <p>泰国湾无管制渔业渔获量呈下降趋势(Van Cao等人, 2014年)</p>
南太平洋	<p><b>增长趋势(筑巢)</b></p> <p>蠓龟: 澳大利亚(Limpus等人, 2013年)</p> <p><b>稳定趋势(筑巢)</b></p> <p>平背龟: 澳大利亚北部(Groom 等人, 2017年)</p> <p><b>下降趋势</b></p> <p>绿海龟: 雷恩岛(澳大利亚), 遗传分析可能表明孵化成功率大幅下降(Jensen等人, 2016年)</p> <p>玳瑁龟: 澳大利亚, 筑巢(Bell 等人, 2020年)</p> <p>平背龟: 西南太平洋区域管理单位(Mazaris等人, 2017年)</p> <p><b>无明确趋势(筑巢)</b></p> <p>平背龟: 澳大利亚东部(Limpus等人, 2017年)</p>	<p>根据新数据, 范围扩大(D' Anastasi等人, 2016年; Udyawer等人, 2020年)。</p>

## 4. 威胁

尽管许多海洋爬行动物受到法律保护,许多区域也采取了养护措施,但在全球范围内,海洋爬行动物面临的威胁与第一次评估确定的威胁大致相同。因渔业兼捕致死(受管制和非法、未报告和无管制)仍然是对海龟和海蛇的严重威胁(Lewis等人, 2014年; Rees等人, 2016年; Riskas等人, 2018年)。影响海洋爬行动物的其他关键威胁因素包括无管制捕捞、海洋污染、生境丧失、沿海开发、疾病和气候变化。虽然自《第一次评估》以来人们更多地认识到气候变化和海洋污染对海洋爬行动物的影响,但在种群层面的影响仍然大体未知。

### 4.1. 海龟

动物兼捕和留取可能是全球海龟种群面临的最大威胁,但《第一次评估》后所做研究让人们认识到气候变化和污染造成的威胁有了新的认识。

根据研究假设,气候变化对海龟造成的最大影响包括种群雌性化和巢温升高导致的胚胎死亡率增加(Fuentes和Ciner, 2010年)。一些筑巢海滩的基线性别比例显示,绝大多数筑巢海滩所产幼崽主要是雌性(例如, Laloë等人, 2016年; Jensen等人, 2018年),同时有一些模型表明,由于雄性比雌性的交配繁殖更频繁,雌性化实际上可在短期内提高繁殖成功率(Hays和其他人, 2014年)。尽管胚胎对高温的适应能力可能比之前认为的更强(Howard等人, 2014年),但温度升高最终的确会导致幼崽死亡(Laloë等人, 2017年)。有人认为,气候变化可能会影响区域范围内的种群趋势,温带地区繁殖成功率的提高可能会抵消热带地区幼崽产量下降的影响(Montero等人, 2018年)。然而,海平面上升(和相关的生境丧失)、气旋发生率增加使巢穴被淹和海岸侵蚀等气候变化影响也是对海龟种群的威胁(Fuentes和Cinner, 2010年)。

2010年,“地平线”号深水钻井平台漏油事件导致数十万只绿海龟、蠍龟和肯氏海龟(在不同程度上)暴露于油污(“地平线”号深水钻井平台自然资源损害评估受托人, 2016年; Putman等人, 2015

年)。虽然这一事件对种群层面的长期影响尚有待量化,但由于(成年海龟)直接死亡以及筑巢海滩的海滩清理活动的吓阻效应,蠍龟和肯氏海龟的巢穴数量似乎已经减少(Galloway等人, 2016年; Lauritsen等人, 2017年)。关于海龟和海洋垃圾相互作用的全球风险评估指出,据估计超过50%的海龟可能已摄入垃圾(Schuyler等人, 2016年),据观察玳瑁体内的塑料量多达每公斤体重8.8克(Lynch, 2018年)。海洋垃圾和其他污染物一样,对个体有明显的有害影响,但污染物对海龟种群的生态系统和种群的影响仍需要进一步研究(Nelms等人, 2016年; Wilcox等人, 2018年)。

加勒比海出现的一个新的潜在威胁是空前繁殖的马尾藻在沿岸积聚。开阔洋的马尾藻团可为海龟提供重要的关键育哺场地,但最近的研究表明,马尾藻在岸上积聚可能会抑制筑巢并阻碍幼龟分散,而马尾藻堆腐烂后会改变氧气水平和温度条件(Maurer等人, 2015年)。由于海藻大规模搁浅是新现象,特别是在东加勒比海地区,因此它对海龟筑巢的直接影响在很大程度上仍不清楚。《第一次评估》发现,沿海开发使筑巢海滩生境退化,使雌性可用筑巢地区的数量和质量继续降低(Broderick和Patricio, 2019年; Casale和Tucker, 2017年)。

### 4.2. 海蛇

在泰国湾,据记录当地鱿鱼渔业的兼捕渔获物包括大量海蛇。对于在泰国湾作业的越南渔民来说,海蛇是一种重要的商业兼捕渔获物,目前捕捞海蛇不受管制,基本上没有记录(Van Cao等人, 2014年)。基线调查发现,2008至2012年间,海蛇捕获量有所下降(Van Cao等人, 2014年)。开发减少兼捕渔获物的装置(例如在澳大利亚拖网渔业中),有助于采用减少兼捕渔获物措施的热带渔业减少意外兼捕大量海蛇的情况,但对依赖商业兼捕渔获物作为收入来源的渔业而言效用可能有限(Lobo等人, 2010年)。

据记录,海蛇活动范围内矿物开采作业附近的海蛇体内的重金属元素浓度很高,突出表明海洋污染是对海蛇种群的新威胁(Rezaie-Atagholipour等人,2012年;Sereshk和Bakhtiari,2015年;Sarker等人,2017年;Goiran等人,2017年)。

### 4.3. 海鬣蜥

在《第一次评估》中,极端气候厄尔尼诺现象、旅游业和引入种与污染同被确定为对海鬣蜥的主要威胁(Wikelski等人,2002年)。然而,自此之后就没有公布任何关于这些压力源对种群数量直接影响的信息。基于分子方法的种群规模估计表明,最近提出的亚种的规模通常很小,进化潜力降低,使它们容易受到威胁(Frankham等人,2014年;MacLeod和Steinfartz,2016年)。

关于海鬣蜥所面临威胁的进一步研究表明,旅游活动会造成生理压力并抑制免疫系统(French等人,2017年)。尽管常住人口、旅游业和经济的增

长相应增加对资源的需求(Benitez-Capistros等人,2014年;Walsh和Mena,2016年;Pizzitutti等人,2017年),对海鬣蜥构成潜在威胁,但自《第一次评估》以来,没有开展任何研究,评估石油泄漏、农业杀虫剂和塑料污染对海鬣蜥种群的影响。

尽管自1980年代以来一直在开展控制和根除引入种的方案(Barnett和Rudd,1983年;Carrión,2016年),但尚未评估这些方案对海鬣蜥种群的有效性。

总体而言,自《第一次评估》以来改进了对移民迁入、旅游业和货物进口的管理和控制,有可能减轻气候变化、污染、旅游业和引入捕食者对海鬣蜥种群造成的累积压力,但需要持续关注这些种群,以减少持续的种群衰退现象(Dirección del Parque Nacional Galápagos,2014年;瓜多尔共和国国民议会,2015年;MacLeod等人,2020年)。

## 5. 海洋爬行动物种群变化的经济和社会后果

关于海洋爬行动物种群变化的经济和社会后果的信息很少,关于海蛇的经济和社会作用(特别是在其全球范围许多区域的作用)的信息也很有限。在以旅游业促进经济增长和保护海洋爬行动物种群之间实现平衡仍然是重大挑战,就海鬣蜥而言尤其如此。

由于绿海龟几个种群的增加,更多人有意探索可否以可持续的方式进行或扩大合法捕捞,有文化或生存原因的群体在这方面的意愿尤其强烈(Chaloupka和Balazs,2007年;Rees等人,2016年)。

对发展中国家渔民对海蛇兼捕渔获物所产生收入的依赖程度(例如,Van Cao等人,2014年)知之甚少。然而,南亚和东南亚的沿岸渔业日益无利可图,海蛇的高兼捕率可能是收入来源(Lobo等人,2010年)。

《第一次评估》以来,对海蛇的报道和研究不断增加,使多地民众兴趣与日俱增,基于公民科学的长期海蛇数据收集方案得以建立(例如,Goiran和Shine,2019年)。民众更多地报告搁浅海蛇事件,使能够收集关于海蛇健康的数据,从而能够深入了解搁浅原因和分布变化(Udyawer等人,2018年)。

## 6. 知识和能力建设方面的主要差距

### 6.1. 海龟

如《第一次评估》所强调,海龟各亚种群统计数据的变异性以及影响海龟种群的威胁因素突出表明,有必要对物种和区域亚种群进行持续评估。一

项近期审查得出结论认为,在海龟种群管理所需参考的知识方面仍然存在一些主要差距(Rees等人,2016年)。一般而言,缺乏生殖生物学方面的知识,包括巢穴选择、幼崽健康和生产;觅食生境,

包括各生境之间的连通性; 统计数据; 疾病发病机制; 与污染、兼捕渔获物、气候变化等威胁相关的种群层面的风险以及相关缓解措施的潜在意外后果。

## 6.2. 海蛇

对其全球大部分范围内的海蛇而言, 缺少相关基本信息和长期监测安排。最近的一项专家调查确定了建立基线和推进海蛇种群管理的关键知识差距(Udyawer等人, 2018年)。一般而言, 缺乏关于地域分配的知识, 包括种群的流动、分散和连通情况; 确定关键生境, 特别是沿岸区域的生境; 量化抵御环境干扰(例如海洋热浪和珊瑚礁白化)的能力以及应对兼捕和气候变化等威胁的情况(Fry等人, 2001年; Gillett等人, 2014年; Heatwole等人, 2016年)。

目前还不清楚污染物等新出现的威胁可能如何影响种群健康(Rezaie-Atagholipour等人, 2012年; Sereshk和Bakhtiari, 2015年; Goiran等人, 2017年)。

关于法国新喀里多尼亚泻湖保护区内龟头海蛇无明显死因死亡的报告日益增多, 突出表明有必要了解疾病的患病率和易感性以及与气候变化的潜在相互作用(Udyawer等人, 2018年)。

鉴于可能接触海蛇的行为体种类繁多(如各种行业、休闲海滩和海洋使用者)和潜在危险(如蛇毒), 存在进行公众教育和监测的潜在机会。公众收集数据工作适时或者作为公民科学方案的一部分开展, 既包括报告搁浅的海蛇(Gillett等人, 2017年; Gillett, 2017年), 也包括更具参与性、精心规划设计以及重复开展的调查(Goiran和Shine, 2019年)。

## 6.3. 海鬣蜥

缺乏关于海鬣蜥亚种丰度的最新数据, 因而难以评估与威胁和管理行动有关的种群趋势。海鬣蜥种群遗传学和分类学的最新进展可能对未来的养护研究和管理目标有指导作用。此外, 建设地方能力并为全面长期监测分配资源, 有助于评估未来海鬣蜥的种群趋势和脆弱性。

## 参考资料

- Asamblea Nacional de la República del Ecuador (2015). LOREG: Ley Orgánica del Régimen Especial de Galápagos. [www.turismo.gob.ec/wp-content/uploads/2016/04/LOREG-11-06-2015.pdf](http://www.turismo.gob.ec/wp-content/uploads/2016/04/LOREG-11-06-2015.pdf).
- Barnett, Bruce D., and Robert L. Rudd (1983). Feral dogs of the Galapagos Islands: impact and control. *International Journal for the Study of Animal Problems*, vol. 4, No. 1.
- Bell, I.P., and others (2020). Twenty-eight years of decline: nesting population demographics and trajectory of the north-east Queensland endangered hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*). *Biological Conservation*, vol. 241, 108376. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108376>.
- Benitez-Capistros, Francisco, and others (2014). Environmental impacts on the Galapagos Islands: identification of interactions, perceptions and steps ahead. *Ecological Indicators*, vol. 38, pp. 113–23. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.10.019>.
- Broderick, A, and Ana Patricio (2019). Green Turtle: *Chelonia mydas* (South Atlantic subpopulation). In *The IUCN Red List of Threatened Species 2019*. e.T142121866A142086337. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T142121866A142086337.en>.
- Buzás, Balázs, and others (2018). The sea snakes (Elapidae: Hydrophiinae) of Fujairah. *Tribulus*, vol. 26.
- Carrión, Víctor (2016). Control y erradicación de animales introducidos: el peligro de las especies invasoras – Parte I: Animales. 4 October 2016. [www.carlospi.com/galapagospark/parque\\_nacional\\_especies\\_invasoras\\_animales.html](http://www.carlospi.com/galapagospark/parque_nacional_especies_invasoras_animales.html).
- Casale, P. (2015a). *Caretta caretta* (Mediterranean subpopulation). In *The IUCN Red List of Threatened Species 2015*. e.T83644804A83646294.

- \_\_\_\_\_ (2015b). *Caretta caretta* (North West Indian Ocean subpopulation). In *The IUCN Red List of Threatened Species 2015*. e.T84127873A84127992.
- Casale, P., and M.A. Marcovaldi (2015). *Caretta caretta* (South West Atlantic subpopulation). In *The IUCN Red List of Threatened Species 2015*. e.T84191235A84191397.
- Casale, P., and Y. Matsuzawa (2015). *Caretta caretta* (North Pacific subpopulation). In *The IUCN Red List of Threatened Species 2015*. e.T83652278A83652322.
- Casale, P., and A.D. Tucker (2017). *Caretta caretta*. In *The IUCN Red List of Threatened Species 2017*. e. 3897A119333622.
- Casale, P., and others (2018). Mediterranean sea turtles: current knowledge and priorities for conservation and research. *Endangered Species Research*, vol. 36, pp. 229–267.
- Ceriani, S.A., and A. Meylan (2017). *Caretta caretta* (North West Atlantic subpopulation) (amended version of 2015 assessment). In *The IUCN Red List of Threatened Species 2017*. e.T84131194A119339029.
- Chaloupka, M., and George Balazs (2007). Using Bayesian state-space modelling to assess the recovery and harvest potential of the Hawaiian green sea turtle stock. *Ecological Modelling*, vol. 205, Nos. 1 and 2, pp. 93–109.
- Chaloupka, M., and N.J. Pilcher (2019). *Chelonia mydas* (Hawaiian subpopulation). In *The IUCN Red List of Threatened Species 2019*. e.T16285718A142098300.
- Colman, Liliana P., and others (2019). Thirty years of leatherback turtle *Dermochelys coriacea* nesting in Espírito Santo, Brazil, 1988–2017: reproductive biology and conservation. *Endangered Species Research*, vol. 39, pp. 147–158.
- D’anastasi, B.R., and others (2016). New range and habitat records for threatened Australian sea snakes raise challenges for conservation. *Biological Conservation*, vol. 194, pp. 66–70.
- Deepwater Horizon Natural Resource Damage Assessment Trustees (2016). *Deepwater Horizon oil spill: Final Programmatic Damage Assessment and Restoration Plan and Final Programmatic Environmental Impact Statement*. Retrieved from [www.gulfspillrestoration.noaa.gov/restoration-planning/gulf-plan](http://www.gulfspillrestoration.noaa.gov/restoration-planning/gulf-plan).
- Dirección del Parque Nacional Galápagos (2014). *Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos para el Buen Vivir*.
- Frankham, Richard, and others (2014). Genetics in conservation management: revised recommendations for the 50/500 rules, Red List criteria and population viability analyses. *Biological Conservation*, vol. 170, pp. 56–63.
- French, Susannah S., and others (2017). Too much of a good thing? Human disturbance linked to ecotourism has a “dose-dependent” impact on innate immunity and oxidative stress in marine iguanas, *Amblyrhynchus cristatus*. *Biological Conservation*, vol. 210, pp. 37–47.
- Fry, G.C., and others (2001). The reproductive biology and diet of sea snake bycatch of prawn trawling in northern Australia: characteristics important for assessing the impacts on populations. *Pacific Conservation Biology*, vol. 7, No. 1, pp. 55–73.
- Fuentes, M.M.P.B., and J.E. Cinner (2010). Using expert opinion to prioritize impacts of climate change on sea turtles’ nesting grounds. *Journal of Environmental Management*, vol. 91, No. 12, pp. 2511–2518.
- Gallaway, Benny J., and others (2016). Evaluation of the status of the Kemp’s ridley sea turtle after the 2010 Deepwater Horizon oil spill. *Gulf of Mexico Science*, vol. 33, No. 2, pp. 192–205.
- Ganesh, S.R., and others (2019). Marine snakes of Indian coasts: historical resume, systematic checklist, toxinology, status, and identification key. *Journal of Threatened Taxa*, vol. 11, No. 1, pp. 13132–13150.
- Gillett, Amber K. (2017). An investigation into the stranding of Australian sea snakes.

- Gillett, Amber K., and others (2014). An antemortem guide for the assessment of stranded Australian sea snakes (Hydrophiinae). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, vol. 45, No. 4, pp. 755–765.
- Gillett, Amber K., and others (2017). Postmortem examination of Australian sea snakes (Hydrophiinae): Anatomy and common pathologic conditions. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, vol. 29, No. 5, pp. 593–611.
- Goiran, C., and others (2017). Industrial melanism in the seasnake *Emydocephalus annulatus*. *Current Biology*, vol. 27, No. 16, pp. 2510–2513.
- Goiran, C., and Richard Shine (2019). Grandmothers and deadly snakes: an unusual project in “citizen science”. *Ecosphere*, vol. 10, No. 10. e02877.
- Groom, Rachel A., and others (2017). Estimating long-term trends in abundance and survival for nesting flatback turtles in Kakadu National Park, Australia. *Endangered Species Research*, vol. 32, pp. 203–211.
- Hays, Graeme C., and others (2014). Different male vs. female breeding periodicity helps mitigate offspring sex ratio skews in sea turtles. *Frontiers in Marine Science*, vol. 1, art. 43.
- Heatwole, Harold, and others (2016). Physiological, ecological, and behavioural correlates of the size of the geographic ranges of sea kraits (Laticauda; Elapidae, Serpentes): A critique. *Journal of Sea Research*, vol. 115, pp. 18–25.
- Howard, Robert, and others (2014). Thermal tolerances of sea turtle embryos: current understanding and future directions. *Endangered Species Research*, vol. 26, No. 1, pp. 75–86.
- Jensen, Michael P., and others (2016). Spatial and temporal genetic variation among size classes of green turtles (*Chelonia mydas*) provides information on oceanic dispersal and population dynamics. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 543, pp. 241–256.
- Jensen, Michael P., and others (2018). Environmental warming and feminization of one of the largest sea turtle populations in the world. *Current Biology*, vol. 28, No. 1, pp. 154–159.
- Laloë, Jacques-Olivier, and others (2016). Sand temperatures for nesting sea turtles in the Caribbean: Implications for hatchling sex ratios in the face of climate change. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 474, pp. 92–99.
- Laloë, Jacques-Olivier, and others (2017). Climate change and temperature-linked hatchling mortality at a globally important sea turtle nesting site. *Global Change Biology*, vol. 23, No. 11, pp. 4922–4931.
- Lauritsen, Ann Marie, and others (2017). Impact of the Deepwater Horizon oil spill on loggerhead turtle *Caretta caretta* nest densities in northwest Florida. *Endangered Species Research*, vol. 33, pp. 83–93.
- Lewis, Rebecca L., and others (2014). Global patterns of marine mammal, seabird, and sea turtle bycatch reveal taxa-specific and cumulative megafauna hotspots. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, No. 14, pp. 5271–5276.
- Lillywhite, Harvey B., and others (2017). Why are there no sea snakes in the Atlantic? *BioScience*, vol. 68, No. 1, pp. 15–24.
- Limpus, C.J., and others (2013). Monitoring of Coastal Sea Turtles: Gap Analysis 1. Loggerhead turtles, *Caretta caretta*, in the Port Curtis and Port Alma Region, Australia. Report produced for the Ecosystem Research and Monitoring Program Advisory Panel as part of Gladstone Ports Corporation’s Ecosystem Research and Monitoring Program.
- Limpus, C.J., and others (2017). Estimation of population size and comparison of the benefits of mid-season census and whole of breeding season census of flatback turtle reproduction in eastern Australia. Report produced for the Ecosystem Research and Monitoring Program Advisory Panel as part of Gladstone Ports Corporation’s Ecosystem Research and Monitoring Program.
- Lobo, Aaron Savio, and others (2010). Commercializing bycatch can push a fishery beyond economic extinction. *Conservation Letters*, vol. 3, No. 4, pp. 277–285.

- Lukoschek, Vimoksalehi (2018). Congruent phylogeographic patterns in a young radiation of live-bearing marine snakes: Pleistocene vicariance and the conservation implications of cryptic genetic diversity. *Diversity and Distributions*, vol. 24, No. 3, pp. 325–340.
- Lynch, Jennifer M. (2018). Quantities of marine debris ingested by sea turtles: global meta-analysis highlights need for standardized data reporting methods and reveals relative risk. *Environmental Science & Technology*, vol. 52, No. 21, pp. 12026–12038.
- MacLeod, Amy, and others (2020). *Amblyrhynchus cristatus*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2020*: e.T1086A499235.
- MacLeod, Amy, and Sebastian Steinfartz (2016). The conservation status of the Galápagos marine iguanas, *Amblyrhynchus cristatus*: a molecular perspective. *Amphibia-Reptilia*, vol. 37, No. 1, pp. 91–109.
- Mancini, A., and others (2019). *Chelonia mydas* (North Indian Ocean subpopulation). In *The IUCN Red List of Threatened Species 2019*. e.T142121108A142122995.
- Maurer, Andrew S., and others (2015). Sargassum accumulation may spell trouble for nesting sea turtles. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 13, No. 7, pp. 394–395.
- Mazaris, Antonios D., and others (2017). Global sea turtle conservation successes. *Science Advances*, vol. 3, No. 9, e 1600730.
- Miralles, Aurélien, and others (2017). Shedding light on the Imps of Darkness: an integrative taxonomic revision of the Galápagos marine iguanas (genus *Amblyrhynchus*). *Zoological Journal of the Linnean Society*, vol. 181, No. 3, pp. 678–710.
- Montero, Natalie, and others (2018). Influences of the local climate on loggerhead hatchling production in North Florida: implications from climate change. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 262.
- Nalovic, Michel, and others (2018). *Sea Turtles in the North-West Atlantic & Caribbean Region: MTSG Annual Regional Report 2018*. Draft report of the IUCN-SSC Marine Turtle Specialist Group.
- Nankivell, J.H., and others (2020). A new species of turtle-headed sea Snake (*Emydocephalus*: Elapidae) endemic to Western Australia. *Zootaxa*. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4758.1.6>.
- Nelms, Sarah E., and others (2016). Seismic surveys and marine turtles: an underestimated global threat? *Biological Conservation*, vol. 193, pp. 49–65.
- National Marine Fisheries Service (2019). *Recovering Threatened and Endangered Species, FY 2017-2018. Report to Congress*.
- Northwest Atlantic Leatherback Working Group (2019). *Dermochelys coriacea* (Northwest Atlantic Ocean subpopulation). *The IUCN Red List of Threatened Species 2019*. e.T46967827A83327767.
- Park, Jaejin, and others (2017). Northward dispersal of sea kraits (*Laticauda semifasciata*) beyond their typical range. *PloS One*, vol. 12, No. 6, e 0179871.
- Phillott, A.D., and A. Rees, eds. (2018). *Sea Turtles in the Middle East and South Asia Region: MTSG Annual Regional Report 2018*. Draft report of the IUCN-SSC Marine Turtle Specialist Group.
- Pizzitutti, Francesco, and others (2017). Scenario planning for tourism management: a participatory and system dynamics model applied to the Galapagos Islands of Ecuador. *Journal of Sustainable Tourism*, vol. 25, No. 8, pp. 1117–1137.
- Putman, Nathan F., and others (2015). Deepwater Horizon oil spill impacts on sea turtles could span the Atlantic. *Biology Letters*, vol. 11, No. 12, 20150596.
- Rasmussen, Arne Redsted, and others (2014). Sea snakes in Australian waters (Serpentes: subfamilies Hydrophiinae and Laticaudinae) – a review with an updated identification key. *Zootaxa*, vol. 3869, No. 4, pp. 351–371.
- Rees, A.F., and others (2016). Are we working towards global research priorities for management and conservation of sea turtles? *Endangered Species Research*, vol. 31, pp. 337–382.

- Rezaie-Atagholipour, Mohsen, and others (2012). Metal concentrations in selected tissues and main prey species of the annulated sea snake (*Hydrophis cyanocinctus*) in the Hara Protected Area, north-eastern coast of the Persian Gulf, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 64, No. 2, pp. 416–421.
- Rezaie-Atagholipour, Mohsen, and others (2016). Sea snakes (Elapidae, Hydrophiinae) in their western-most extent: an updated and illustrated checklist and key to the species in the Persian Gulf and Gulf of Oman. *ZooKeys*, No. 622, pp. 129–164.
- Riskas, Kimberly A., and others (2018). Evaluating the threat of IUU fishing to sea turtles in the Indian Ocean and Southeast Asia using expert elicitation. *Biological Conservation*, vol. 217, pp. 232–239.
- Sanders, Kate L., and others (2012). *Aipysurus mosaicus*, a new species of egg-eating sea snake (Elapidae: Hydrophiinae), with a redescription of *Aipysurus eydouxii* (Gray, 1849). *Zootaxa*, No. 3431, pp. 1–18.
- Sanders, Kate L., and others (2013). Multilocus phylogeny and recent rapid radiation of the viviparous sea snakes (Elapidae: Hydrophiinae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, vol. 66, No. 3, pp. 575–591.
- Sanders, Kate L., and others (2014). High rates of hybridisation reveal fragile reproductive barriers between endangered Australian sea snakes. *Biological Conservation*, vol. 171, pp. 200–208.
- Sarker, Mohammad Abdur Razzaque, and others (2017). Sea snakes of Bangladesh: a preliminary survey of Cox's Bazar District with notes on diet, reproduction, and conservation status. *Herpetological Conservation and Biology*, vol. 12, No. 2, pp. 384–393.
- Schuyler, Qamar A., and others (2016). Risk analysis reveals global hotspots for marine debris ingestion by sea turtles. *Global Change Biology*, vol. 22, No. 2, pp. 567–576.
- Seminoff, Jeffrey Aleksandr, and others (2015). Status review of the green turtle (*Chelonia mydas*) under the Endangered Species Act, United States.
- Sereshk, Zahra Heydari, and Alireza Riyahi Bakhtiari (2015). Concentrations of trace elements in the kidney, liver, muscle, and skin of short sea snake (*Lapemis curtus*) from the Strait of Hormuz Persian Gulf. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 22, No. 20, pp. 15781–15787.
- Summers, Tammy M., and others (2018). Endangered Green Turtles (*Chelonia mydas*) of the Northern Mariana Islands: Nesting Ecology, Poaching, and Climate Concerns. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 428.
- Tiwari, M., and others (2013). *Dermochelys coriacea* (West Pacific Ocean subpopulation). In *The IUCN Red List of Threatened Species 2013*. e.T46967817A46967821.
- Udyawer, Vinay, and others (2018). Future directions in the research and management of marine snakes. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 399.
- Udyawer, Vinay, and others (2020). Prioritising search effort to locate previously unknown populations of endangered marine reptiles. *Global Ecology and Conservation*, vol. 22, e01013.
- Ukuwela, Kanishka D.B., and others. (2012). *Hydrophis donaldi* (Elapidae, Hydrophiinae), a highly distinctive new species of sea snake from northern Australia. *Zootaxa*, vol. 3201, No. 1, pp. 45–57.
- Ukuwela, Kanishka D.B., and others (2013). Molecular evidence that the deadliest sea snake *Enhydrina schistosa* (Elapidae: Hydrophiinae) consists of two convergent species. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, vol. 66, No. 1, pp. 262–269.
- Ukuwela, Kanishka D. B., and others (2014). Multilocus phylogeography of the sea snake *Hydrophis curtus* reveals historical vicariance and cryptic lineage diversity. *Zoologica Scripta*, vol. 43, No. 5, pp. 472–484.
- United Nations (2017a). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2017b). Chapter 39: Marine reptiles. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Valdivia, Abel, and others (2019). Marine mammals and sea turtles listed under the US Endangered Species Act are recovering. *PloS One*, vol. 14, issue 1, e0210164

- Van Cao, Nguyen, and others (2014). Sea snake harvest in the Gulf of Thailand. *Conservation Biology*, vol. 28, No. 6, pp. 1677–1687.
- Wallace, Bryan P., and others (2010). Regional management units for marine turtles: a novel framework for prioritizing conservation and research across multiple scales. *PloS One*, vol. 5, issue 12, e15465.
- Wallace, B., and others (2013). *Dermochelys coriacea* East Pacific Ocean subpopulation. In *The IUCN Red List of Threatened Species*. e.T46967807A46967809.
- Walsh, Stephen J., and Carlos F. Mena (2016). Interactions of social, terrestrial, and marine sub-systems in the Galapagos Islands, Ecuador. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, No. 51, pp. 14536–14543.
- Wibbels, T., and E. Bevan (2019). *Lepidochelys kempii*. In *The IUCN Red List of Threatened Species 2019*. e.T11533A142050590.
- Wikelski, Martin and others (2002). Galapagos islands: marine iguanas die from trace oil pollution. *Nature*, vol. 417, pp. 607–608.
- Wilcox, Chris and others (2018). A quantitative analysis linking sea turtle mortality and plastic debris ingestion. *Scientific Reports*, vol. 8, art. 12536.

# 第 6F 章

## 海鸟

**撰稿人：** Martin Cryer (召集人)、Igor Debski、Maria Dias、Karen Evans (分章牵头成员)、Carolina Hazin、Chul Park (本章牵头成员)、Cleo Small 和 Graeme Taylor。



## 主旨要点

- 自《第一次世界海洋评估》(联合国, 2017年)以来, 全球海鸟养护状况延续长期恶化趋势。
- 目前有31%的物种面临灭绝威胁, 这一数字高于2010年的28%。
- 如今, 与捕捞有关的压力(兼捕和猎物枯竭)所影响的种数增加, 而受污染影响的种数则有所减少(海洋垃圾、特别是塑料是新出现的威胁, 但其影响尚不清楚)。
- 外来入侵物种和气候变化仍然是海鸟数量下降的主要原因, 受此影响的种数与2010年时类似。
- 受目前的能力和资源所限, 难以评估现有和新出现的威胁在种群层面产生的后果和对生态系统服务的影响。

## 1. 引言

海鸟(系指种群中一大部分个体至少在一年部分时间内依赖海洋环境的鸟类物种(Croxall等人, 2012年))在世界海洋生态系统中发挥重要作用; 它们是顶级捕食者, 消费的生物量大约相当于所有渔业的总和(Brooke, 2004年)。海鸟分布于从沿海地区到公海的所有海洋, 其中许多物种具有高度迁徙性, 连接不同海洋系统或海洋盆地(Croxall等人, 2005年; Shaffer等人, 2006年; Egevang等人, 2010年; Dias等人, 2011年)。

按现行分类共鉴定出359个种, 隶属于6目12科。Croxall等人(2012年)按照物种丰富度、特有种数量和受威胁种数总结了各种海鸟的全球分布情况(按国家分列)。与大多数其他海洋类群相比, 有关海鸟的研究相对较多; 自《第一次评估》以来, 已开展过几次评估, 记录特定类群的状况和最近趋势(Trathan等人, 2015年; Phillips等人, 2016年; Rodríguez等人, 2019年)。

《第一次评估》报告称, 97种海鸟被列为不同程度的受威胁物种(即在2010年国际自然保护联盟(自然保护联盟)濒临灭绝物种红色名录中被称为极危、濒危或易危的物种), 在当时评估的346个物种中占28%。《第一次评估》还强调指出, 远洋海鸟物种所受威胁尤为严重, 信天翁(信天翁科)、圆尾鹱(鹱科圆尾鹱属和拟燕鹱属)和企鹅(企鹅科)是列入自然保护联盟红色名录受威胁等级的物种比例最高的类群。《第一次评估》得出的结论是, 海鸟种群数量下降由10种主要压力导致。海上的压力包括意外兼捕(延绳、刺网和拖网渔业)、污染(溢油和塑料等海洋垃圾)、捕捞所致猎物物种枯竭, 以及海上能源生产和采矿。陆上的主要威胁是外来入侵物种、存在问题的本土物种(如过剩的本土物种)、人类干扰、工业和住宅开发, 以及狩猎和诱捕。该评估认定, 气候变化和恶劣天气在陆上和海上都对海鸟造成影响。

## 2. 环境变化说明(2010-2020年)

表1按海鸟的目分列了2018年自然保护联盟红色名录每个等级内的种数。自2018年以来, 研究者使用从900多份出版物整理的数据和基于自然保护联盟红色名录威胁分类系统(自然保护联盟, 2019年)的标准化评估方法, 对影响全球所有海鸟物种的威胁进行定量审查(Dias等人, 2019年)。

Dias等人(2019年)在其审查中采用了与Croxall等人(2012年)类似的方法, 这样Dias等人的审查结果便可用于评价自《第一次评估》以来海鸟状况及其所受威胁的变化情况。自《第一次评估》以来, 有28种海鸟升级(即其养护状况恶化), 11种海鸟降级(即其养护状况好转)(表2)。尤其值得注意的是雁形目(海鸭)和鹱形目(鹱)物种的恶化状况, 雁形目18

个种有5个升级, 鸕形目131个种有11个升级, 4个降级。鸕形目(特别是信天翁和圆尾鸕)和企鹅仍然是受威胁物种比例最高的类群(见表1)。自《第一次

评估》以来物种降级的原因是知识的提升(例如, 发现新的栖息群体和修订分类), 而非物种状况真正有所好转。

表1

Croxall等人(2012年)和Dias等人(2019年)的研究涉及的列入2018年自然保护联盟红色名录每个等级的海鸟种数(346种)(按目分列)

海鸟的目	灭绝	极危	濒危	易危	近危	无危	数据缺乏	共计
鸕形目(鸕)	2	13	20	27	19	47	3	131
企鹅目(企鹅)	0	0	5	5	3	5	0	18
鸽形目(海鸥和海雀)	1	1	4	10	11	93	0	120
雁形目(海鸭)	0	0	0	4	2	12	0	18
鳾鸟目(塘鹅和鳾鸟)	0	2	5	8	3	26	0	44
潜鸟目(潜鸟)	0	0	0	0	1	4	0	5
鸬形目(鸬)	0	0	0	0	0	3	0	3
鸬形目(鸬)	0	0	0	0	1	2	0	3
鸬形目(鸬)	0	0	0	1	0	3	0	4
共计	3	16	34	55	40	195	3	346

对Dias等人(2019年)和Croxall等人(2012年)所作审查进行比较后还可看出, 外来入侵物种、气候变化、恶劣天气等因素继续影响全球受威胁物种, 受此影响的种数与2010年时类似(图一)。Dias等人(2019年)发现, 2018年受渔业兼捕和捕捞所致猎物枯竭影响的海鸟种数超过2010年(受渔业兼捕影响的全球受威胁物种有50个, 与2010年相比增加10个; 受捕捞所致猎物枯竭影响的全球受威胁物种有22个, 与2010年相比增加12个)。这些增加至少在一定程度上是由于人们如今更加了解兼捕、特别是刺网渔业中的兼捕对海鸟的影响(Crawford等人, 2015年; 另见下文)以及渔业与海鸟之间争夺猎物物种的影响(Crawford等人, 2015年; Grémillet等人, 2018年; Trathan等人, 2015年)。猎物物种数量下降也可能由气候变化等非捕捞因素所致(Mitchell等人, 2020年)。影响受威胁物种的主要威胁与影响所有海鸟物种的主要威胁相同(Dias等人, 2019年)。

气候变化据报已导致近100种海鸟数量下降(Dias等人, 2019年)。例如, 晚冬海面温度变化与黑眉信天翁种群增长率下降有关, 主要原因是海面温度变化对猎物可得性并进而对信天翁幼体的存活造成影响(Jenouvrier等人, 2018年)。同样, Carroll等人(2015年)发现, 爱尔兰和大不列颠及北爱尔兰联合王国的11群三趾鸥在繁殖前海水分层现象较弱以及繁殖季节期间海面温度较低的情况下, 繁殖成功率较高。

外来入侵物种继续对73个物种构成威胁, 这一数字与2010年时相同, 鼠和猫对圆尾鸕、风暴海燕等小型鸕的威胁尤为严重(Rodríguez等人, 2019年)。Jones等人(2016年)在其全球审查中发现, 有122种海鸟(202个种群)因岛上消灭入侵哺乳动物而受益(种群规模扩大或在某一地点形成栖息群体)。研究者发现, 其他恢复或改善海鸟生境的方案也是有益的, 其中包括种植植被和重新造林、杂草治理、改善或提供筑巢机会以及侵蚀治理(Beck

等人, 2015年; Bried和Neves, 2015; Buxton等人, 2016年)。

渔业兼捕仍然是鸕形目海鸟在海上受到的最大威胁, 主要对信天翁、大型鸕和剪水鸕造成影响(Phillips等人, 2016年; Rodríguez, 2019年)。可持续发展目标具体目标14.2<sup>1</sup>规定, 到2020年, 应可持续管理和保护海洋和沿海生态系统, 以免产生重大负面影响; 为在实现目标12方面取得进展, 需要考虑到对生物多样性的影响。各国一直在加大努力, 减少渔业中的兼捕海鸟现象; 其中, 一些使用延绳、拖网或刺网捕捞方法(这些方法最常出现兼捕问题)的国家通过或更新了国家行动计划。此外, 还在一些国家管辖区和公海部分区域采取强制性减轻影响措施, 如支绳配重、夜间布绳、惊鸟绳和关闭区域(Brothers等人, 1999年; Abraham等人, 2017年)。有证据表明, 渔业所致猎物枯竭影响到的受威胁海鸟种数在过去10年增长了1倍多(Croxall等人, 2012年; Dias等人, 2019年), 尽管这一增长至少在一定程度上是由于人们加深了对该领域的了解。

**表2**

**2010年至2018年期间海鸟物种在自然保护联盟红色名录中的状况变化总结<sup>a</sup>**

海鸟的目	升级	不变	降级	数据缺乏	共计
鸕形目	11	112	4	4	131
企鹅目	1	15	2	0	18
鸻形目	8	108	4	0	120
雁形目	5	13	0	0	18
鸂鸟目	2	41	1	0	44
潜鸟目	0	5	0	0	5
鸕形目	0	3	0	0	3
鸕形目	0	3	0	0	3
鸕形目	1	3	0	0	4
<b>共计</b>	<b>28</b>	<b>303</b>	<b>11</b>	<b>4</b>	<b>346</b>

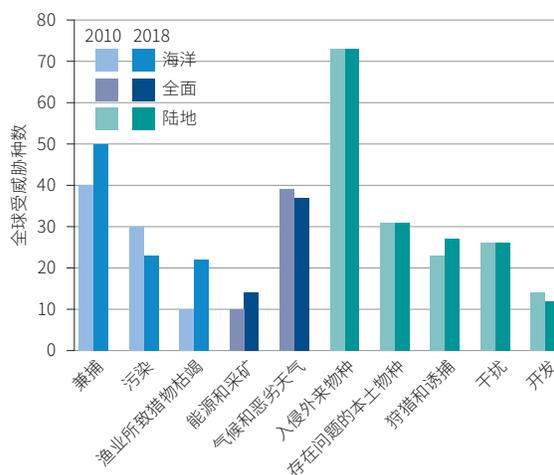
资料来源: 2010年数据来自Croxtall等人(2012年); 2018年数据Dias等人(2019年)。

注: “升级”系指2018年的养护状况与2010年相比恶化, 而“降级”指养护状态好转。如某一物种在2010年或2018年列入自然保护联盟红色名录时被归为“数据缺乏”一类, 则将该物种视为数据缺乏, 因为无法对状况变化作出有意义的评估。

<sup>a</sup> 比较仅限于两位作者均予以研究的346种海鸟。

<sup>1</sup> 见大会第70/1号决议。

**图一**  
**评估认定的2010年和2018年受海洋、陆地和全面威胁进程影响的全球受威胁海鸟种数**



资料来源: 2010年数据来自Croxtall等人(2012年); 2018年数据来自Dias等人(2019年)。

注: 仅显示两项评估均予以研究的进程。

相比之下,最新评估发现,与海洋污染有关的威胁减少,污染目前对23个全球受威胁物种造成影响(与2010年相比减少7个)。这一减少的主要原因是近几十年来与溢油有关的污染总体减少(Roser, 2013年)。记录表明,海洋塑料形式的污染对海鸟物种造成大规模影响(例如, Wilcox等人, 2015年)。尽管可持续发展目标具体目标14.1规定,到2025年预防 and 大幅减少各类海洋污染,但海洋环境中的塑料预计将在今后数十年继续影响许多海鸟物种(Kühn等人, 2015年; Ryan等人, 2009年; Wilcox等人, 2015年)。虽然这种形式的污染尚未被认定为种群数量下降的直接原因(但见Auman等人(1997年)和Lavers等人(2014年)),但风暴海燕、锯鹱、小海雀等更具远洋性的小型物种(Roman等人, 2019年; Wilcox等人, 2015年)最有可能面临风险。群体栖息地的光污染(Rodríguez等人, 2017年; Rodríguez等人, 2019年)以及来自海上石油平台、船只和其他人工结构的光污染对小型鹱构成威胁(Montevecchi, 2006年; Rodríguez等人, 2019年),尽管对种群的影响尚不清楚。这种威胁在《第一次评估》中并未予以审查。

Dias等人(2019年)认定的其他新出现的威胁包括能源生产,特别是近海风力发电场、深海采矿(Green等人, 2016年)和光污染,包括来自平台、船

只等海洋基础设施的光污染(Rodríguez等人, 2017年; Rodríguez等人, 2019年)。人们对这些威胁在种群层面的影响仍然了解有限,但海鸟幼鸟和群体栖息地附近的鸟类似乎特别容易受到光污染的影响(Rodríguez等人, 2015年)。研究者描述了至少21种鹱形目鸟类受到的不利影响,如撞击和死亡,原因包括鸟类受到捕捞和海上油气设施的人工灯光吸引(Montevecchi, 2006年)。这些领域的发展与实现可持续发展目标具体目标15.9相关,该具体目标规定,到2020年,应把生态系统和生物多样性价值观纳入国家和地方规划和发展进程(同时还注意到目标7、9和11在这一领域的相关性)。

虽然一些企鹅物种的种群规模在扩大,但气候变化已被认定为该类群许多物种面临的主要威胁,其种群数量下降主要与生境条件改变、洪水和风暴频率增加以及极端温度有关(Trathan等人, 2015年; Dias等人, 2019年)。可持续发展目标具体目标13.2规定,应将应对气候变化的举措纳入国家政策、战略和规划,尽管该具体目标并未说明目标日期。如今,兼捕、与渔业的竞争、污染、外来入侵物种和对群体的干扰也被认为是对企鹅物种造成压力的重要因素(Trathan等人, 2015年; Crawford等人, 2017年; Dias等人, 2019年)。

### 3. 海鸟种群变化对人类社区、经济和福祉的影响

海鸟种群的变化,特别是数量的大幅下降,对生物多样性以及海洋系统的相关运转及其提供的生态系统服务产生影响(Wenny等人, 2011年; Burdon等人, 2017年; Tavares等人, 2019年)。例如,在海上觅食和在岸上筑巢的海鸟可以提供进入上述各系统的很大一部分营养物质,提高当地动植物和毗邻沿海系统的生产力(Graham等, 2018)。此类营养物质转移发生改变,将对这些系统产生深刻

影响。虽然海鸟种群变化对生态系统服务的潜在影响尚不清楚,但这种影响可能多种多样、错综复杂。因此,海鸟种群变化对生态系统服务的重要影响与许多可持续发展目标直接相关,其中包括目标7(经济适用的清洁能源)、目标9(产业、创新和基础设施)、目标11(可持续城市和社区)、目标12(负责任消费和生产)、目标13(气候行动)、目标14(水下生物)和目标15(陆地生物)。

### 4. 展望

海鸟种群状况的持续长期恶化,特别是过去10年远洋物种状况的恶化(图二),以及重大威胁的持续存在,表明海鸟的短期前景并不乐观。

目前为减轻渔业兼捕和入侵物种(特别是岛屿生境中的入侵物种)的影响所作的努力可能会继续,因为这些努力对生物多样性和海鸟养护的重要意义日益得到认可和优先考虑(Buxton等人, 2016年;

Jones等人, 2016年)。但如果饵料鱼受到的捕捞压力增加, 渔业与海鸟之间的竞争可能加剧, 一些海鸟种群或许会受到相关的有害影响, 尽管关于一致影响的实证证据并不确凿(Hilborn等人, 2017年)。气候变化导致海洋条件改变, 从而造成猎物丰度下降, 或许会使得可能正在加剧的竞争产生更加严重的影响(Grémillet和Boulinier, 2009年)。在这一情况下, 渔业向较低营养级、特别是中深海层物种(St.John等人, 2016年)过渡可能尤其会造成问题, 因为中深海层鱼类是许多远洋海鸟食物的重要组成部分(Watanuki和Thiebot, 2018)。

由于气候变化, 猎物可能重新分布, 海洋群落组成也会改变, 许多海鸟种群预计将受到深刻影响。气候变化可能产生以下直接影响: 繁殖和栖息群体的热应激增加; 风暴频率和强度增加, 导致繁殖和栖息群体受到更多干扰, 位于低洼地区的群体尤其如此; 海平面上升使得低洼的筑巢和觅食区被淹没(Grémillet和Boulinier, 2009年)。企鹅等类群特别容易受到气候变化负面后果的影响(Dias等人, 2019年), 依赖浮冰或可能因气候变化而恶化的特定生境条件的企鹅物种尤其如此(Ainley等人, 2010年)。虽然还有许多物种预计将受到气候变化的负面影响(禽鸟生命国际组织和全国奥杜邦学会, 2015年), 但也有一些物种预计将受到正面影响, 其分布范围或种群规模将有所扩大。例如, 在赫德岛(澳大利亚)筑巢的帝企鹅和黑眉信天翁种群数量预计将增加(Chambers等人, 2011年), 因为繁殖区的面积随着冰川消退而扩大。

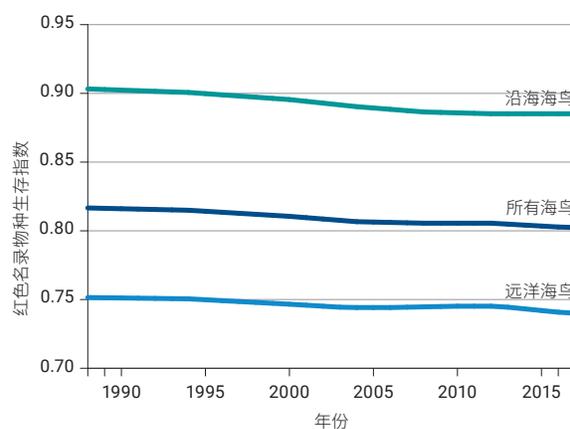
随着可再生能源(风能、水能和波浪能)技术的使用范围在全球继续扩大, 海鸟与相关建造物相互影响的风险或许会增加。这些相互影响可能主要发生在潜鸟、海番鸭、燕鸥、欧鸬鹚等沿海物种身上(Garthe和Hüppop, 2004年), 而对于剪水鹱等流动性较高的物种, 这一问题或许更加严重(Busch和Garthe, 2018年)。通过运用关于生境利用状况的观测和追踪数据, 确定海鸟不常出没的地区, 然后在这些地区建造设施, 可降低影响加剧的可能性(例如, Busch等人, 2013年; Winship等人, 2018年)。

虽然重大溢油事件的数量在过去几十年有所减少, 但海洋垃圾等其他方面的污染可能会增加, 特别

是考虑到海洋环境中塑料废弃物的数量预计将大幅增加(Jambeck等人, 2015年)。与光污染有关的影响预计也将增加, 这主要与海上运输的持续增长有关, 海上运输正在以每年约4%的速度扩大(联合国贸易和发展会议, 2018年)。濒危物种和种群规模较小的物种更有可能受到影响(Rodríguez等人, 2019年)。不断增长的海上运输还可能增加将外来捕食者或病原体引入更多地点的风险, 或许会影响海鸟种群(Renner等人, 2018年)。

使用新的海鸟追踪技术(例如, 见Sansom等人, 2018年; Zhang等人, 2019年)以及精密的测绘和分析软件, 将有可能更精确地估计海鸟种群面临各项威胁的风险。这样应该能够确定针对哪些物种、生命阶段、威胁、地点和时间采取减轻影响措施, 将为海鸟种群带来最大惠益, 并准确查明主要的知识缺口。定量空间重叠法以往主要用于评估捕捞带来的影响和风险(例如, 见Tuck等人, 2011年; Abraham等人, 2017年; Clay等人, 2019年), 可用于将来评估所有具有空间维度的威胁(例如, 相关报告见Currey等人, 2012年; Redfern等人, 2013年)。

图二  
1988-2017年期间海鸟红色名录物种生存指数



注: 红色名录指数使用自然保护联盟红色名录中的信息, 计量类群内各物种的预计总体生存率(Butchart等人, 2007年)。该指数根据每个威胁分类等级中各物种所占比例因每个物种状况真正改善或恶化而产生的变化计算。修订后的指数具有如下对应关系: 对于任何给定的类群, 数值1表示所有物种均被归为无危, 而数值0则表示所有物种均已灭绝。

## 5. 知识方面的主要差距

尽管对海鸟的研究相对较多，但风暴海燕、圆尾鹱、锯鹱、小海雀等小型物种的种群统计、状况、海上分布情况和种群趋势等方面仍然存在一些知识差距。此外，与成年海鸟的海上分布情况相比，大多数海鸟物种在幼年生命阶段的海上分布情况尚不清楚。但最大的差距或许涉及海洋垃圾(特别

是塑料)、沿岸及海上能和潮汐能设施、深海采矿、光污染等新出现的威胁所产生的影响可能在种群层面带来的后果，以及生态系统服务(及实现可持续发展目标各项具体目标的进展情况)因此发生的变化。

## 6. 能力建设方面的主要差距

能力方面仍然存在的主要差距与上文所述的知识差距有关。目前的能力和资源限制了我们的能力，导致难以监测种群趋势、了解不同生命阶段的鸟类在海上的分布情况，以及对除研究最深入的

物种外其他所有物种的种群统计和生产力进行估计。这些缺口使得我们的能力极为受限，无法评估现有和新出现的威胁在种群层面对生态系统服务造成的后果和影响。

## 参考资料

- Abraham, Edward R., and others (2017). Assessment of the risk of southern hemisphere surface longline fisheries to ACAP Species. In ACAP – Eighth Meeting of the Seabird Bycatch Working Group. SBWG8-Doc-07. Wellington.
- Ainley, David, and others (2010). Antarctic penguin response to habitat change as Earth's troposphere reaches 2° C above preindustrial levels. *Ecological Monographs*, vol. 80, No. 1, pp. 49–66.
- Auman, Heidi J., and others (1997). Plastic ingestion by Laysan Albatross chicks on Sand Island, Midway Atoll, in 1994 and 1995. *Albatross Biology and Conservation*, vol. 239244.
- Beck, Jessie, and others (2015). Año Nuevo State Park Seabird Conservation and Habitat Restoration: Report 2015. Oikonos–Ecosystem Knowledge (2015).
- BirdLife International, and National Audubon Society (2015). *The Messengers: What Birds Tell Us about Threats from Climate Change and Solutions for Nature and People*. Cambridge: BirdLife International.
- Bried, Joël, and Verónica C. Neves (2015). Habitat restoration on Praia islet, Azores archipelago, proved successful for seabirds, but new threats have emerged. *Airo*, vol. 23, pp. 25–35.
- Brooke, de L.M. (2004). The food consumption of the world's seabirds. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, vol. 271, suppl. No. 4, pp. S246–S248.
- Brothers, Nigel P., and others (1999). *The Incidental Catch of Seabirds by Longline Fisheries: Worldwide Review and Technical Guidelines for Mitigation*. FAO Fisheries Circular, No. 937, pp. 1–100.
- Burdon, Daryl, and others (2017). The matrix revisited: a bird's-eye view of marine ecosystem service provision. *Marine Policy*, vol. 77, pp. 78–89.
- Busch, Malte, and Stefan Garthe (2018). Looking at the bigger picture: The importance of considering annual cycles in impact assessments illustrated in a migratory seabird species. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 75, No. 2, pp. 690–700.

- Busch, Malte, and others (2013). Consequences of a cumulative perspective on marine environmental impacts: offshore wind farming and seabirds at North Sea scale in context of the EU Marine Strategy Framework Directive. *Ocean & Coastal Management*, vol. 71, pp. 213–224.
- Butchart, Stuart H.M., and others (2007). Improvements to the Red List Index. *PloS One*, vol. 2, No. 1, e 140.
- Buxton, Rachel T., and others (2016). Deciding when to lend a helping hand: a decision-making framework for seabird island restoration. *Biodiversity and Conservation*, vol. 25, pp. 467–484.
- Carroll, Matthew, and others (2015). Effects of sea temperature and stratification changes on seabird breeding success. *Climate Research*, vol. 66, pp. 75–89.
- Chambers, Lynda E., and others (2011). Observed and predicted effects of climate on Australian seabirds. *Emu-Austral Ornithology*, vol. 111, pp. 235–251.
- Clay, Thomas A., and others (2019). A comprehensive large-scale assessment of fisheries by-catch risk to threatened seabird populations. *Journal of Applied Ecology*, vol. 56, pp. 1882–1893.
- Crawford, Robert J.M., and others (2015). A changing distribution of seabirds in South Africa: the possible impact of climate and its consequences. *Frontiers in Ecology and Evolution*, vol. 3, art. 10.
- Crawford, Rory, and others (2017). Tangled and drowned: a global review of penguin by-catch in fisheries. *Endangered Species Research*, vol. 34, pp. 373–396.
- Croxall, John P., and others (2005). Global circumnavigations: tracking year-round ranges of nonbreeding albatrosses. *Science*, vol. 307, No. 5707, pp. 249–250.
- Croxall, John P., and others (2012). Seabird conservation status, threats and priority actions: a global assessment. *Bird Conservation International*, vol. 22, No. 1, pp. 1–34.
- Currey, Rohan J.C., and others (2012). *A Risk Assessment of Threats to Maui's Dolphins*. New Zealand Ministry for Primary Industries and Department of Conservation.
- Dias, Maria P., and others (2011). Breaking the routine: individual Cory's shearwaters shift winter destinations between hemispheres and across ocean basins. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 278, No. 1713, pp. 1786–1793.
- Dias, Maria P., and others (2019). Threats to seabirds: a global assessment. *Biological Conservation*, vol. 237, pp. 525–537.
- Egevang, Carsten, and others (2010). Tracking of Arctic terns *Sterna paradisaea* reveals longest animal migration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 107, No. 5, pp. 2078–2081.
- Garthe, Stefan, and Ommo Hüppop (2004). Scaling possible adverse effects of marine wind farms on seabirds: developing and applying a vulnerability index. *Journal of Applied Ecology*, vol. 41, No. 4, pp. 724–734.
- Graham, Nicholas A.J., and others (2018). Seabirds enhance coral reef productivity and functioning in the absence of invasive rats. *Nature*, vol. 559, pp. 250–253.
- Green, Rhys E., and others (2016). Lack of sound science in assessing wind farm impacts on seabirds. *Journal of Applied Ecology*, vol. 53, No. 6, pp. 1635–1641.
- Grémillet, David, and others (2018). Persisting worldwide seabird-fishery competition despite seabird community decline. *Current Biology*, vol. 28, No. 24, pp. 4009–4013.
- Grémillet, David, and Thierry Boulinier (2009). Spatial ecology and conservation of seabirds facing global climate change: a review. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 391, pp. 121–137.
- Hilborn, Ray, and others (2017). When does fishing forage species affect their predators? *Fisheries Research*, vol. 191, pp. 211–221.
- International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN) (2019). Threats Classification Scheme (version 2019-3). *The IUCN Red List of Threatened Species*. [www.iucnredlist.org/en](http://www.iucnredlist.org/en).
- Jambeck, Jenna R., and others (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, vol. 347, No. 6223, pp. 768–771.

- Jenouvrier, Stéphanie, and others (2018). Climate change and functional traits affect population dynamics of a long-lived seabird. *Journal of Animal Ecology*, vol. 87, pp. 906–920.
- Jones, Holly P., and others (2016). Invasive mammal eradication on islands results in substantial conservation gains. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, pp. 4033–4038.
- Kühn, Susanne, and others (2015). Deleterious effects of litter on marine life. In *Marine Anthropogenic Litter*. Cham, Switzerland: Springer, pp. 75–116.
- Lavers, Jennifer L., and others (2014). Plastic ingestion by Flesh-footed Shearwaters (*Puffinus carneipes*): implications for fledgling body condition and the accumulation of plastic-derived chemicals. *Environmental Pollution*, vol. 187, pp. 124–129.
- Mitchell, Ian, and others (2020). Impacts of climate change on seabirds, relevant to the coastal and marine environment around the United Kingdom. *MCCIP Science Review 2020*, pp. 382–399. <https://doi.org/10.14465/2020.arc17.sbi>.
- Montevecchi, William A. (2006). Influences of Artificial Light on Marine Birds. In *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, pp. 94–113.
- Phillips, Richard A., and others (2016). The conservation status and priorities for albatrosses and large petrels. *Biological Conservation*, vol. 201, pp. 169–183.
- Redfern, J.V., and others (2013). Assessing the risk of ships striking large whales in marine spatial planning. *Conservation Biology*, vol. 27, No. 2, pp. 292–302.
- Renner, Martin, and others (2018). The risk of rodent introductions from shipwrecks to seabirds on Aleutian and Bering Sea islands. *Biological Invasions*, vol. 20, No. 9, pp. 2679–2690.
- Rodríguez, Airam, and others (2015). GPS tracking for mapping seabird mortality induced by light pollution. *Scientific Reports*, vol. 5, art. 10670. <https://doi.org/10.1038/srep10670>.
- Rodríguez, Airam, and others (2017). Seabird mortality induced by land-based artificial lights. *Conservation Biology*, vol. 31, No. 5, pp. 986–1001.
- Rodríguez, Airam, and others (2019). Future directions in conservation research on petrels and shearwaters. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 94.
- Roman, Lauren, and others (2019). Ecological drivers of marine debris ingestion in Procellariiform Seabirds. *Scientific Reports*, vol. 9, art. 916.
- Roser, Max (2013). Our World in Data. Oil Spills. Available at <https://ourworldindata.org/oil-spills>.
- Ryan, Peter G., and others (2009). Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 364, No. 1526, pp. 1999–2012.
- Sansom, Alex, and others (2018). Comparing marine distribution maps for seabirds during the breeding season derived from different survey and analysis methods. *PloS one*, vol. 13, No. 8, e0201797.
- Shaffer, Scott A., and others (2006). Migratory shearwaters integrate oceanic resources across the Pacific Ocean in an endless summer. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 103, No. 34, pp. 12799–12802.
- St. John, Michael A., and others (2016). A dark hole in our understanding of marine ecosystems and their services: perspectives from the Mesopelagic community. *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 31.
- Tavares, Davi Castro, and others (2019). Traits shared by marine megafauna and their relationships with ecosystem functions and services. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 262.
- Trathan, Phil N., and others (2015). Pollution, habitat loss, fishing, and climate change as critical threats to penguins. *Conservation Biology*, vol. 29, No. 1, pp. 31–41.
- Tuck, Geoffrey N., and others (2011). An assessment of seabird: fishery interactions in the Atlantic Ocean. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 68, No. 8, pp. 1628–1637.

- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- United Nations Conference on Trade and Development (2018). *Review of Maritime Transport*. United Nations publication.
- Watanuki, Yutaka, and Jean-Baptiste Thiebot (2018). Factors affecting the importance of myctophids in the diet of the world's seabirds. *Marine Biology*, vol. 165, No. 4, art. 79.
- Wenny, Daniel G., and others (2011). The Need to Quantify Ecosystem Services Provided by Birds. *The Auk*, vol. 128, No. 1, pp. 1–14.
- Wilcox, Chris, and others (2015). Threat of plastic pollution to seabirds is global, pervasive, and increasing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 112, No. 38, pp. 11899–11904.
- Winship, Arliss J., and others (2018). *Modeling At-Sea Density of Marine Birds to Support Atlantic Marine Renewable Energy Planning: Final Report*. OCS Study BOEM 2018-010. Sterling, Virginia: United States Department of the Interior, Bureau of Ocean Energy Management, Office of Renewable Energy Programs.
- Zhang, Jingjing, and others (2019). GPS telemetry for small seabirds: using hidden Markov models to infer foraging behaviour of common diving petrels (*Pelecanoides urinatrix urinatrix*). *Emu – Austral Ornithology*, vol. 119, No. 2, pp. 126–137.



# 第 6G 章

# 海生植物和

# 大型藻类

撰稿人: Hilconida Calumpang、Hugh Kirkman和Nair S. Yokoya (共同召集人)以及Jason M. Hall-Spencer、Nahid Abdel Rahim Osman、Chul Park (本章牵头成员)、Franciane Pellizzari和Elizabeth Sinclair。



## 主旨要点

- 经评估, 约90%的红树属植物、海草和沼泽植物物种存在灭绝风险; 19%的红树属植物、21%的海草物种和1个沼泽植物物种被列入国际自然保护联盟(自然保护联盟)濒临灭绝物种红色名录。
- 在大型藻类中, 来自澳大利亚的1种红藻(本氏海藻)被列为绝灭, 10种(六种红藻及四种褐藻)被列为极危, 1种褐藻被列为濒危, 4种(3种红藻和1种褐藻)被列为易危。在国际自然保护联盟红色名录上评估和报告的大型藻类物种数量不到海洋生物多样性信息系统所列物种总数的1%。所有受威胁的15个物种都是加拉帕戈斯群岛的特有物种; 在地中海, 有47个以上的物种被评估为存在灭绝风险, 这凸显出在大型藻类方面存在知识差距。
- 在大型藻类特有性方面, 南极洲名列前茅, 拥有27%的特有物种, 其次是南美洲(22%)和红海大型海洋生态系统(9%)。
- 基因组学等新技术已经开发出来, 用于鉴定物种和阐明系统发育关系, 因此, 物种数量预计会增加, 特别是大型藻类, 但由于各区域的人力和基础设施能力不均, 对一些区域的研究将弱于其他区域。

## 1. 引言

本章讨论海生植物和大型藻类的分类、保护状况和种群趋势, 重点讨论海生植物包括红树属植物、沼泽植物、海草以及大型藻类(又称海藻)部分讨论红藻、绿藻和褐藻。尽管红树属植物、盐沼和海草床在《第一次世界海洋评估》(联合国, 2017年)的第48、49和47章中单独讨论到, 在本评估的第

7H、7I和7G章中也分别论及, 但对它们的处理是在生态系统范围内、而不是在物种层面进行的。《第一次评估》也论及了大型藻类, 不过, 是将其作为食物来源(第14章)和生态系统(关于海带林的第47章和关于马尾藻海的第50章)对待的。

## 2. 红树属植物

红树属植物由生长在全球热带和亚热带地区海岸带的灌木和树木组成。它们所具有的独到的特征使之能在微咸水和浅海环境中生存, 例如:(a) 从缺氧(无氧) 淤泥的基层向上生长的短侧根延伸, 称为呼吸根, 使植物能够从空气中吸收氧气; (b) 一种分支茎系统, 称为“气生根”或“高跷根”, 和板根, 以便更好地固定在柔软的基层上, 并抵御强风或海浪; (c) 内有储水组织的肉质叶子; (d) 分泌盐分或排除盐分的机制, 如某些物种叶片中的盐腺以维持渗透平衡; 和(e) 胎生繁殖, 即种子发芽, 长成幼苗(称为繁殖体), 仍然附在亲本植物之上, 幼苗又伸出长粗根, 最终直接落入基层, 从而“种植”自身。原状植物林呈明显的区带分布, 每个区带中都有占主导地位的特有物种。

### 2.1. 分类处理

世界红树属植物数据库(Dahdouh-Guebas, 2020年)列出了14科65个“有效”或正确的红树属植物分类群名称, 包括五个杂交种, 不包括3种卤蕨和2种豆科皱荚红树。自上一个十年至今, 人们没有描述过红树属植物新物种, 尽管使用分子方法已鉴定出新的杂交物种, 使目前的数量达到八个(Ragavan等人, 2017年; Ono等人, 2016年)。相对于其他植物群, 如蕨类或草类, 红树属植物物种可能不算多, 但其分类群广泛分布在16个开花植物科之中, 只有3个属于蕨类植物科的物种除外。在这16科中, 只有两个科(茶红树科和红树科)仅由海洋物种组成。

## 2.2. 现状和趋势

《第一次评估》第48章称，根据用于定义严格或“真正”红树属植物物种的标准，其物种数量在70至73个之间，包括杂交物种。还有人强调，物种的分组因分类研究而发生变化。例如，曾属于海桑科的红树属海桑现在则被归入千屈菜科(Little等人，2004年)，海桑科被下调为亚科。

从1998年到2018年，自然保护联盟对64个物种进行了灭绝风险评估。截至2019年11月19日，有3个被认定处于极危状态(格氏海桑(Duke等人，2010年a)、东南亚木榄属<sup>1</sup>(Duke等人，2010年b)和南海海桑(世界养护监测中心，1998年)); 3个处于濒危状态，均属于锦葵科(菲律宾海锦属(Duke等人，2010年c)、银叶树属(Kathiresan等人，2010年)和银叶树属球茎类(Sukardjo，2010年)); 5个处于近危状态(圆叶叉枝补血草(Ellison等人，2010年a)、蜡烛果属(Ellison等人，2010年b)、十雄角果木(Duke等人，2010年d)、卵叶海桑(Salmo等人，2010年)、萨摩亚红树(Ellison和Duke，2010年)); 5个处于易危状态(绒毛海榄雌(Chua，1998年)、全缘海榄雌(Duke，2010年a)、红海茄苳(Duke等人，2010年e)、双色海榄雌属(Duke，2010年b)、茶红树属(Elison等人，2010年c))，47个属于无危，只有1个(海漆属(Ellison等人，2010年d))为数据缺乏。

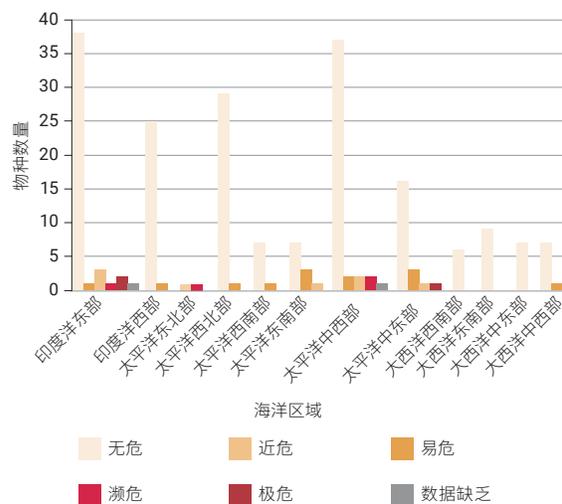
这些物种在自然保护联盟定义的海洋区域的分布如图一所示。北大西洋没有红树属植物。所有全球极危物种在印度洋东部、太平洋东北和中东部都有发现，而所有全球濒危物种在印度洋东部和太平洋中西部都有。那些属于近危的物种则分布在印度洋东部，太平洋中西部。其主要威胁在于住宅和商业开发、水产养殖和农业、生物资源利用(如伐木用作建筑材料和燃料)、导致生境转移和改变的气候变化、污染、采砂以及被入侵物种取而代之。

然而，在区域一级，一些无危物种可能因受各种因素的威胁。例如，红海大型海洋生态系统的

海榄雌(Sherman和Hempel，2008年)尤其受到威胁，因为人们大量采割用作饲料——因其可溶性鞣质含量较低，骆驼、山羊和牛等牲畜喜食(Nawata，2013年)。关于货物和服务情况以及红树属植物生态系统的变化情况，详见《第一次评估》第48章。

红树属植物的全球分布、多样性和丰度受到气候变化的影响，例如温度和降雨机制的变化(Donato等人，2011年; Ward等人，2016年; Friess和Webb，2013年)。冬季变暖和海平面上升预计将使得此类植物有可能在牺牲盐沼的情况下向极地扩展。然而，分布情况和生境可用性方面的限制可能会阻碍某些在分布范围界限附近的扩张。在干旱和半干旱海岸，降雨量的增减预计会相应导致红树属植物的盛衰。

图一  
按自然保护联盟类别和海洋区域分列的物种分布情况



<sup>1</sup> 2016年，利用分子标记，Ono 等人确定该物种为柱果木榄与湛江木榄杂交的产物。

### 3. 盐沼植物

盐沼植物是温带潮间带和内陆盐渍区的主要植被。它们构成了繁茂且高产的“潮间带草地”或盐沼,因物理梯度较陡而呈现明显的区带分布。盐浓度超过500毫摩尔就属于这种情况(Yuan等人, 2019)。它们过滤营养物的能力很高,从而可以提高附近受城市径流、水产养殖径流和农业径流影响的沿海系统的水质,而且可以储存碳。它们保护沿海社区,以防御风暴和侵蚀,并通过充当鱼类和其他捕捞食用的其他海洋生物的重要保育生境来增进人类福祉。盐沼提供的基本生态系统货物和服务造福数以百万计的人,其价值达每年每公顷10 000美元(Berbiere等人, 2011年; Hopkinson等人, 2012年; Möller等人, 2014年)。

红树属植物以树木为主,盐沼植物则不然,它们通常是草或灌木。就像红树属植物一样,盐沼植物已经发展了,并适应了高盐度环境、洪水和干燥以及缺氧条件。

#### 3.1. 分类处理

从全球来看,沼泽中的植物物种丰度惊人,已知的沼泽植物物种超过500种。然而,其中大部分生长在淡水湖泊和河流之中,并向微咸的水环境延伸,在全球范围内的分布面积约有45 000平方公里(Greenberg等人, 2006年)。盐沼中的耐盐植物分三大科:藜科(藜亚科)和禾本科,藜科有两种藜

科植物(盐角草属和红盐角草属),禾本科有三种米草属(互花米草、纤细草、海洋草)和多种芦苇;以及灯心草属(多个物种)。然而,据报道只有两个物种完全生长在沿岸地区:藜科,盐角草和互花米草。其余的生长在淡水湖泊河流和沼泽地,并延伸到“人工”微咸水和海洋生境,如水产养殖池塘和运河。盐角草属和米草属遍布北美温带地区,盐角草属一直延伸到墨西哥。海蓬子在欧洲的一些地方和亚洲的北部也有发现。

#### 3.2. 现状和趋势

在全球范围内,由于人类向农业和水产养殖业转化以及土地利用方面发生其他的人为变化,多达一半的沿海湿地已经丧失(Pendleton等人, 2012年)。气候变化、水质下降和与人类活动相关的沉积物输送率变化继续影响世界上剩余的湿地,如盐沼地(Kirwan 和Megonigal, 2013年)。

盐角草属是唯一被列入自然保护联盟红色名录的受威胁物种(Foggi等人, 2011年),并被归类为易危物种。它分布于亚得里亚海的意大利海岸,分布面积不到500平方公里。虽然在分布区很常见,但据报道,由于沿海开发、定居点和旅游业的关系,其种群正在减少。国家已经立法加以保护,有一处地点成为保护区。互花米草被列为无危物种(Maiz-Tome, 2016年)。

### 4. 海草

海草是海洋开花植物,生长在潮汐和潮下海洋环境中。它们需要高光照,因此,通常大量存在于浅水中,在那里,它们是近岸环境的生产性组成成分,为许多具有重要经济意义的物种提供食物和庇护所(Heck 和Orth, 1980人)。

海草是地球上最古老的植物之一,化石沉积被认为可以追溯到上新世(Tuya等人, 2017)。它们发展出了能在特定小生境生存的适应特征(Papenbrock, 2012年)。这种适应特征包括:多为

薄而扁平、细长或呈带状的叶子,从而能在波急浪涌的水环境保持灵活性,以及扩散气体(因为它们没有气孔);一个广泛的根系和根茎系统,使它们能够锚定在泥泞和沙质的基层上——例如,温带物种虾海藻属有钩子,可以让它附着在岩石上;能在高盐度和经常变化的盐度中生存的适应能力;用于水下或水面授粉的凝胶状管或漂浮包中的花粉;而且,在某些物种中,胎生或隐胎生繁殖使它们能够与其他物种竞争(Green和Short, 2003年)。

海草的分布部分取决于洋流对果实、种子、幼苗和营养繁殖体的传播。通过把种群遗传分配程序和流体动力学模型的扩散预测相结合, 预测60%的澳大利亚海神草果实分散在20公里范围内(Sinclair等人, 2018年)。他们的研究揭示了物理运输在果实远距离传播方面产生的作用和海草场空间遗传结构的影响。

#### 4.1. 分类处理

海草是属于百合纲的开花植物。截至2011年, 已鉴定出6科15属72种(Short等人, 2011年)。它们分布在世界各地, 南极洲除外。迄今为止, 利用分子特征, 至少已对两个物种作了描述, 一个是新物种约翰逊氏海链藻(Duarte等人, 2012年), 另一个是从卵形喜盐草复合体中分离出来的物种(大喜盐草)(Nguyen等人, 2014年)。还使用条形码技术识别出亚群(Nguyen等人, 2015年)。

#### 4.2. 现状和趋势

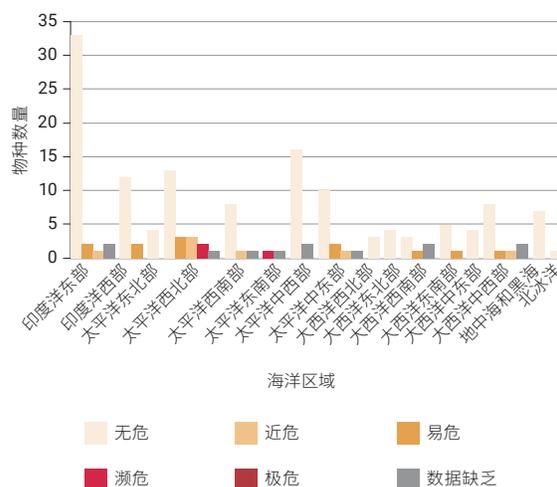
《第一次评估》第47章称, 截至2011年, 世界海草物种总数的31%(72种中的22种)的种群数量在下降, 5%的种群数量呈上升趋势, 22%的种群情况未知。同一份报告指出, 自1980年以来, 海草以每年110平方公里的速度消失, 自1879年首次记录海草面积以来, 已知面积已经消失29%, 下降速度从1940年前的每年0.9%的中位数加快到1990年以来的每年7%。

在全球范围内, 2011年后没有再进行全球海草物种灭绝风险评估。在这72个物种中, 三个(即日本虾海藻属、智利大叶藻和巨济鳗草)都属于大叶藻科, 仍属于自然保护联盟的濒危类别, 其种群数量日益缩减(Short和Waycott, 2010年a、b、c)。日本虾海藻属和巨济鳗草都产于太平洋西北部, 而智利大叶藻则产于太平洋东南部(见图二)。

五个物种被列为近危, 所有的种群都在减少(Short和Waycott, 2010年d、e、f)。澳大利亚海神草(Short等人, 2010年a)分布在印度洋东部和太平洋西南部, 而宽叶大叶藻(Short等人, 2010年d)出现在太平洋西北部和中东部。其他所有物种都各仅出现在一个海洋区域: 大西洋中西部的恩氏喜盐

草属(Short等人, 2010年b), 以及大西洋西北部的日本喜盐草属(Short等人, 2010年c)和具茎大叶藻(Short和Waycott, 2010年e)(见图二)。

图二  
按自然保护联盟类别和海洋区域分列的物种分布情况



有7个物种被列为易危, 其种群不断缩减。这些植物属于三个科: 海神草属(波状海神草)(Short等人, 2010年d)、水螅科(巴氏喜盐草(Short等人, 2010年e)、贝克喜盐草(Short等人, 2010年f)和夏威夷喜盐草(Short等人, 2010年g)), 以及大叶藻科(红纤维虾海藻、丛生大叶藻(Short等人, 2010年f、g)和好望角大叶藻(Short等人, 2010年h))。贝克喜盐草和好望角大叶藻出现在两个海洋区域, 前者出现在印度洋和太平洋, 后者出现在印度洋和大西洋; 除此之外, 其余的在分布上都是有限的: 东印度洋的波状海神草、太平洋中东部的贝克喜盐草、太平洋东北部的丛生大叶藻、太平洋中部的夏威夷喜盐草、太平洋东北部的红纤维虾海藻, 以及大西洋西南部和中西部的巴氏喜盐草。

如红色名录所述, 对海草的主要威胁是住宅和商业发展、导致生境丧失的自然系统改造、农业和水产养殖、污染、能源生产、运输和服务走廊、入侵物种和疾病、气候变化和导致生境改变和转移的恶劣天气。有些物种的种群数量受到这些威胁的

负面影响,地中海特有的大洋海神草就是一例。在南大西洋观察到热带物种在向极地扩展,其中包括毛叶盐藻(Gorman等人,2016年)和莱氏二药藻(Ferreira等人,2015年)。

自然资源保护联盟红色名录中列为数据缺乏的九个物种(Short和Waycott,2010年n-v)至今仍未得到研究:两个属于角果藻科(南方鳞毛草属、海生鳞毛草属)(Short,2010年a、b),前者出现于东印度洋和太平洋西南部和中西部,后者仅在东印度洋有发现;四个属于丝粉藻属,波氏二药藻(Short等人,2010年i)和边缘二药藻(Short等人,2010年j)生长在东印度洋,百慕大二药藻(Coates等人,2010年)生长在大西洋西南部和中西部和东印度洋,而纤毛二药藻(Short,2010年c)则产于太平洋中东部;两个属于水螅科(卵叶盐藻(Short等人,2010年k)和苏拉威西盐藻(Short,2010年d)),生长在太平洋西北部和中西部,一个属于川蔓藻科(线状

叶川蔓藻),生长在太平洋东南部和大西洋西南部(图二)。

在区域一级,一些物种可能会因各种因素而受到威胁。例如,海菖蒲在红海大型海洋生态系统的分布非常有限(El-Shaffai,2016年),可能成为食草动物的食料,特别是因为该地区是众多儒艮的家园(Shawky,2019年;Nasr等人,2019年)。儒艮啃草有选择性,因而不仅改变了群落和种群结构,也改变了海草床的物种组成。在加拿大大西洋沿岸,具有入侵性和非本土性的欧洲青蟹(普通滨蟹)正在对鳗草产生负面影响(Matheson等人,2016年)。

据报道,海草床在其分布区域的某些地方出现了普遍减少或增加;据悉,在新斯科舍省和圣劳伦斯湾,大叶藻有所减少,而在(加拿大)纽芬兰则有所增加(Bernier等人,2018年)。据报道,非本地的剑叶嗜盐海草正从东地中海向西扩张(Sghaier等人,2011年),在爱琴海的一个地方,新近记录到了毛叶盐藻(Gerakaris等人,2020年)。

## 5. 大型藻类

“大型藻类”或“海藻”这一术语是指扎根于近岸区域生长的非开花类植物状生物体,但主要漂浮在马尾藻海的一些马尾藻除外(见第7Q章)。它们发展出了许多适应能力,使它们能够生长在各种生境之中——从极地到赤道地区,从浅海到深海区,直至透光带的界限。这些适应性包括:能捕捉光线的各种色素、增加存活率的不同生命史模式和形态、以及产生抗食草复合物以避免成为其他物种的食料。这些适应性被用于描述各类群和物种的特征和进行识别。

海藻在全球海岸环境(如岩石滩和生物礁)中形成了最广泛和最具生产力的植被海岸生境,如海带和其他藻床,覆盖面积估计约有340万平方公里,支持全球约每年173兆兆克碳的净初级生产量(Krause-Jensen和Duarte,2016年),人们捞获和养殖海草,用于食用和其他用途(详见第17章)。它们经常被用作水质和礁石健康的指标。例如,绿藻石莼属被用作重金属污染和富营养化的指示物(Alp等人,2012年)。

在从潮间带生境到270米深度的透光带中,有一组细胞壁中含有碳酸钙的红藻(因类似于硬珊瑚而被称为珊瑚藻),它们可以覆盖的潮下带岩石基层,多于任何其他大型生物群;它们是有记录以来最深的大型藻类。这种钙化度较高的红藻大多数覆盖在岩石或其他基层上——但一些物种独立生长,形成重要的复合生境,这些生境经过数千年的积累,被称为“藻砾层”或“红藻石层”(Riosmena-Rodríguez,2017年)。这些自由生长的珊瑚藻覆盖了沿岸海床的广大区域,在化石海洋碳酸盐沉积物中很常见。红藻石层最大的连续纬度分布是在巴西附近,有助于在大陆架的广大区域和海山顶部,以及海洋岛屿和环礁周围形成中生礁(Amado-Filho等人,2017)。自由生长的珊瑚藻原植体生长缓慢(每年几毫米),可能会长寿(>100岁)。它们提供了一个三维的钙质生境,吸引新的生物来到海底,并为商业上重要的贝类幼体提供庇护所。

## 5.1. 分类处理

大型藻类目前被归类为原生生物(原生生物界)。然而,最近利用质体进行的系统发育研究表明,红藻和绿藻拥有植物界的共同祖先,褐藻则拥有色藻界的共同祖先(Delwiche, 2007年)。它们是一个多样化的群体,由基于其优势色素的三大门组成:红藻(红藻门)、褐藻(过去被归入褐藻门,最近则被归入赭藻门下属于它自己的纲)和绿藻(绿藻门)。它们含有叶绿素,发生光合作用。它们当中有许多外观“像植物”,但又被称为原植体的简单体,没有陆地植物中观察到的导水系统。它们与海草不同,不开花。

截至2012年,Guiry (2012年)列出了属于三个门的12 471种藻类,其中6 131种为红色,1 792种为棕色,4 548种为绿色,但估计约有27 000种尚未得到描述,包括生长在非海洋生境的大型和微型藻类。海洋生物多样性信息系统(OBIS, 2020年;另见下表),其中仅列出海洋物种,计3 065种红藻(红藻门);879种褐藻(褐藻纲)和844种绿藻(绿藻门)。低级分类群(即亚种或等级不详的分类群)数量较高:红藻、褐藻和绿藻分别为3 406、1 070和1 164(见下表)。绿藻的种类数量和记录低于红藻和褐藻,因为大多数绿藻是在淡水环境中发现的。

### 海洋生物多样性信息系统中的红藻(红藻门)、褐藻(褐藻纲)和绿藻(绿藻门)记录

数据	红藻门	褐藻纲	绿藻门
物种出现记录	614 096	568 806	392 594
物种水平记录	449 392	477 331	209 396
物种	3 065	879	844
低级分类群	3 406	1 070	1 164
数据集	266	234	371
时间范围	1865–2019	1869–2019	1778–2019

来源: OBIS, 2020年。

## 5.2. 现状和趋势

### 5.2.1. 红藻(红藻门)

与褐藻和绿藻相比,红藻种类最多(见上表)。它们主要分布在热带至温带海域(图三.A),淡水生态系统中的物种很少。它们出现在海表温度范围为摄氏5至30度、盐度为5至35实用盐标并且大部分在0至20米深度(图三.B)的区域,尽管红藻石记录的深度要深得多。

### 5.2.2. 褐藻(褐藻纲)

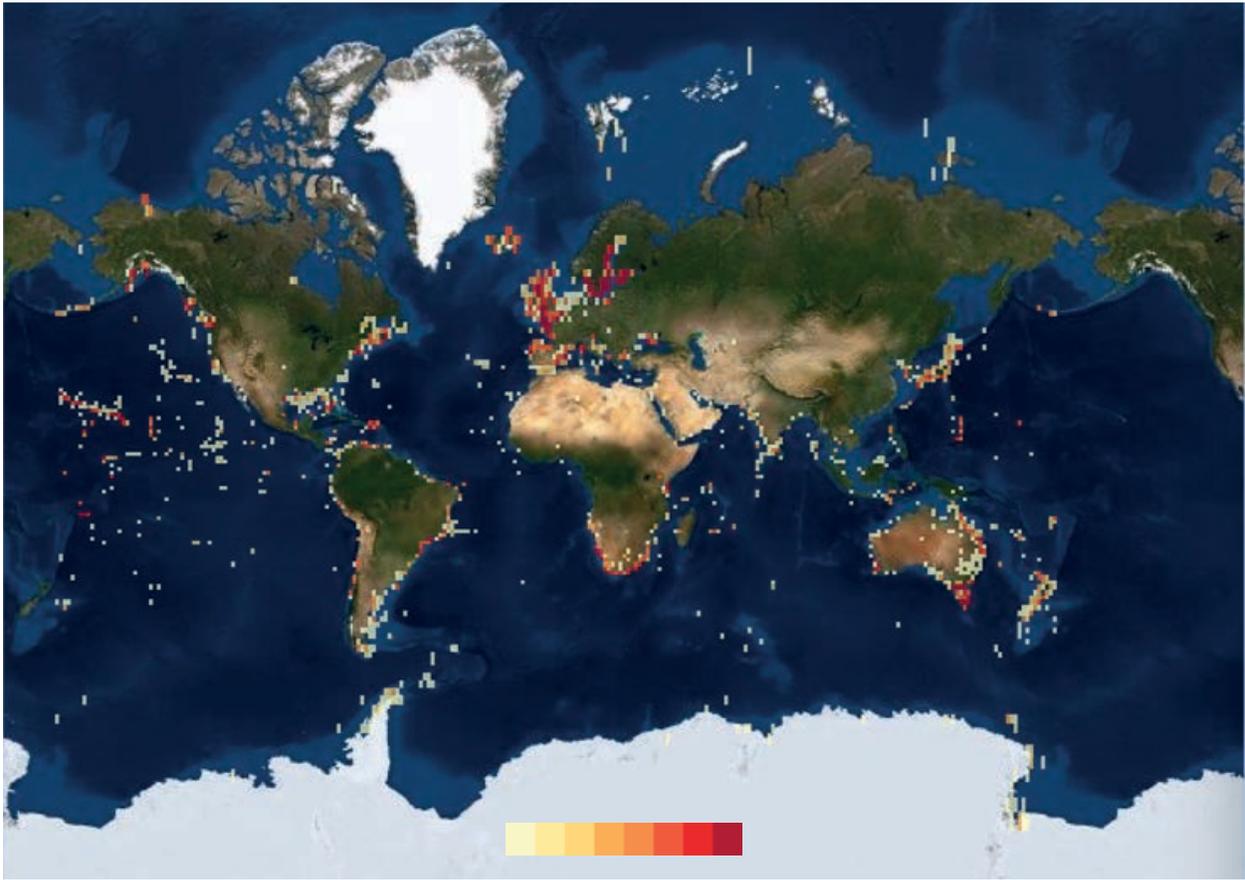
褐藻(褐藻纲)种类最少(见上表),纯海洋性,分布广泛,主要分布在太平洋、大西洋和印度洋的寒冷和温带水域,以及南大洋(图四.A)。它们通常生长在

海温范围为摄氏5至30度的地区,不过,也能耐受低温(摄氏-5度至5度)和5至35实用盐标的盐度,且多生长在0至20米的深度(图四.B)。

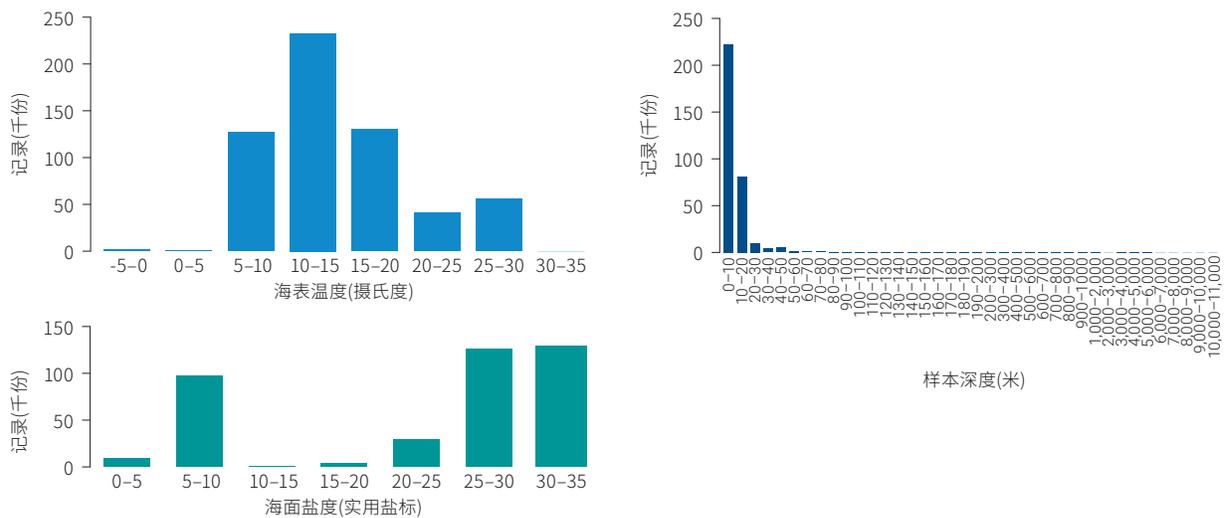
### 5.2.3. 绿藻(绿藻门)

绿藻(绿藻门)的种类数量介于红藻和褐藻之间(见上表)。它们分布广,但主要在北半球(图五.A)。它们生长在从陆地到海洋不同的环境中,以及海表温度在摄氏5到30度之间的海中,但是能够耐受低温(摄氏-5度至5度)以及0到35实用盐标的盐度,且多生长在0到20米的深度(图五.B)。

图三.A  
红藻(红藻门)的全球分布情况

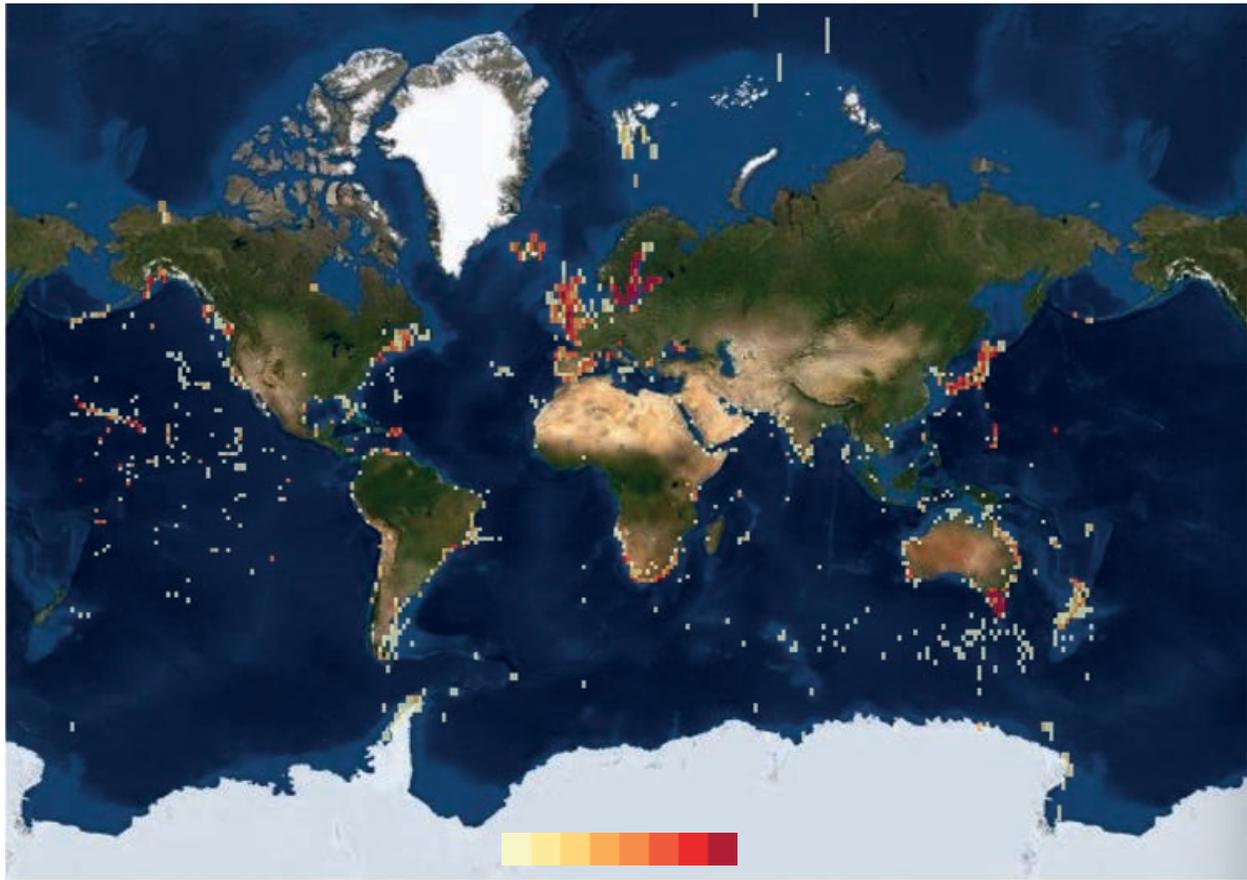


图三.B  
红藻(红藻门)在世界各地出现的环境条件(温度、海面盐度和深度)

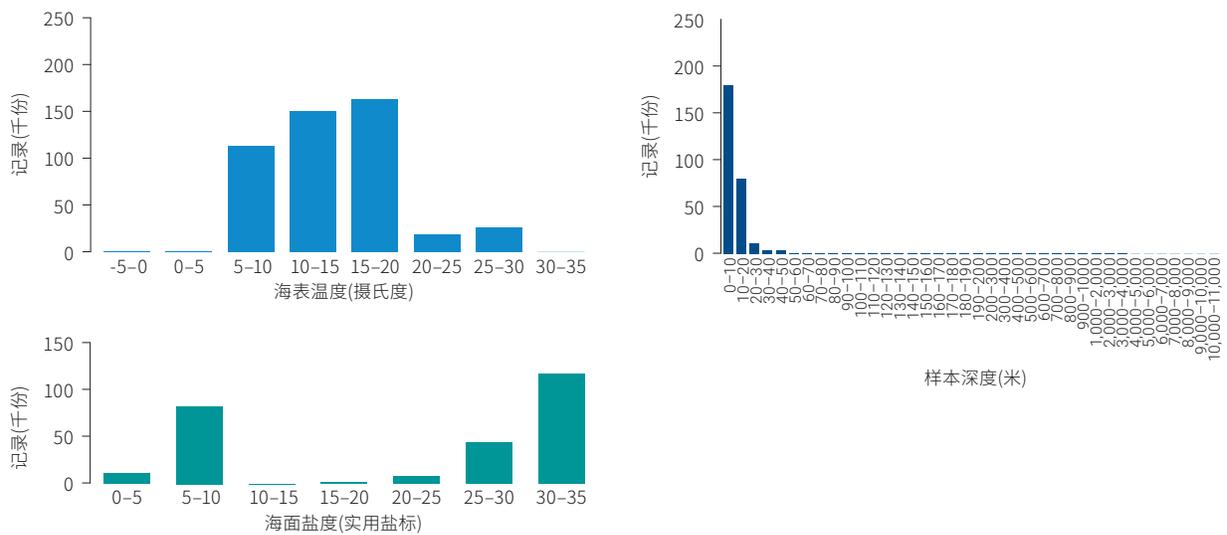


来源: OBIS, 2020年, <https://mapper.obis.org/?taxonid=852>。

图四.A  
褐藻(褐藻纲)的全球分布情况

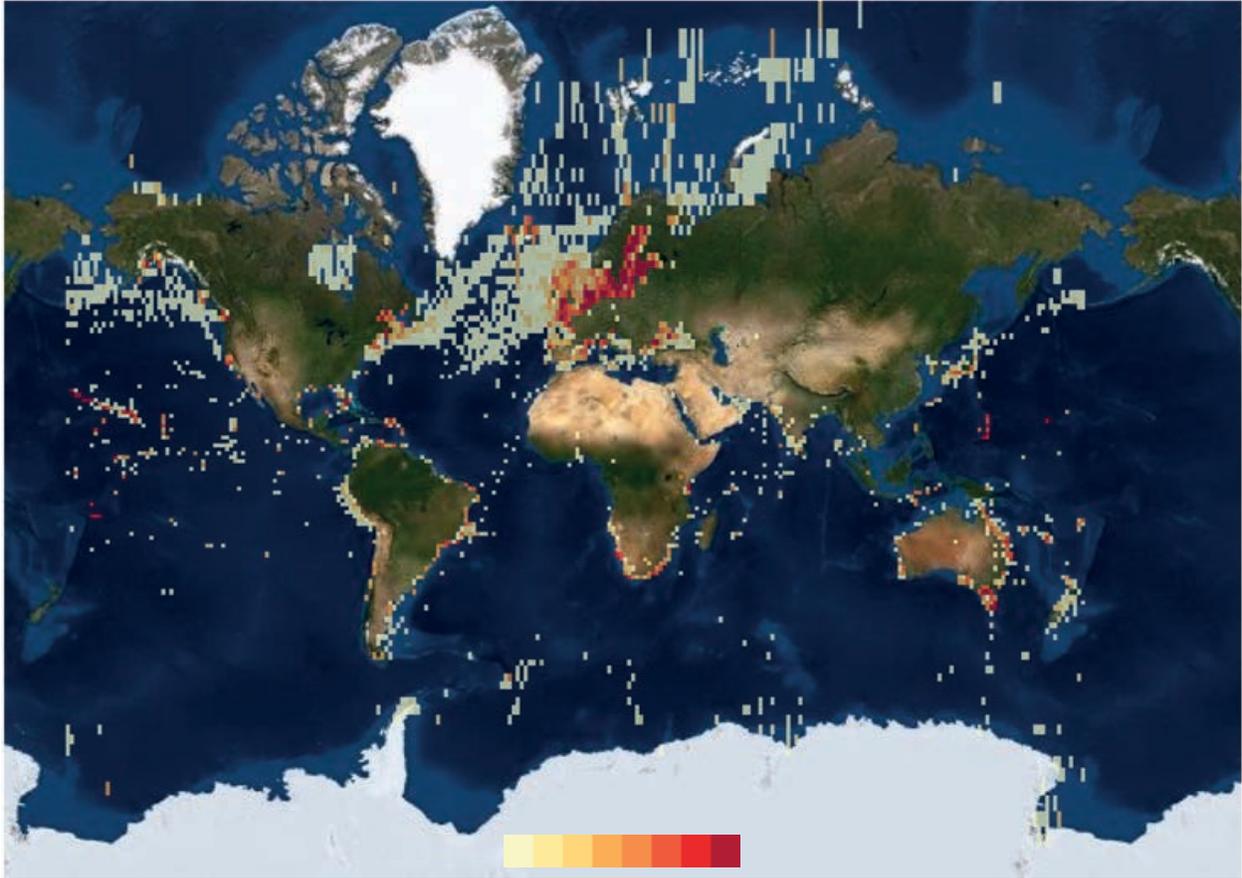


图四.B  
褐藻(褐藻纲)在世界各地出现的环境条件(温度、海面盐度和深度)

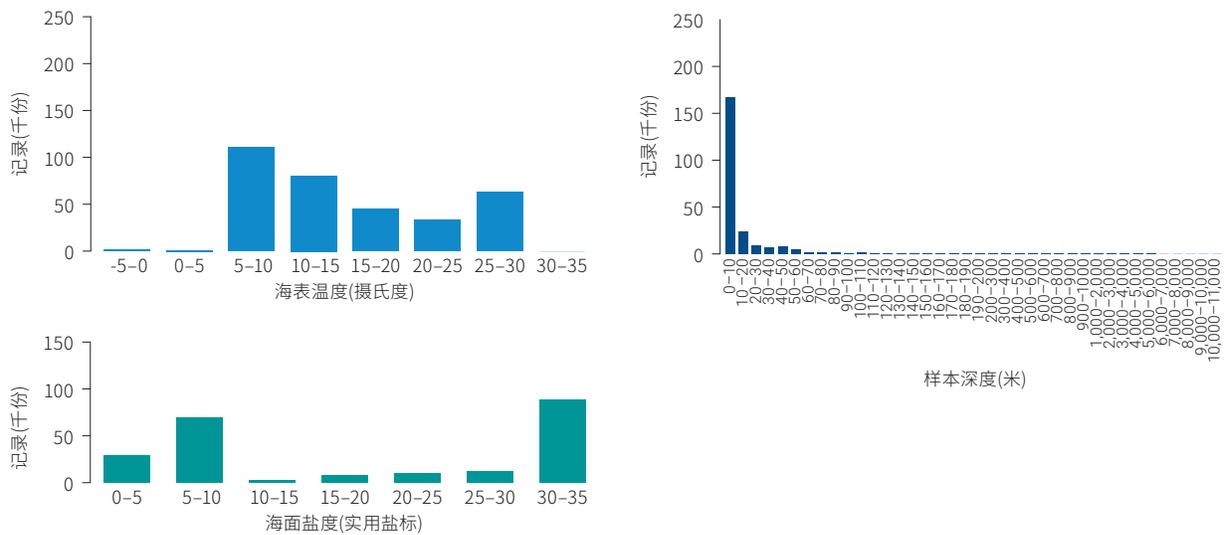


来源: OBIS, 2020年, <https://mapper.obis.org/?taxonid=830>.

**图五.A**  
绿藻(绿藻门)的全球分布情况



**图五.B**  
绿藻(绿藻门)在世界各地出现的环境条件(温度、海面盐度和深度)



来源: OBIS, 2020年, <https://mapper.obis.org/?taxonid=801>。

藻类灭绝风险评估于2007年进行(Guiry和Guiry, 2020年), 且仅针对少数物种进行(125种)。这甚至还不到迄今所登记的物种总数的1%。

一种红藻被列为绝灭物种, 15种红藻和褐藻被列为受威胁物种, 它们都出现在太平洋东南部, 都是加拉帕戈斯群岛的特有物种(自然保护联盟, 2019年)。

红叶藻科(红藻门)的本氏海藻<sup>2</sup>被列为绝灭(Millar, 2003年), 它是威廉姆·哈维于1855年首次发现的, 生长在澳大利亚新南威尔士州悉尼港的杰克逊港。1886年, 在该类型地点以东约8公里处, 人们再度采集到这一海藻(Millar, 2001年)。尽管进行了密集的搜寻, 但在一个多世纪的时间里, 人们没有再看到或采集到任何标本, 人们认为, 人类活动造成生境丧失, 导致该物种灭绝(Guiry和Guiry, 2020年)。

十个物种被列为极危(Miller等人, 2007年a-o): 红藻门的六个物种(即带须乳节藻, 斯氏龙须藻, 对立凹顶藻, 基氏红叶藻, 雅红藻以及厄瓜多尔裂叶藻), 以及褐藻纲的四个物种(即加拉帕戈斯双叉藻, 热带酸藻, 加拉帕戈斯网地藻, 以及施氏褐舌藻)。极危的红藻物种分别属于乳节藻科、龙须藻科、红叶藻科和裂叶藻科, 而极危的褐藻则属于马尾藻科、酸藻科和网地藻科。自1970年以来, 在1082-1983年厄尔尼诺现象和1997-1998年厄尔尼诺现象期间, 加拉帕戈斯的大型藻类种群发生了显著变化, 加拉帕戈斯特有的褐色大型藻类——加拉帕戈斯双叉藻受到影响; 这种藻类生长在浅水潮间带和潮下带生境(Garske, 2002年)。

一种褐藻, 即马尾藻科的丝叶马尾藻被列为濒危(自然保护联盟, 2019年)。

四个物种被列为易危——三种红藻(赤道赤藻、巴氏顶群藻和汉氏赤藻); 以及一种褐藻(加拉帕戈斯艾氏藻)(自然保护联盟, 2019)。

有四个物种(皆红藻)被列为无危, 54个物种被列为数据缺乏(自然保护联盟, 2019)。所评估的绿藻

中, 没有一种被列为受到威胁, 只有壮根枝藻被列为数据缺乏。

自然保护联盟报告中提到的主要威胁是“气候变化和恶劣天气”, 其次是“入侵物种和其他有问题的物种”。而提及最少的是“住宅和商业开发”、“交通和服务走廊”、“使用生物资源”和“污染”。

在区域尺度上, 进行了不同类型和水平的海藻生物多样性评估。

在地中海, 根据《保护地中海海洋环境和沿海区域公约》<sup>3</sup>的地中海行动计划进行了灭绝风险评估(该文件把47个物种列为受威胁物种)。在受威胁物种中, “形成生境”的囊链藻属物种(但其中的扁囊链藻除外)就是典例; 它们正在衰退, 甚至在局部灭绝(Mancuso等人, 2018年; Thibaut等人, 2015年)。然而, Verlaque等人(2019)建议对该清单进行逐项审查, 因为它包括了根本未受威胁、甚至被认为属于侵入性的物种(如管状绿藻), 并建议进行重新评估。地中海的海藻, 尤其是生长缓慢的多年生海藻, 大多受到下列威胁: 商业和工业发展(联合国环境规划署, 2015年; Mansour等人, 2007年; Husain和Khali, 2013年), 沿海排放(Mohorjy和Khan, 2006年; Peña-Garcia等人, 2014年; Fabbrizzi等人, 2020年), 气候变化(Piñeiro-Corbeira等人, 2018年)和通过苏伊士运河引入外来入侵物种(Galil等人, 2019年)。Israel等人(2020年)报告称, 以色列16%的海洋植物区系被视为入侵或外来物种。

Miloslavich等人(2011)分析了南美洲的海洋生物多样性, 发现热带东太平洋的物种丰度高于热带西大西洋, 洪堡海流系统比巴塔哥尼亚架丰富。特有性分析表明, 22%的南美洲物种是当地特有的, 75%的物种仅出现在南美洲的一个次区域内。在南大西洋, 当地压力因素和沿海城市化正导致海草生物多样性大幅度丧失。城市地区的海草丰度比植被程度较高的地区低26%(Schermer

<sup>2</sup> 本氏海藻的图像和分类学信息可查阅[www.algaebase.org/search/species/detail/?species\\_id=23738](http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=23738)。

<sup>3</sup> 联合国, 《条约汇编》, 第1102卷, 第16908号。

等人, 2013)。在全球压力因素中, 热浪值得重点关注, 因为它是对温度敏感物种(如在生态和生物技术角度而言很重要的红藻——卡氏凹顶藻)所面临的重大威胁。在2014年10月8日至11月13日的热浪期间, 温度比这些日历日所算出的阈值高出2.66度, 该物种的总生物量蒙受了约50%的损失(Gouvêa等人, 2017)。

在红海, 大型藻类的特有性比率约为9%(Persga, 2003年), 随着未来的研究, 这一比率可能会增加。这是因为红海大型藻类目前是人们最少研究的海藻之一, 尽管科学探索史可以追溯到十七世纪(Sheppard等人, 1992年)。以前的记录(Walker, 1987年)表明, 红海含有约485种大型藻类, 它们分布在环热带和亚热带, 物种出现在印度洋—太平洋、地中海和加勒比海区域的广大地区。红海大型藻类的组成、分布和多样性似乎遵循盐度、温度和营养丰度的自然纬度梯度(Kürten等人, 2014年), 南、北部多样性程度高于中部(Walker, 1987年; Sheppard, 1992年)。

## 6. 这些变化对人类社区、经济和福祉的影响

构成主要的沿海和海洋生态系统的物种(如红树属植物、盐沼植物、海草和海藻等)的消失, 或为使用和其他用途而捞获的物种的消失, 可能对社会造成重大的健康和经济损失。

海带属于褐藻, 在温带海洋中形成巨大的海带林; 海带物种消失的情况显示了物种消失对经济和福祉的直接影响。人们捞获海带物种作为食用, 并用于其他工业、化妆品、医疗和其他用途。海洋温度上升, 对海带影响极大, 因为海带需要在冷水中繁殖和生长。这种影响在海带分布区的最北端和最南端尤为明显(Reed等人, 2016年)。随着海洋升温, 一些海带种群的分布在南纬区域南移, 在北纬区域北移, 与海胆等相关的食草动物种群在最近几十年也发生了地理上的转移(Wahl等人, 2015年)。Wernberg等人(2019年)以及其他依据长期生物量记录, 展示了海带丰度的变化轨迹(图六)。

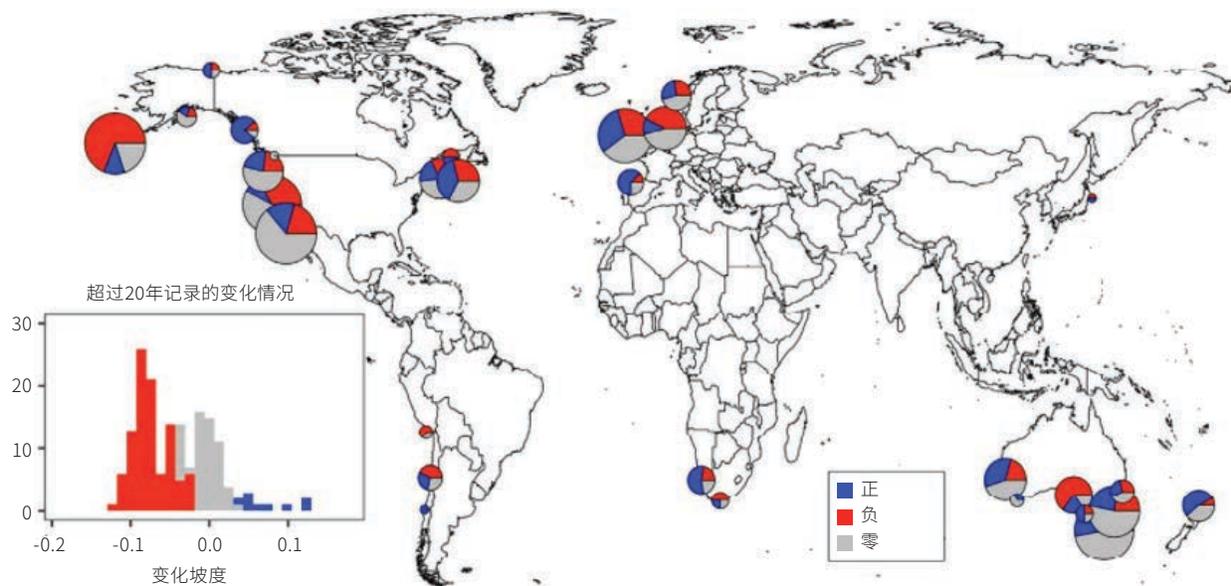
与世界其他地区相比, 南极大型藻类的特点是物种丰度低, 特有性高, 原先估计为33%(Wiencke和Clayton, 2002年; Wiencke等人, 2014年), 但自那时起, 已降至27%(Oliveira等人, 2020年)。褐藻的特有性最高(35.3%), 其次是红藻(29.4%), 绿藻最低(12.5%)(Oliveira等人, 2020年)。

在南极大型藻类中, 人们观察到, 物种多样性与纬度成反比(Wiencke和Clayton, 2002年)。南设得兰群岛共有104个分类群(Pellizzari等人, 2017年), 高于阿德莱德岛的41个分类群(Cormaci等人, 1992年), 以及新地湾(罗斯海, 南纬70度以上)的17个分类群(Mystikou等人, 2014年)。

Müller等人(2009年)对海洋变暖对南极海藻分布的影响进行了评估, 他们得出结论认为, 温度升高可能不会直接影响一些南极海藻的纬度分布。然而, Pellizzari等人(2020年)建议, 需要监测南极洲(主要是南极半岛周围)的大型藻类多样性, 因为该地区容易受到物种引进以及气象和海洋变化的影响(Hughes和Ashton, 2017年)。

气候变化波及形成珊瑚礁的珊瑚藻和形成藻砾层的红藻石, 由此对渔业造成的损失也是巨大的。关于大西洋、地中海和加利福尼亚湾水域藻砾/红藻石生境养护状况的一些出版物(Barberá等人, 2003年; Riosmena-Rodriguez, R. 等人, 2010年)表明, 在世界许多地方, 这些生境的健康状况正在下降。疏浚(如土壤改良剂或航道)、破坏性捕捞(如用挖泥船或拖网)和养鱼业等活动会降低这些生境的复杂性和生物多样性, 侵入性物种(如腹足类的履螺属)的扩展同样也能产生这种效应(Peña等人, 2014年)。除了这些直接影响之外, 据报道, 由于生长缓慢的珊瑚藻极易受到人为二氧化碳排放的影响, 藻砾层还面临着海洋变暖和酸化的压力(Martin和Hall-Spencer, 2017年; Cornwall等人, 2019年)。欧洲藻砾层受到保护, 因为它为相关动植物提供广泛的小生境。

**图六**  
全球海带丰度记录变化的轨迹



来源: Wernberg等人, 2019年, 经许可转载。

在脆弱性评估中, 如卵形喜盐草、单脉二药藻和丝粉藻等开拓性物种现被用作海草场复原力的指示物。几种海草物种被用作重金属污染的生物指示物, 例如, 卵形喜盐草和小喜盐草(Ahmad等

人, 2015年), 而泰来藻、海菖蒲和丝粉藻则是沉积物中镉含量和海水中锌含量的潜在生物指示物(Li和Xiaoping, 2012年)。

## 7. 知识和能力建设方面仍然存在的主要差距

虽然基因组学等新技术已被开发用于物种鉴定和阐明系统发育关系, 但许多地区仍缺乏人力和基础设施能力。很少有人学习是想成为系统分类学家的, 志在成为藻类学家(藻类分类学家)的人更是少之又少。分类学和系统分类研究是监测海洋生物多样性的工具, 而海洋生物多样性则是发展的基础, 对小岛屿国家和群岛国家而言尤其如此。

因此, 此类研究呼应可持续发展目标14, 特别是具体目标14.a。<sup>4</sup>随着识别物种新技术的发展, 物种数量预计将会增加, 特别是就大型藻类而言。然而, 由于可用能力的关系, 人们对一些地区的研究仍然会弱于其他地区。此外, 大多数植物物种, 包括大型藻类, 易受不断变化的气候和海洋条件影响, 这一脆弱性却未得到评估。<sup>5</sup>

## 8. 展望

气候变化现在被认为是种群面临的主要压力。对于一些物种(如一些红树属植物或沼泽植物物种)

来说, 这可能是一个扩大其分布范围的机会; 但气候变化也可能导致其他物种更受限制, 甚至灭绝,

<sup>4</sup> 见大会第70/1号决议。

<sup>5</sup> 见 [www.fisheries.noaa.gov/national/climate/climate-vulnerability-assessments](http://www.fisheries.noaa.gov/national/climate/climate-vulnerability-assessments)。

就像几种海带那样。例如, Pergent等人(2014年)预测, 在地中海, 主要是在海表温度和盐度预计会上升的黎凡特海, 耐盐性和耐温性较低的特有海草, 大洋海神草, 很可能会衰减。在较低温度条件下生长的大叶藻可能首先在地中海最北部受到进一步限制和隔离, 然后灭绝。大洋海神草和大叶藻还可能竞争不过在较温暖的气候条件下生长良好的物种, 如丝粉藻属和剑叶嗜盐海草, 这可能会进而降低生境的结构复杂性。

有人根据基于温室气体排放的代表性浓度途径的生境模型, 对到2100年海藻物种损失情况作了

一些预测; 这些预测认为, 在最保守的代表性浓度途径值为2.6的排放情形下, 澳大利亚15个主要海带物种和形成冠层的温带海藻物种会平均损失其当前分布量的62%(降幅在27%至100%之间不等), 而北大西洋八种海带预期会失去其分布范围的50%。另一方面, 有人预测, 一些物种的分布界限会扩展, 如北大西洋八个物种中, 有三个物种会进入北冰洋, 或取代另一个物种, 或形成新的林带。气候变化导致的食草动物数量的变化预计也会对大型藻类种群产生影响(见Wernberg等人, 2019年)。

## 参考资料

- Ahmad F., and others (2015). Tropical seagrass as a bioindicator for metal accumulation. *Sains Malaysiana*. vol. 44, No. 2, pp. 203–210. [10.17576/JSm-2015-4402-06](https://doi.org/10.17576/JSm-2015-4402-06).
- Alp Mehmet Tahir, and others . Determination of heavy metal levels in sediment and macroalgae (*Ulva* sp. and *Enteromorpha* sp.) on the Mersin Coast (2012). *Ekoloji*, vol. 21, No. 82, pp. 47–55.
- Amado-Filho, Gilberto M., and others (2017). South Atlantic rhodolith beds: latitudinal distribution, species composition, structure and ecosystem functions, threats and conservation status. In *Rhodolith/Maërl Beds: A Global Perspective*, Rafael Riosmena-Rodríguez, Wendy Nelson, and Julio Aguirre, eds. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, pp. 299–317. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-29315-8\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-29315-8_12).
- Barberá, C., and others (2003). Conservation and management of northeast Atlantic and Mediterranean maerl beds. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 13, No. S1, pp. S65–S76. <https://doi.org/10.1002/aqc.569>.
- Barbier, Edward B., and others (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, vol. 81, No. 2, pp. 169–93. <https://doi.org/10.1890/10-1510.1>.
- Bernier, R.Y., and others, eds. (2018). *State of the Atlantic Ocean Synthesis Report*. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences, No. 3167. Ottawa: Department of Fisheries and Oceans Canada.
- Chua, L.S.L. (1998). *Avicennia lanata*. *The IUCN Red List of Threatened Species*. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T31819A9662485.en>. Coates, K., and others, 2010. *Halodule bermudensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173374A7002336. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173374A7002336.en>.
- Cormaci, M., and others (1992). Observations taxonomiques et biogéographiques sur quelques espèces du genre *Cystoseira* C. Agardh. *Bulletin de l'Institut océanographique (Monaco)*, pp. 21–35.
- Cornwall, Christopher E., and others (2019). Impacts of ocean warming on coralline algal calcification: meta-analysis, knowledge gaps, and key recommendations for future research. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 186. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00186>.
- Dahdouh-Guebas, F., ed. (2020). World Mangroves database and Herbarium. Mangroves: the forgotten habitat in the middle of everywhere. Available at [www.vliz.be/vmdcdata/mangroves](http://www.vliz.be/vmdcdata/mangroves).
- Delwiche, Charles F. (2007). Algae in the warp and weave of life: bound by plastids. In *Unravelling the Algae. The Past, Present, and Future of Algal Systematics*. Juliet Brodie and Jane Lewis, eds. The Systematics Association Special Volume Series, No. 75. Boca Raton, Florida: CRC Press, pp. 7–20.

- Donato, Daniel C., and others (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, vol. 4, No. 5, pp. 293–297. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>.
- Duarte, M.C., and others (2012). Systematics and ecology of a new species of seagrass (*Thalassodendron*, Cymodoceaceae) from Southeast African Coasts. *Novon: A Journal for Botanical Nomenclature*, vol. 22, No. 1, pp. 16–24.
- Duke, N. (2010a). *Avicennia integra*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T178844A7624677. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178844A7624677.en>.
- \_\_\_\_\_ (2010b). *Avicennia bicolor*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T178847A7625682. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178847A7625682.en>.
- Duke, N., and others (2010a). *Sonneratia griffithii*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T178799A7609832. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178799A7609832.en>.
- \_\_\_\_\_ (2010b). *Bruguiera hainesii*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T178834A7621565. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178834A7621565.en>.
- \_\_\_\_\_ (2010c). *Camptostemon philippinense*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T178808A7612909. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178808A7612909.en>.
- \_\_\_\_\_ (2010d). *Ceriops decandra*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T178853A7627935. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178853A7627935.en>.
- Ellison, J., and others (2010a). *Aegialitis rotundifolia*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*, e.T178839A7623021. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178839A7623021.en>.
- \_\_\_\_\_ (2010b). *Aegiceras floridum*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*, e.T178856A7628795. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178856A7628795.en>.
- \_\_\_\_\_ (2010c). *Pellicierarhizophorae*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*, e.T178833A7621318. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178833A7621318.en>.
- \_\_\_\_\_ (2010d). *Excoecaria indica*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*, e.T178836A7622053. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178836A7622053.en>.
- Ellison, J., and J. Duke (2010). *Rhizophora samoensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T178831A7620672. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178831A7620672.en>.
- El Shaffai, A. (2016). *Field Guide to Seagrasses of the Red Sea*. 2nd ed. Anthony Roupheal and Ameer Abdulla, eds. Gland, Switzerland: IUCN.
- Fabbrizzi, E., and others (2020). Modeling macroalgal forest distribution at Mediterranean scale: present status, drivers of changes and insights for conservation and management. *Frontiers in Marine Science*, vol. 7, art. 20. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00020>.
- Ferreira, Chirle, and others (2015). Anatomical and ultrastructural adaptations of seagrass leaves: an evaluation of the southern Atlantic groups. *Protoplasma*, vol. 252, No. 1, pp. 3–20. <https://doi.org/10.1007/s00709-014-0661-9>.
- Foggi, B., and others (2011). *Salicornia veneta*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T164320A5824288. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2011-1.RLTS.T164320A5824288.en>.
- Galil, B.S., and others (2019). Invasive biota in the deep-sea Mediterranean: an emerging issue in marine conservation and management. *Biological Invasions*, vol. 21, pp. 281–88.
- Garske L.E. (2002). Macroalgas marinas. In *Reserva Marina de Galápagos: Línea Base de la Biodiversidad*. Eva Danulat and Graham J. Edgar, eds. Santa Cruz, Galápagos, Ecuador: Fundación Charles Darwin/Servicio Parque Nacional Galápagos, Pp. 419–439.
- Gerakaris, V., and others (2020). First record of the tropical seagrass species *Halophila decipiens* Ostenfeld in the Mediterranean Sea. *Aquatic Botany*, vol. 160, 103151. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2019.103151>.

- Gouvêa, L.P., and others (2017). Interactive effects of marine and eutrophication on the ecophysiology of a widespread and ecologically important macroalga. *Limnology and Oceanography*, vol. 62, No. 5, pp. 2056–2075. <https://doi.org/10.1002/lno.10551>.
- Gorman, Daniel, and others (2016). Population expansion of a tropical seagrass (*Halophila decipiens*) in the southwest Atlantic (Brazil). *Aquatic Botany*, vol. 132, pp. 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2016.04.002>.
- Green, E.P., and F.T. Short (2003). *World Atlas of Seagrasses*. Berkeley, California: University of California Press, p. 324.
- Greenberg, Russell, and others (2006). Tidal marshes: a global perspective on the evolution and conservation of their terrestrial vertebrates. *BioScience*, vol. 56, No. 8, pp. 675–85. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)56\[675:TMAGPO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[675:TMAGPO]2.0.CO;2).
- Guiry, M. D. (2012). How many species of algae are there? *Journal of Phycology*, vol. 48, No. 5, pp. 1057–1063. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2012.01222.x>.
- Guiry, M.D., and Guiry, G.M. (2020). AlgaeBase. World-wide electronic publication. Galway: Ireland: National University of Ireland. [www.algaebase.org](http://www.algaebase.org).
- Heck, Kenneth L., and Robert J. Orth (1980). Seagrass habitats: the roles of habitat complexity, competition and predation in structuring associated fish and motile macroinvertebrate assemblages. In *Estuarine Perspectives*. V. S. Kennedy, ed. New York: Academic Press, pp. 449–464.
- Hopkinson, Charles S., and others (2012). Carbon sequestration in wetland dominated coastal systems – a global sink of rapidly diminishing magnitude. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 4, No. 2, pp. 186–194. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.03.005>.
- Hughes, Kevin A., and Gail V. Ashton (2017). Breaking the ice: the introduction of biofouling organisms to Antarctica on vessel hulls. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 27, No. 1, pp. 158–164.
- Husain, Tahir, and Ahmed Abdulwahab Khalil (2013). Environment and sustainable development in the Kingdom of Saudi Arabia: current status and future strategy. *Journal of Sustainable Development*, vol. 6, No. 12, pp. 14–30.
- International Union for Conservation of Nature (IUCN) (2019). *The IUCN Red List of Threatened Species*. [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org).
- Israel, Alvaro, and others (2020). The seaweed resources of Israel in the Eastern Mediterranean Sea. *Botanica Marina*, vol. 63, No. 1, pp. 85–95. <https://doi.org/10.1515/bot-2019-0048>.
- Kathiresan, K., and others (2010). *Heritiera fomes*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e. T178815A7615342. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178815A7615342.en>.
- Kirwan, Matthew L., and J. Patrick Megonigal (2013). Tidal wetland stability in the face of human impacts and sea-level rise. *Nature*, vol. 504, pp. 53–60. <https://doi.org/10.1038/nature12856>.
- Krause-Jensen, Dorte, and Carlos M. Duarte (2016). Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. *Nature Geoscience*, vol. 9, No. 10, pp. 737–42. <https://doi.org/10.1038/ngeo2790>.
- Kürten, Benjamin, and others (2014). Ecohydrographic constraints on biodiversity and distribution of phytoplankton and zooplankton in coral reefs of the Red Sea, Saudi Arabia. *Marine Ecology*, vol. 36, No. 4, pp. 1195–1214. <https://doi.org/10.1111/maec.12224>.
- Li, Lei, and Xiaoping Huang (2012). Three tropical seagrasses as potential bio-indicators to trace metals in Xincun Bay, Hainan Island, South China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, vol. 30, No. 2, pp. 212–224. <https://doi.org/10.1007/s00343-012-1092-0>.
- Little, Stefan A., and others (2004). Duabanga-like leaves from the Middle Eocene Princeton chert and comparative leaf histology of Lythraceae sensu lato. *American Journal of Botany*, vol. 91, No. 7, pp. 1126–1139.

- Maiz-Tome, L., ed. (2016). *Spartina alterniflora*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T13491788A13491792. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T13491788A13491792.en>.
- Mancuso, F.P., and others (2018). Status of vulnerable *Cystoseira* populations along the Italian infralittoral fringe, and relationships with environmental and anthropogenic variables. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 129, No. 2, pp. 762–771. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.10.068>.
- Mansour, Abbas M., and others (2007). Sedimentological and environmental impacts of development projects along the coast of Hurghada, Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, vol. 33, No. 1, pp. 59–84.
- Martin, Sophie, and Jason M. Hall-Spencer (2017). Effects of Ocean Warming and Acidification on Rhodolith/Maërl Beds. In *Rhodolith/Maërl Beds: A Global Perspective*, Rafael Riosmena-Rodríguez, Wendy Nelson, and Julio Aguirre, eds. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, pp. 55–85. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-29315-8\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-29315-8_3).
- Matheson, K., and others (2016). Linking eelgrass decline and impacts on associated fish communities to European green crab *Carcinus maenas* invasion. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 548, pp. 31–45.
- Millar, A.J.K. (2003). The world's first recorded extinction of a seaweed. In *Proceedings of the XVIIth International Seaweed Symposium*. Anthony Chapman and others. New York: Oxford University Press, pp. 313–318.
- Miller, K.A., and others (2007a). *Acrosorium papenfussii*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63609A12696272. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63609A12696272.en>.
- \_\_\_\_\_ (2007b). *Austrofolium equatorianum*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63610A12696491. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63610A12696491.en>.
- \_\_\_\_\_ (2007c). *Bifurcaria galapagensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63593A12686056. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63593A12686056.en>.
- \_\_\_\_\_ (2007d). *Desmarestia tropica*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63585A12684515. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63585A12684515.en>.
- \_\_\_\_\_ (2007e). *Dictyota galapagensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63587A12684867. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63587A12684867.en>.
- \_\_\_\_\_ (2007f). *Eisenia galapagensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63598A12686906. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63598A12686906.en>.
- \_\_\_\_\_ (2007g). *Galaxaura barbata*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63651A12703033. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63651A12703033.en>.
- \_\_\_\_\_ (2007h). *Gracilaria skottsbergii*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63646A12702413. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63646A12702413.en>.
- \_\_\_\_\_ (2007i). *Laurencia oppositoclada*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63622A12699120. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63622A12699120.en>.
- \_\_\_\_\_ (2007j). *Myriogramme kylinii*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63612A12696918. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63612A12696918.en>.
- \_\_\_\_\_ (2007k). *Phycodrina elegans*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63614A12697346. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63614A12697346.en>.
- \_\_\_\_\_ (2007l). *Pseudolaingia hancockii*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63615A12697574. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63615A12697574.en>.
- \_\_\_\_\_ (2007m). *Sargassum setifolium*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63596A12686555. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63596A12686555.en>.

- \_\_\_\_\_ (2007n). *Schizymenia ecuadoreana*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63653A12703293. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63653A12703293.en>.
- \_\_\_\_\_ (2007o). *Spatoglossum schmittii*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2007*, e.T63591A12685707. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T63591A12685707.en>.
- Miloslavich, Patricia, and others (2011). Marine biodiversity in the Atlantic and Pacific coasts of South America: knowledge and gaps. *PLOS ONE*, vol. 6, No. 1, pp. 1–43. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014631>.
- Möller, Iris, and others (2014). Wave attenuation over coastal salt marshes under storm surge conditions. *Nature Geoscience*, vol. 7, No. 10, pp. 727–731. <https://doi.org/10.1038/ngeo2251>.
- Mohorjy, Abdullah M., and Ahmed M. Khan (2006). Preliminary assessment of water quality along the Red Sea coast near Jeddah, Saudi Arabia. *Water International*, vol. 31, No. 1, pp. 109–115. <https://doi.org/10.1080/02508060608691920>.
- Müller, Ruth, and others (2009). Impact of oceanic warming on the distribution of seaweeds in polar and cold-temperate waters. *Botanica Marina*, vol. 52, No. 6, pp. 617–638.
- Mystikou, Alexandra, and others (2014). Seaweed biodiversity in the south-western Antarctic Peninsula: surveying macroalgal community composition in the Adelaide Island/Marguerite Bay region over a 35-year time span. *Polar Biology*, vol. 37, No. 11, pp. 1607–1619.
- Nasr, Dirar, and others. (2019). Status of Red Sea dugongs. In *Oceanographic and Biological Aspects of the Red Sea*. Najeed M. A. Rasul and Ian C. F. Stewart, eds. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, pp. 327–354. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-99417-8\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99417-8_18).
- Nawata, H. (2013). Relationship between humans and camels in arid tropical mangrove ecosystems on the Red Sea coast. *Global Environmental Research*, vol. 17, pp. 233–246.
- Nguyen, V.X., and others (2014). Genetic species identification and population structure of *Halophila* (Hydrocharitaceae) from the Western Pacific to the Eastern Indian Ocean. *BMC Evolutionary Biology*, vol. 14, No. 1, pp. 92. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-14-92>.
- \_\_\_\_\_ (2015). New insights into DNA barcoding of seagrasses. *Systematics and Biodiversity*, vol. 13, No. 5, pp. 496–508.
- Ocean Biodiversity Information System (OBIS) (2020). Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. Available at <https://obis.org/> (accessed on 10 April 2020).
- Oliveira, M.C., and others (2020). Diversity of Antarctic seaweeds. In *Antarctic Seaweeds: Diversity, Adaptation and Ecosystem Services*. Iván Gómez and Pirjo Huovinen, eds. Springer, pp. 23–42. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-39448-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-39448-6_2).
- Ono, Junya, and others (2016). *Bruguiera hainesii*, a critically endangered mangrove species, is a hybrid between *B. cylindrica* and *B. gymnorhiza* (Rhizophoraceae). *Conservation Genetics*, vol. 17, No. 5, pp. 1137–1144. <https://doi.org/10.1007/s10592-016-0849-y>.
- Papenbrock, Jutta (2012). Highlights in seagrasses' phylogeny, physiology, and metabolism: what makes them special? *ISRN Botany*, vol. 2012, art. 103892. <https://doi.org/10.5402/2012/103892>.
- Peña, V., and others (2014). The diversity of seaweeds on maerl in the NE Atlantic. *Marine Biodiversity*, vol. 44, No. 4, pp. 533–551. <https://doi.org/10.1007/s12526-014-0214-7>.
- Peña-García, David, and others (2014). Input and dispersion of nutrients from the Jeddah Metropolitan Area, Red Sea. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 80, Nos. 1 and 2, pp. 41–51.
- Pellizzari, F., and others (2017). Diversity and spatial distribution of seaweeds in the South Shetland Islands, Antarctica: an updated database for environmental monitoring under climate change scenarios. *Polar Biology*, vol. 40, No. 8, pp. 1671–1685.

- Pellizzari F., and others (2020). Biogeography of Antarctic seaweeds facing climate changes. In *Antarctic Seaweeds: Diversity, Adaptation and Ecosystem Services*. Iván Gómez and Pirjo Huovinen, eds. Springer, pp. 83–102. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-39448-6\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-39448-6_5).
- Pendleton, Linwood, and others (2012). Estimating global “blue carbon” emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. *PLOS ONE*, vol. 7, No. 9, e43542. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043542>.
- Pergent, G., and others (2014). Climate change and Mediterranean seagrass meadows: a synopsis for environmental managers, *Mediterranean Marine Science*, vol. 15, No. 2. <http://dx.doi.org/10.12681/mms.621>.
- Piñeiro-Corbeira, Cristina, and others (2018). Seaweed assemblages under a climate change scenario: functional responses to temperature of eight intertidal seaweeds match recent abundance shifts. *Scientific Reports*, vol. 8, art. 12978. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31357-x>.
- Ragavan, P., and others (2017). Natural hybridization in mangroves – an overview. *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol. 185, No. 2, pp. 208–224. <https://doi.org/10.1093/botlinnean/box053>.
- Reed, Daniel, and others (2016). Extreme warming challenges sentinel status of kelp forests as indicators of climate change. *Nature Communications*, vol. 7, art. 13757. <https://doi.org/10.1038/ncomms13757>.
- Riosmena-Rodríguez, Rafael (2017). Natural history of rhodolith/maërl beds: their role in near-shore biodiversity and management. In *Rhodolith/Maërl Beds: A Global Perspective*, Rafael Riosmena-Rodríguez, Wendy Nelson, and Julio Aguirre, eds. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, pp. 3–26.
- Riosmena-Rodríguez, Rafael, and others, “Reefs that rock and roll: biology and conservation of rhodolith beds in the Gulf of California”, in *The Gulf of California: biodiversity and conservation*, R. C. Bursca, ed. (Tucson, University of Arizona and Arizona-Sonora Desert Museum Press, 2010).
- Salmo III, S.G., and others (2010). *Sonneratia ovata*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T178814A7615033. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178814A7615033.en>.
- Scherner, F., and others (2013). Coastal urbanization leads to remarkable seaweed species loss and community shifts along the SW Atlantic. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 76, Nos. 1 and 2, pp. 106–115.
- Sghaier, Y.R., and others (2011). Occurrence of the seagrass *Halophila stipulacea* (Hydrocharitaceae) in the southern Mediterranean Sea. *Botanica Marina*, vol. 54, No. 6, pp. 575–582. <https://doi.org/10.1515/BOT.2011.061>.
- Shawky, A.M. (2019). Evidence of the occurrence of a large dugong in the Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, vol. 45, No. 3, pp. 247–250.
- Sheppard, Charles, and others (1992). *Marine Ecology of the Arabian Region: Pattern and Processes in Extreme Tropical Environments*. London: Academic Press. Sherman, Kenneth, and Gotthilf Hempel, eds. (2008). The UNEP large marine ecosystem report: a perspective on changing conditions in LMEs of the world’s regional seas. UNEP Regional Seas Report and Studies, No. 182. Nairobi, United Nations Environment Programme.
- Sinclair, Elizabeth A., and others (2018). Seeds in motion: genetic assignment and hydrodynamic models demonstrate concordant patterns of seagrass dispersal. *Molecular Ecology*, vol. 27, No. 24, pp. 5019–5034.
- Short, F.T. (2010a). *Lepilaena australis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173353A6997857. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173353A6997857.en>.
- (2010b). *Lepilaena marina*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173359A6998923. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173359A6998923.en>.

- \_\_\_\_\_ (2010c). *Halodule ciliata*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173334A6993582. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173334A6993582.en>.
- \_\_\_\_\_ (2010d). *Halophila sulawesii*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173326A6991316. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173326A6991316.en>.
- Short, F.T., and M. Waycott (2010a). *Phyllospadix japonicus*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T173341A6994909. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173341A6994909.en>.
- \_\_\_\_\_ (2010b). *Zostera chilensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T173322A6990689. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173322A6990689.en>.
- \_\_\_\_\_ (2010c). *Zostera geojeensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173345A6995781. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173345A6995781.en>.
- \_\_\_\_\_ (2010d). *Zostera asiatica*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173339A6994461. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173339A6994461.en>.
- Short, F.T., and M. Waycott (2010e). *Zostera caulescens*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173335A6993689. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173335A6993689.en>.
- \_\_\_\_\_ (2010f). *Phyllospadix iwatensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173344A6995596. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173344A6995596.en>.
- \_\_\_\_\_ (2010g). *Zostera caespitosa*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173357A6998463. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173357A6998463.en>.
- Short, F.T., and others (2010a). *Posidonia australis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173333A6993340. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173333A6993340.en>.
- Short, F.T., and others (2010b). *Halophila engelmanni*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173337A6994043. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173337A6994043.en>.
- Short, F.T., and others (2010c). *Halophila nipponica*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173381A7004341. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173381A7004341.en>.
- Short, F.T., and others (2010d). *Posidonia sinuosa*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173349A6996688. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173349A6996688.en>.
- Short, F.T., and others (2010e). *Halophila baillonii*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173382A7004500. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173382A7004500.en>.
- Short, F.T., and others (2010f). *Halophila beccarii*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173342A6995080. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173342A6995080.en>.
- Short, F.T., and others (2010g). *Halophila hawaiiiana*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173338A6994270. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173338A6994270.en>.
- Short, F.T., and others (2010h). *Zostera capensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173370A7001305. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173370A7001305.en>.
- Short, F.T., and others (2010i). *Halodule beaudettei*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173329A6992218. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173329A6992218.en>.
- Short, F.T., and others (2010j). *Halodule emarginata*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173347A6996342. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173347A6996342.en>.
- Short, F.T., and others (2010k). *Halophila euphlebia*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173325A6991162. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173325A6991162.en>.
- Short, F.T., and others (2010l). *Ruppia filifolia*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. e.T173362A6999534. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173362A6999534.en>.
- Short, F.T., and others (2011). Extinction risk assessment of the world's seagrass species. *Biological Conservation*, vol. 144, No. 7, pp. 1961–1971.

- Sukardjo, S. (2010). *Heritiera globosa*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T178807A7612712. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-2.RLTS.T178807A7612712.en>.
- Thibaut T., and others (2015). Decline and local extinction of Fucales in the French Riviera: the harbinger of future extinctions? *Mediterranean Marine Science*, vol. 16, No. 1, pp. 206–224.
- Tuya, Fernando, and others (2017). Seagrass paleo-biogeography: fossil records reveal the presence of *Halodule* cf. in the Canary Islands (eastern Atlantic). *Aquatic Botany*, vol. 143, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2017.08.002>.
- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- United Nations Environment Programme (2015). Regional Coordination Mechanism (RCM): issues brief for the Arab Sustainable Development Report. Marine Resources in the Arab Region.
- Verlaque, Marc, and others (2019). Mediterranean seaweeds listed as threatened under the Barcelona Convention: a critical analysis. In *Scientific Reports of Port-Cros National Park*, , vol. 33, pp. 179–214.
- Wahl, Martin, and others (2015). The responses of brown macroalgae to environmental change from local to global scales: direct versus ecologically mediated effects. *Perspectives in Phycology*, vol. 2, No. 1, pp. 11–29.
- Walker, Diana I. (1987). Chapter 8: benthic algae. In *Red Sea*, Alasdair J. Edwards and Stephen M. Head, eds. Key Environment Series. Amsterdam: Pergamon. pp. 152–168. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-028873-4.50013-X>.
- Ward, R.D., and others (2016). Impacts of climate change on mangrove ecosystems: a region by region overview. *Ecosystem Health and Sustainability*, vol. 2, No. 4. e01211. <https://doi.org/10.1002/ehs2.1211>.
- Wernberg, T., and others (2019). Chapter 3: status and trends for the world's kelp forests. In *World Seas: An Environmental Evaluation*, 2nd ed., pp. 57–78. London: Academic Press.
- Wiencke, Christian, and others (2014). Macroalgae. In *Biogeographic Atlas of the Southern Ocean*. Claude de Broyer and others, eds. Cambridge, United Kingdom: Scientific Committee on Antarctic Research, pp. 66–73.
- Wiencke C., and Clayton M.N. (2002). Antarctic Seaweeds. In *Synopses of the Antarctic Benthos*, vol. 9. Johann-Wolfgang Wägele, ed. Rugell, Liechtenstein.
- World Conservation Monitoring Centre, World Conservation Monitoring Centre (1998). *Sonneratia hainanensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, e.T32472A9709212. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T32472A9709212.en>.
- Yuan F., and others (2019) Reproductive physiology of halophytes: current standing. *Frontiers in Plant Science*, vol. 9, art. 1954. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01954>.

# 第 7 章

# 海洋生境

# 生物多样性状况

# 的趋势

本章牵头人: Hilconida Calumpong。



## 导言

本章由17个分章组成,详细介绍了从海岸到最深的深海平原的沿海生境与海洋生境状况。本章介绍了自《第一次世界海洋评估》以来红树林、盐沼、河口和三角洲、海底草原、冷水珊瑚、热带和亚热带珊瑚礁、马尾藻海、高纬度冰、热液喷口和冷渗漏以及海底生境(如海山、海底峡谷和海沟)的状况变化。

海底峡谷分章有所扩展,包含大陆坡,而海山分章包含尖岩,海沟分章包含海底洋脊和高原。海藻森

林在《第一次评估》中与海草一同介绍,本章将其纳入海洋植物和大型藻类分章。对沙质和泥质附着附着基、潮间带、环礁和岛屿泻湖、深海平原和开阔海洋作出了新的评估。

如果《第一次评估》使用了生境状况基线,则以该基线为基础考察过去十年的变化。本章对生境的主要威胁加以确定,并讨论了这些威胁对观察到的变化的影响。在有资料的情况下,着重说明具体的区域变化,并提供生境状况的近期至中期展望。



# 第 7A 章

# 潮间带

**撰稿人:** Julia Sigwart (召集人)、Hilconida Calumpong (本章牵头人)、Ronaldo Adriano Christofolletti、Karen Evans (分章牵头人)、Judith Gobin和Patricia Miloslavich。



## 主旨要点

- 潮间带包括世界各海岸上许多不同的生境。
- 很大一部分人类生活在潮间带附近。
- 人类活动通过海岸改造直接影响潮间带, 通过气候变化间接影响潮间带。
- 尽管我们与潮间带生境关系密切, 但依然存在一些重大的知识差距, 需要在发展中国家建立生物分类学基础设施来解决基线数据的问题。

## 1. 引言

潮间带是人类影响海洋的前沿——海洋与陆地的交汇处。世界各地的潮间带包括海岸上的各种生境, 并且这些环境并非一直被海水所覆盖, 会定期随着退潮露出水面, 因而具备了共同的特殊属性。陆地和海洋因素之间的交界形成了一个咸水影响递增的谱系, 其中各物种和生境在这谱系上分梯度而列, 占据着不同位置。这一点在岩质海岸潮间带的堆积带或堆积区(图一)或从沙丘到盐沼再到潮滩的演替(图二)中清晰可见。潮间带还包括沙滩、红树林、珊瑚碎石和浅礁(图三和图四), 并且潮间带为海洋爬行动物等被认为具有特殊意义的大型动物提供了主要生境(见第6D章)。栖息在潮间带的物种具有特殊的适应能力, 能够忍受空气和水之间的周期性转换。潮间带是海洋中最容易进入的部分, 因此对于糊口的生计和小规模渔业及捕捞特别重要。由于这种易入性, 潮间带是与人类活动和互动最密切相关的海洋领域。

**图一**  
岩石露头上暴露的潮间带, 显示出由贻贝(离沙子最近的黑色带)、藤壶和地衣形成的水平区带



图片来源: J. Sigwart。  
注: 加拿大不列颠哥伦比亚省尤克卢利特。

**图二**  
裸露的潮间带泥滩区域, 周围环绕着农村设施和抛石



图片来源: J. Sigwart。  
注: 联合王国北爱尔兰纽敦纳兹。

**图三**  
毗邻岩质附着基、植被为红树林的潮间带



图片来源: J. Sigwart。  
注: 泰国普吉岛。

**图四**  
水面下的潮间带活珊瑚, 位于极端自然潮汐时偶尔会暴露出来的浅滩珊瑚礁和珊瑚碎石区域



图片来源: J. Sigwart。  
注: 马来西亚波德申。

## 2. 2010-2020年间环境变化介绍

沿海和近岸海洋环境是受气候变化影响最大的海洋生境(Hoegh-Guldberg和Bruno, 2010年)。世界各地捕捞或养殖的潮间带物种有很多许多,而这种捕捞和养殖取决于能否进入沿海生境以及在物种分布、物理干扰、开发、交通和污染的背景下这些生境的状况。潮间带环境退化对岛屿国家和沿海国家的影响最严重,因为潮间带占这些国家领土面积的比例较大,但所有国家都会受到直接或间接的影响(Curran等人, 2002年)。由于沿海开

自《第一次世界海洋评估》(联合国, 2017年)以来,潮间带生境最重要的变化是气候变化和人类改造海岸线所导致的。在《第二次世界海洋评估》中,“潮间带”或“沿海区”指的并不是单一的生境,它包含第6和第7章所涵盖的许多其他生境的各个方面(见下表),包括沙滩、岩石、高纬度海冰、红树林、珊瑚碎石和浅礁。同样,必须澄清沿海生境和群落主要是海底层生境和群落,但海底层是一个含义更加广泛的海底部范畴,包括从潮间带到深海。

潮汐的作用在世界各区域有很大的区别,这些动态影响着海洋中的动植物以及人类活动。在许多封闭水域,比如地中海,潮汐流几乎可以忽略不计。潮汐流非常高的地区是开采潮汐能的目标地点,例如联合王国北爱尔兰的斯特兰福德湾和大韩民国的西洼湖(Leary和Esteban, 2009年)。潮汐流较低的地区,包括受保护的河口,往往是连接世界主要城市和全球航运中心的港口开发地。随着世界沿海地区的发展,引入人工附着基和人造海洋建筑设施的情况越来越多。人工附着基出现在所有沿海地区,大体上包括填海造地和人工岛屿,以及海洋基础设施和人造生境(如人工珊瑚礁)。

发,包括盐沼和红树林在内的潮间带植被已经消失或严重退化,上个世纪超过50%的湿地和红树林消失(Burke等人, 2000年)。沿海环境还会受到陆源污染径流的影响。这些影响综合起来可能会改变淡水和海洋资源。人类活动继续通过改变或创造海岸线的建筑活动以及随后改变水动力和沉淀物的输移而直接或间接地改变海岸的物理形状,这一切都改变了生境的状况。

带有潮间带特征的生境的信息来源表

生境类型	潮间带特征	重大变化和威胁	来源
砂质和泥质附着基(软底)	沙滩和泥滩	用于建造人工岛屿的采砂; 波浪作用增强对沉积物的侵蚀和再分配	第7B章
岩质附着基和礁类	岩质海岸	风暴造成的热力范围扩大及其带来的海浪冲击以及入侵物种都会减少当地的生物多样性	第7B章
环礁和岛屿泻湖	浅岸礁、珊瑚碎石	海平面上升、海洋暖化、海浪高度增加和海岸侵蚀	第7C章
热带和亚热带珊瑚礁	珊瑚碎石以及潮间带硬珊瑚和软珊瑚	珊瑚白化和对海洋暖化的生理反应; 海岸侵蚀和营养盐流失	第7D章
河口和三角洲	潮汐河口	海平面上升、陆地污染物和径流	第7F章
海藻森林和藻床	潮间带藻类	风暴造成的热力范围扩大及其带来的海浪冲击以及入侵物种都会减少当地的生物多样性	第6G章
海草场	潮间带海草	抛锚或开发造成的物理干扰; 海温变暖	第7G章
红树林	沿海红树林	伐木和清除林地	第7H章
盐沼	潮汐沼泽	海平面上升、陆地污染物和径流	第7I章
高纬度海冰	极地海岸环境	与气候有关的冬季冰盖丧失增加了温度波动的干扰以及海冰破碎和冰山冲刷的物理影响; 冰层的融化也为物种入侵新区域开辟了途径	第7K章
人工附着基与人造环境		入侵物种、污染物	第7A章

沿海环境变化的总体影响是减少可用的潮间带生境和降低剩余生境的质量。潮间带生物和生态系统通常处于对一种压力因素的容忍边缘,可能会对环境变化带来的额外压力做出意想不到的反应,这意味着局部的反应通常是不可预测的(Hewitt 等人, 2016年)。这限制了捕捞物种的分布和可持续性。气候变化的影响包括温度变化,但也包括海平面上升和海浪高度的变化以及风暴事件的增加。海平面上升减少了潮间带生境的可利用性,因为自然环境面临着人类采取的缓解措施,如修建海堤和海岸防护设施。这导致了一种叫做“沿海挤压”的现象,即当海平面上升时,海洋的影响就会向内陆推移,进入已经被人类活动占据的空间(Pontee, 2013年)。

人类对海岸线的改造还包括城市化和开发、城市和海洋基础设施的建设以及娱乐活动的开发。有形基础设施包括桥梁、道路、海堤、大坝和防洪闸,以及风能和潮汐能转换器等能源基础设施。这样的建造物创造了附着基——一种可以被岩石潮间带物种占据的潜在礁石状坚硬基底。然而,虽然这样一来局部范围内的物种多样性可能会增加,但总体影响会导致生境丧失。近年来,人类对海岸的改造规模急剧加快,主要项目是建设人工岛和半岛结构,以增加沿海住房。这些项目对潮间带群落的影响尚属未知,因为从当地以外进口的物理材料(岩石和沙子)将带来更多的外来生物材料。建造新岛屿抹去了以前占据同一空间的生境,并改变了当地的水动力情况和沉积物,这将进一步扼杀毗邻的生境。新建筑物还会入住高密度的人口,从而带来更多环境影响。

### 3. 经济和社会影响

海洋，特别是沿岸区域，对所有可持续发展目标都有影响。<sup>1</sup>潮间带生境提供了最常见的海洋生态系统货品和服务，沿海生境不仅具有生物多样性的价值，还为人类提供服务。海洋资源的开发也有很强的性别因素，但从20世纪90年代开始，欧洲发展起来了一些妇女渔民组织(Frangoudes等人，2014年)。

适合当地环境的物种可能不是说明特定服务最有效的例子，但更重要的是，它们为区域生物多样性做出了贡献。例如，贻贝和牡蛎过滤水并提供食物，但这些双壳科中有300多个物种(世界海洋物种目录(WoRMS)编委会，2017年)，其中许多物种填充了零散的小生境或发挥生态系统功能。其中许多物种被广泛养殖和消费。从长远来看，在全球所有海岸选择单一物种进行大规模水产养殖是不可持续的。当地原生生境的其他物种有助于支持生物多样性和人力资源的多样化。

目前人类改变海岸线的后果对潮间带生物多样性既有积极的影响，也有消极的影响。第2节提

到的各种人为压力的相对影响在发达经济体和发展中经济体之间有所不同。岩石盔甲，或称抛石，是为了控制海岸线的侵蚀而建造的坚硬构造物。这些材料包括旨在支持潮间带生物生境空间的建造物，这些建造物可以在当地范围内对生境丧失起到重要的缓解作用，并有助于为人类提供更多惠益(Chapman和Underwood，2011年)。为增加生境空间而设计的建筑物有时被称为“活海堤”，可以减轻海岸硬化的一些影响。人工附着基显然也有利于非本土和入侵的海洋物种，这些物种在岩质附着基中的竞争力超过本土物种(Tyrrell和Byers，2007)。这种生态工程方法可以限制(如果不是减轻)沿海扩张造成的生境丧失现象。另一种形式的海岸改造是造地(“填海”造地)，这虽然在短期内对人类有益，但降低了自然系统提供其他惠益的能力，包括天然海浪和风暴防御。沿海社区面临着人身安全和获得食物的机会都面临着变化的风险，这对与可持续发展目标有关的极其重要的问题(如贫困、教育和食物的可获得性)都有影响。

### 4. 特定区域的关键变化和后果

特定生境类型在某些地区会更为普遍，具体取决于当地的海岸形态。例如，在北大西洋和北太平洋的温带地区，岩石潮间带生境具有非常高的生物多样性，而南大西洋的巴西海岸被认为是大型藻类的热点地区(Milolavich等人，2016年)。红树林和珊瑚(延伸到潮下带)是热带和亚热带海岸线上特有的生境，而海平面上升对这些地方的威胁最大。

除了不适宜居住或构成重大危险的沿海地区(例如，咸水鳄鱼出没的地区)和高纬度地区——那里的人口密度很低、甚至根本没人居住，我们对潮间带生境的了解超过对世界各地潮下带生境的了

解。我们仍然没有完成对南极和北极地区全部沿海动植物的取样。热带地区，特别是东南亚的热带地区，尚未被描述的新物种特别多，不过正在越来越被人所认识，特别是通过分子遗传分析。在研究较少的地区，因为无法评估适当的保护措施，处于压力下的物种面临着更高的潜在灭绝风险。

人工生境的分布也因当地情况而异。人工岛屿主要分布在阿拉伯湾和东南亚的浅海和避风港。岩石盔甲在世界各地都有发现，但关于其对生境空间的贡献，澳大利亚、北美和欧洲做的研究最多。能源转换器，如海上风力涡轮机，在欧洲尤其常见，在北美也越来越多(见第21章)。对沿海开发的需求

<sup>1</sup> 见大会第70/1号决议。

越来越大,不仅是为了住房和城市发展,而且也是为了沿海资源,如进行水产养殖和建造能源转换器等,这对植被生境的不利影响也越来越大。在沿海城市化程度较高的地区,如澳大利亚、中东、亚洲、欧洲和美国,一些地区一半以上的可用海岸

线已通过工程和人造沿海设施进行了改造(Dforn等人,2015年)。气候变化正在加剧海岸侵蚀,这促使建造更多的硬性工程防护设施,如海堤,并加速海岸改造(ASIF和Muneer,2007年)。

## 5. 展望

潮间带生境知识库在许多方面都有着美好的前景,海洋研究自然重视潮间带和沿海区域,因为大多数地区的潮间带和沿海区域都很容易进入,而且对人类活动很重要。潮间带已被并入一些海洋保护区。

潮间带生境持续变化可能带来严重的社会经济后果。在那些广泛开发潮汐滩且当地人口高度依赖海洋生态系统服务的国家,例如在许多亚洲沿海地区,潮间带空间因沿海挤压而减少,将产生严重影响,减少面积和资源供应。气候变化造成的海岸线物理退化将使当地经济遭受重创。经过改变的

水动力、入侵物种和过度开发造成的生物退化具有巨大而复杂的影响。红树林和生物礁的消失消除了保护人类住区的自然海岸防护。入侵物种减少了当地的生物多样性。过度捕捞或过度依赖主要在潮间带养殖的单一养殖物种会降低营养质量,危及人类繁荣。沿海区域拥有关键的公共基础设施,如电力、废水处理和交通设施(如机场),这些设施也面临海平面上升的风险。保护当地的自然沿海区域和潮间带生物多样性对人类的可持续性至关重要。

## 6. 知识方面仍然存在的主要差距

为确保潮间带生境的可持续性,有几个主题需要引起高度重视。在灾难性的变化发生之前,人们往往不会意识到缓慢的、日积月累的系统性转变。对受损环境的评估设定的是养护性目标,这意味着环境永远不会恢复到真正稳健和可持续的状态(Plumeridge和Roberts,2017年)。即使是在欧洲海域——那里可能拥有最长的连续观测记录历史,工业化前的“基线”数据已经受到人为影响,而在研究不足的系统中和许多发展中国家,这个问题要严重得多。

需要对与人为影响和海平面上升相关的物理参数和海岸线变化进行更多研究,以便能够建立水动力影响的预测模型和使用类似系统的小型当地尺度的模型,在这种情况下,一个经过充分研究的物理系统的行为可以用来预测另一个地方的影响。

《第一次世界海洋评估》强调,需要更多关于生境

类型和物种范围随海岸线变化而演替的信息,但这一领域仍然是一个关键的知识空白区。最后,所有这些问题的背后是对研究不足地区的生物多样性进行更加详细研究的迫切需要,特别是在存在重大知识差距、科学基础设施不发达但物种多样性很大的地区(Lira-Noriega和Soberón,2015年)。许多物种,甚至在研究充分的潮间带,仍然没有命名,也没有得到科学的描述。如果不进行物种识别,就无法准确地量化或监测生境的生物多样性。

## 7. 能力建设方面仍然存在的主要差距

“沿海挤压”减少了潮间带环境，一边是海平面上升，另一边是人类城市化。人类发展应包括未来规划，为沿海和潮间带生境提供空间，使其免受日益频繁的风暴事件和气候破坏的影响，以维持这些重要的保护性缓冲区。

就生物多样性和物种丰度的重要领域而言，多样化的国家大多是发展中经济体(Lira-Noriega和Soberón, 2015年)。迫切需要提供基线研究和监测支持，以便在发展中国家开发和维持在发达国家、特别是欧洲和北美已有的长期数据集。在发达国家，公民科学方法可以成为扩大监测的有效工具；随着分类学能力的进一步发展，这种方法可能会得到更加广泛的应用。

还迫切需要建立分类学基础设施，通过标本收集和条形码编目支持环境DNA (eDNA)等新兴技术，并通过培训和技术转让以及获取原籍国的最新科学资源和数据和科学文献来发展人力。没有分类

基础设施，就无法使用诸如eDNA条形码这样的新兴技术。条形码只能识别数据库中已有的内容。分类学基础设施还必须包括专业技能、文献和支持基础科学的资源。它们对于推动强有力的环境影响评估进程至关重要，尤其是在发展中国家。此外，这些类型的基础科学为进一步发展对关键海洋物种和生境进行气候脆弱性评估的能力奠定了基础。

虽然潮间带包括最容易进入(且最脆弱)的生境，但热带浅海生态系统有大量未得到描述的无脊椎动物和藻类物种。缺乏识别当地物种的分类学能力，不仅掩盖了潜在的损失、不断转变范围的物种入侵和各干扰指标，还会难以正确识别入侵物种以及采取适当措施保护当地资源 (Sigwart, 2018年)。科学基础设施是下游经济增长和环境资源保护的基础。

## 参考资料

- Asif, M., and T. Muneer (2007). Energy supply, its demand and security issues for developed and emerging economies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, No. 7, pp. 1388–1413. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.12.004>.
- Burke, Laretta, and others (2000). *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Coastal Ecosystems*. Washington, D.C.: World Resources Institute. [www.wri.org/publication/pilot-analysis-global-ecosystems-coastal-ecosystems](http://www.wri.org/publication/pilot-analysis-global-ecosystems-coastal-ecosystems).
- Chapman, M.G., and A.J. Underwood (2011). Evaluation of ecological engineering of “armoured” shorelines to improve their value as habitat. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 400, Nos. 1–2, pp. 302–313. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.02.025>.
- Curran, Sara, and others (2002). Interactions between Coastal and Marine Ecosystems and Human Population Systems: Perspectives on How Consumption Mediates this Interaction. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, vol. 31, No. 4, pp. 264–268. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-31.4.264>.
- Dafforn, Katherine A., and others (2015). Marine urbanization: an ecological framework for designing multifunctional artificial structures. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 13, No. 2, pp. 82–90. <https://doi.org/10.1890/140050>.
- Frangoudes, Katia, and others (2014). Women’s organisations in fisheries and aquaculture in Europe: History and future prospects. *MARE Publication Series*, vol. 9, pp. 215–231. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-7911-2\\_12](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7911-2_12)

- Hewitt, Judi E., and others (2016). Multiple stressors, nonlinear effects and the implications of climate change impacts on marine coastal ecosystems. *Global Change Biology*, vol. 22, No. 8, pp. 2665–75. <https://doi.org/10.1111/gcb.13176>.
- Hoegh-Guldberg, Ove, and John F. Bruno (2010). The Impact of Climate Change on the World's Marine Ecosystems. *Science*, vol. 328, No. 5985, pp. 1523–1528. <https://doi.org/10.1126/science.1189930>.
- Leary, David, and Miguel Esteban (2009). Renewable energy from the ocean and tides: a viable renewable energy resource in search of a suitable regulatory framework. *Carbon & Climate Law Review*, No. 4, pp. 417–25.
- Lira-Noriega, Andrés, and Jorge Soberón (2015). The relationship among biodiversity, governance, wealth, and scientific capacity at a country level: Disaggregation and prioritization. *Ambio*, vol. 44, No. 5, pp. 391–400.
- Miloslavich, Patricia, and others (2016). Chapter 3: Benthic Assemblages in South American Intertidal Rocky Shores: Biodiversity, Services, and Threats. In *Marine Benthos: Biology, Ecosystem Functions and Environmental Impact*, ed. Rafael Riosmena-Rodríguez. Nova Science Publisher.
- Plumeridge, Annabel A., and Callum M. Roberts (2017). Conservation targets in marine protected area management suffer from shifting baseline syndrome: A case study on the Dogger Bank. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 116, Nos. 1–2, pp. 395–404.
- Pontee, Nigel (2013). Defining coastal squeeze: A discussion. *Ocean & Coastal Management*, vol. 84, pp. 204–7. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.07.010>.
- Sigwart, Julia D. (2018). *What Species Mean: A User's Guide to the Units of Biodiversity*. CRC Press.
- Tyrrell, Megan C., and James E. Byers (2007). Do artificial substrates favor nonindigenous fouling species over native species? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 342, No. 1, pp. 54–60.
- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- World Register of Marine Species (WoRMS) Editorial Board (2017). *World Register of Marine Species*. VLIZ. [www.marinespecies.org](http://www.marinespecies.org).



# 第 7B 章

# 生物礁及砂质、 泥质和岩质海岸 附着基

撰稿人：Ronaldo Christofolletti和Judith Gobin (共同召集人)以及Frédéric Guichard、Sergiy Medinets、Evangeli-na Schwindt和Julia Sigwart。



## 主旨要点

- 生物礁及沙质、泥质和岩质海岸支持着对人类有益的丰富的生物多样性和广泛的生态系统服务。
- 由于气候变化、城市化和对资源的使用,它们承受着多重压力;风暴、填海造地、致污物和污染物已成为主要驱动因素。
- 在通过跨学科研究和参与式治理促进复原力和支持这些生境的可持续发展方面存在差距。
- 由于这些生境的文化重要性和对全球旅游业的重要意义,它们具有独特地位,可以作为旗舰生境,促进海洋在落实《2030年可持续发展议程》、包括可持续发展目标14方面的作用。<sup>1</sup>

## 1. 导言

沿海环境是沙质、泥质和岩质海岸和礁类等各种宝贵自然资源的家园。所有这些生境都呈现出丰富的生物多样性(见本评估第6章),而且越来越多的研究考察了与这些生境相关的模式、过程和影响。最近在区域尺度上审查了生物多样性和人类对岩质海岸的影响(Hawkins等人,2019年)。然而,在全球尺度上,对岩质和泥质海岸的理解仍然存在差距。对于沙质海岸,最近的趋势表明,世界范围内物种的丰度与生态区有关,生态区的温度和纬度预示着从温带海岸到热带海岸,物种将变得更加丰富(Barboza和Defeo,2015年;图一)。礁类形成了在世界各地沿海系统中普遍存在的生物生境,但这些生境的范围和物种构成在不同生物地理区域各不相同(Firth等人,2016年)。在热带区域,礁类生境通常由浅水环境中的造礁珊瑚和钙质红藻分泌的碳酸钙形成(Huang和Roy,2015),而在温带区域,则由牡蛎、贻贝和环节蠕虫等无脊椎动物形成(Barbier等人,2008年;Dubois等人,2009年;Firth等人,2016年;图二)。

本章综合概述了潮间带和潮下带的生物礁及沙质、泥质和岩质海岸,这些生物礁和海岸位于海洋和陆地交界处,彼此相互连接。这些生境覆盖全球所有海岸线(Firth等人,2016年;Luijendijk等人,2018年;本《评估》第7A章)并与以下不同生态系统相连:环礁和岛屿泻湖(第7C章)、珊瑚礁(第7D和7E章)、河口和三角洲(第7F章)、海藻森林和藻床

(第6G章)、海底草原(第7G章)、红树林(第7H章)和盐沼(第7I章)。它们受到从局部到全球尺度上许多驱动因素和海洋动态的影响(第4、5和22章)。为尽量减少重叠并突出它们之间的相互作用,本章将重点介绍生物礁及沙质、泥质和岩质的海岸。应注意本章与详细介绍相近生境的其他章节(如第7A和7G章)的联系,特别是与第7D章(热带和亚热带地区)珊瑚礁和第7E章(冷水珊瑚)的联系。

生物礁及沙质、泥质和岩质海岸的特点是生物多样性丰富(第6章)并提供生态系统服务(第8和21章),包括水过滤和养分循环(第10和11章)。它们提供的生态系统服务与城市化之间有很强的联系(第8章),因为世界上约60%的人口在沿海地区生活、谋生(Nicholls等人,2007年)。沿海地区的主要活动包括划船、捕鱼、冲浪、游泳和观鸟(Everard等人,2010年;Rodríguez-Revelo等人,2018年),这种沿海环境对旅游业、娱乐性捕鱼、手工和商业捕鱼及美学和娱乐价值而言都具有重要的经济意义(第8和15章)。这种环境还与城市化、水产养殖和基础设施建设等发展的许多方面相互关联(第8、14和16章)。

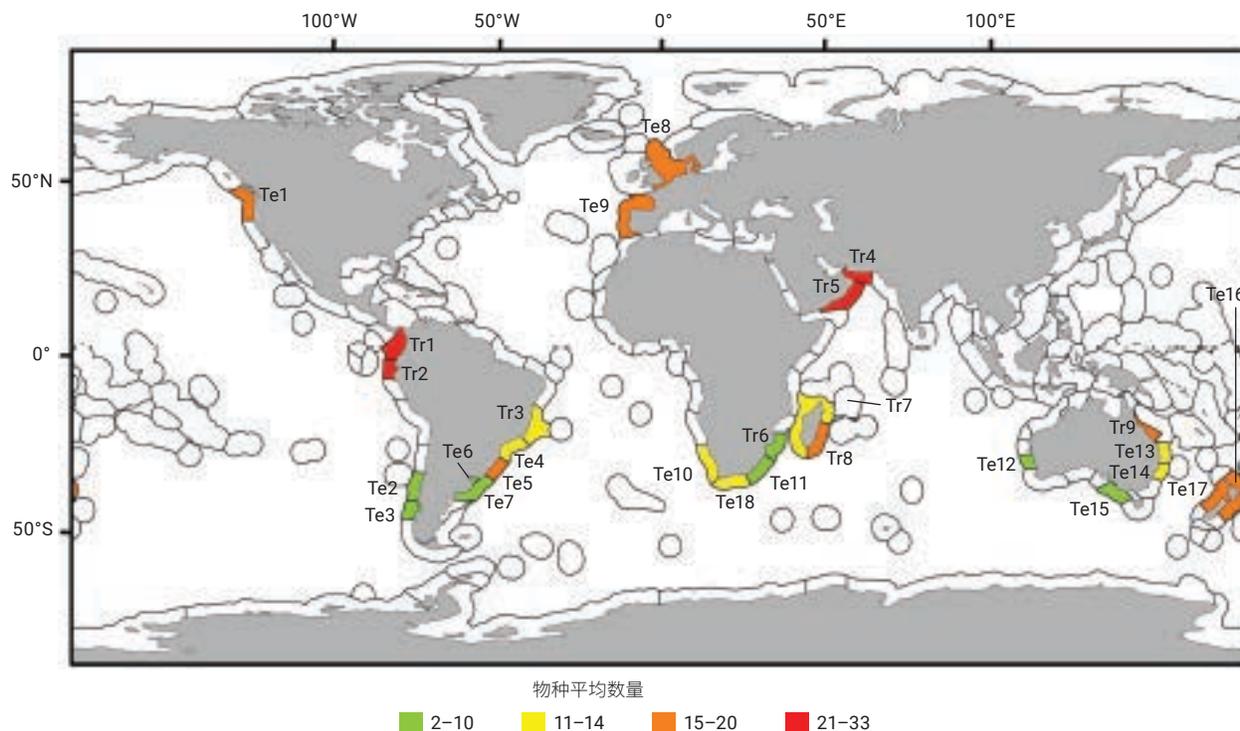
由于此类生境提供了广泛的生态系统服务,并与沿海城市化和海岸保护相关,因此容易受到多重压力因素的影响(第25章)。此类生境不仅继续受到来自化肥的过量营养物、有毒化学品和重金属、污水、废物和塑料等各种污染物和致污物的不利影

<sup>1</sup> 见大会第70/1号决议。

响(第10、11和12章), 而且受到采矿、石油和天然气勘探开采活动(第11、18和19章)以及最近记录的入侵物种威胁(第22章)的不利影响。同时, 沉积作用及海岸侵蚀变化(第13章)这些长期过程在气

候变化影响的压力(第9章)下正在加剧, 而气候变化促使海岸线的形成发生改变, 也可能对生命和财产构成威胁(Rangle-Buitrago和Anfuso, 2009年; Le Duff等人, 2017年)。

图一  
温带和热带生态区沙滩物种的丰度



资料来源: 转载自Barboza和Defeo, 2015年; Spalding, M.D.等人, “Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas”, Bioscience, vol. 57 (2007), 第573-583页。

注: 包含生态区的地图下载自[http://maps.tnc.org/gis\\_data.html](http://maps.tnc.org/gis_data.html)。最终地图采用gvSIG1.12生成([www.gvsig.org](http://www.gvsig.org))。

缩写: Te, 温带; Tr, 热带; Te1, 俄勒冈州、华盛顿州、温哥华海岸和大陆架; Te2, 阿劳卡尼亚; Te3, 奇洛埃; Te4, 巴西东南部; Te5, 里奥格兰德; Te6, 拉普拉塔河; Te7, 乌拉圭—布宜诺斯艾利斯陆架; Te8, 北海; Te9, 南欧大西洋陆架; Te10, 纳马夸兰; Te11, 纳塔尔; Te12, 蒙特曼; Te13, 特威德-莫顿; Te14, 曼宁-霍克斯伯里; Te15, 巴斯海峡西部; Te16, 新西兰东北部; Te17, 新西兰中部; Te18, 厄加勒斯浅滩; Tr1, 巴拿马湾; Tr2, 瓜亚基尔; Tr3, 巴西东部; Tr4, 阿曼湾; Tr5, 西阿拉伯海; Tr6, 德拉瓜; Tr7, 马达加斯加西部和北部; Tr8, 马达加斯加东南部; Tr9, 大堡礁中部和南部。

如《第一次世界海评估》(联合国, 2017年)所述, 沿海区是世界上城市化程度最高的地区, 20个特大城市(人口超过1 000万)中有15个位于沿海区, 这里既有生境提供的多样化生态系统服务, 也存在与日益推进的城市化进程之间的冲突。本章将介绍自《第一次评估》以来认识到的变化, 包括知识或政策方面的进步。本章还重点介绍对沙质海岸的全球分析, 并着重指出缺乏支持沿海管理和海洋空间规划所需的全球层面的生物礁及泥质和岩质海

岸信息(第26和27段)。尽管海岸创造了效用和经济效益, 而且关于沙质海岸的全球尺度研究也已取得进展, 但却没有在全球尺度上开展对岩质和泥质附着基海岸线变化历史趋势的可靠评估, 而且仍有一些区域几乎不存在区域生态系统的信息和数据。

**图二**  
沿海生物礁(珊瑚、贻贝、牡蛎、蠕虫)的全球分布



资料来源: 转载自Firth等人, 2016年。数据摘自全球生物多样性信息机制, 可查阅[www.gbi.org](http://www.gbi.org), 以及联合国环境规划署世界养护监测中心的海洋数据浏览软件, 可查阅<https://data.unep-wcmc.org/>。

注: 地图由普利茅斯大学Shaun Lewin绘制。

## 2. 记录在案的生物礁及砂质、泥质和岩质海岸附着基的状况变化

如引言所述, 对生物礁及沙质、泥质和岩质海岸的威胁可能来自多种环境驱动因素(如风暴潮、飓风、地震、海啸、热浪和洪水等一些极端因素)和人为驱动因素。这些驱动因素在从地方到区域和全球尺度上出现, 而人为因素则在多个尺度上主导着变化(Mentaschi等人, 2018年)。

由于红树林、红藻石和藻床、深海区、珊瑚礁和海底草原对压力因素的反应各不相同, 因此生物礁及沙质、泥质和岩质海岸的变化都受到海洋景观不同构成部分的影响。沿海区也存在大气沉降物(Medinets和Medinets, 2010年、2012年; Medinets, 2014年), 而河口和淡水也向沿海海洋系统排放沉积物和营养物(Teixeira等人, 2018年; Oelsner和Stets, 2019年)。这些自然联系(第7A至7I章)清楚地表明沿海各系统之间的相互联

系和复杂性(Elliott等人, 2019年; Kermagoret等人, 2019年), 因为一个生境的变化将影响其他生境的动态, 包括与生境相关的生态系统服务(Narayan等人, 2016年; Osorio-Cano等人, 2019年)。

在过去十年内, 生物礁及沙质、泥质和岩质海岸日益受到气候变化的影响, 而气候变化已对环境模式、生物多样性和生态系统功能造成影响。据预测, 极端事件(波能、热浪、温度和降雨)的强度和频率将继续增加(Herring等人, 2018年; 政府间气候变化专门委员会(气专委), 2018年)。如果超过每个物种可承受的特定临界温度的天数发生变化, 或者降雨和干旱机制改变, 就可能产生亚致死压力, 因为生物体、特别是潮间带和浅水区生物体的生理和行为会发生改变(Pinsky等人, 2019

年; Rilov等人, 2019年)。极端事件频率和强度的变化可能导致生理致死水平, 增加死亡率, 并改变生物多样性、生物分布范围和这些生境提供的生态系统服务(Polocanska等人, 2013年)。

在环境层面, 高纬度潮间带岩质附着基受到冰蚀作用的影响(Scrosati和Ellrich, 2018年; 第7A和7K章)。世界各地沙质、泥质和岩质海岸也受到越来越多的海浪和极端降雨的干扰(Mentaschi等人, 2018年), 这些干扰影响了沉积物的动态、侵蚀作用、巨石运动和滑坡, 而这些现象可能改变海浪风险区的沙质和岩质海岸的生物群落(Petrovic和Guichard, 2008年; Castelle等人, 2018年)。海浪动态的变化和极端天气事件频率增加也改变了沉积物的成分(Masselink等人, 2016年)和幼虫向海岸迁移的情况(Mazzuco等人, 2015年)。此外, 热带和亚热带地区日益增多的极端降雨事件不仅影响近岸盐分和沉积物的输运, 而且影响来自陆地和淡水环境的营养物、污染物和致污物的输入(Lana等人, 2018年)。从生物体到群落都可以看到这些压力因素的积累效应, 导致生物多样性丧失和沿海地区生态系统功能发生改变(O' Gorman等人, 2012年; Ellis等人, 2017年), 并对生态系统服务以及商业、娱乐和美学价值产生影响。

除气候变化影响引起的沿海海洋动态变化和极端事件频率增加(第9章)外, 海底勘探(第18章)、城市化(第8和14章)和人工沿海基础设施(第7A和14章)等其他驱动因素也对礁类及沙质、泥质和岩质海岸造成影响, 这是由于污染(第10、11和12章)及侵蚀和沉积过程发生改变(第13章)所致。世界各地海岸线上都有沙质海滩, 其所占比例从欧洲的22%到非洲的66%不等, 亚热带和中低纬度(20°-40°)地区沙质海滩的比例上升, 但在湿热带则正在下降(不到20%), 那里的泥土和红树林因高温和降雨而最为丰富(图三; Luijendijk等人, 2018年)。随着时间推移和温室气体排放加剧, 沙质海滩遭到侵蚀的情况一直在加剧(Vousdoukas等人, 2020年)。侵蚀和淤积的趋势在不同区域和临近海岸段交替出现(Vousdoukas等人, 2020年), 1984年至2016年期间, 世界上超过50%的沙质海岸的变化速度呈现长期严峻的趋势, 24%的

海岸遭到侵蚀的速度超过每年0.5米, 而27%的海岸正在淤积(Luijendijk等人, 2018年; 图四)。从大陆的角度看, 大洋洲和非洲表现为净侵蚀, 而所有其他大陆都为净淤积, 亚洲的淤积率最高(1.27米/年)(Luijendijk等人, 2018年), 这可能是由填海造地和人工结构所致(Luijendijk等人, 2018年; 第14章)。在全球范围内, 世界保护区数据库中记录的沙质海岸线受到侵蚀的比例相对较高, 因为在所有受保护的海洋海岸线中, 有32%是沙质海岸线, 而在这些受保护的沙质海岸线中, 37%的海岸线遭受侵蚀的速度超过每年0.5米, 32%的海岸线正在淤积(Luijendijk等人, 2018年)。

侵蚀和沉积的变化以及人工结构的存在会在不同尺度上直接影响生物多样性和生态系统服务。为避免侵蚀而增建沿海基础设施需要加强促进可持续发展的蓝色工程办法(Firth等人, 2016年; Strain等人, 2018年)。尽管有人建议将珊瑚混凝土用于发展海洋基础设施和填海造地(Wang等人, 2018年; Liu等人, 2018年), 但要实现可持续发展, 关键是要了解所需珊瑚材料的来源、数量以及从环境中提取珊瑚材料的影响, 因为珊瑚礁在沿海地区动态和气候变化情况下具有重要的生物、化学和物理意义(第7D和7E章)。

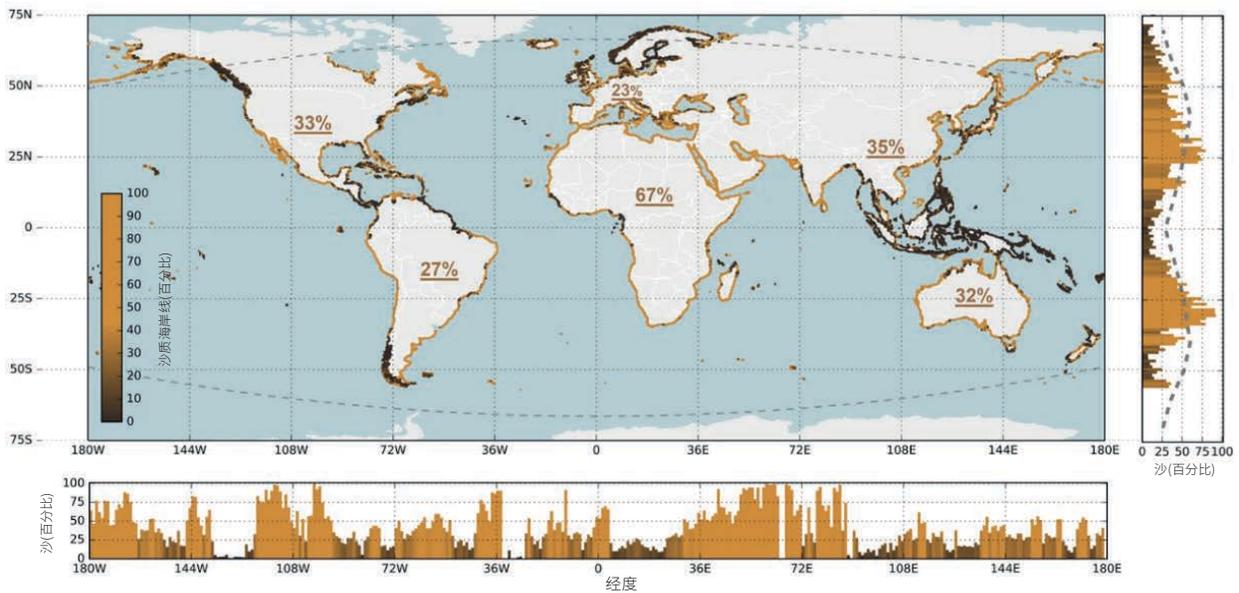
由于城市化对沿海区的影响, 必需考虑沿海区存在的几个关键压力因素, 包括人为驱动因素。入侵物种(第22章)在世界范围内有所增加(Seebens等人, 2017年), 从而影响到所有类型的附着基。由于海上运输以及沿海地区海岸基础设施增多, 生物入侵预期将增加, 成为岩质海岸和礁类物种的新附着基(Ivkić等人, 2019年; Sardain等人, 2019年)。此外, 世界各地最近的数据集显示, 陆源污染(营养物污染、农用化学品、污水排放、以药物、杀虫剂和重金属形式存在的持久性有机污染物造成的化学污染)、沿海城市化、填海造地和石油泄漏改变了生境, 增加了污染, 并导致亚致死, 乃至致死的过程, 从而影响泥质、沙质和岩质海岸的生物多样性和生态系统健康(Kovalova等, 2010年; Snigirov等人, 2012年; 黑海环境监测, 2019年; Martinez等人, 2019年; Zhai等人, 2020年)。对海岸的许多影响源于海上, 如石油泄漏

(Escobar, 2019年; Soares等人, 2020年), 或源于内陆, 如矿场尾矿在沿海区意外排放, 通过河流输入, 到达沿海并在广大的时空尺度上影响沙质、泥质和岩质海岸的生物多样性和生态系统服务(Queiroz等人, 2018年), 并影响依赖这些生态系统服务为生的地方社区和土著社区(Dadalto等人, 2019年)。

最后, 沿海城市化的另一个后果是旅游业和人类开发对当地生物礁及沙质、泥质和岩质海岸的负面影响(Mendez等人, 2017年)。夜间人工灯光已被证明可以改变沙质海岸大型无脊椎动物的群落结构(Garratt等人, 2019年), 并影响岩质海岸营养成分之间的相互作用(Underwood等人, 2017

年; Maggi和Benedetti-Cecchi, 2018年)。同样, 人工基础设施的遮挡也会影响岩质海岸的生物多样性和生态系统功能(Pardal-Souza等人, 2017年)。踩踏已被证明会对沙质、泥质和岩质海岸的生物多样性产生负面影响(Leite等人, 2012年; Schlacher和Thompson, 2012年; Kim等人, 2018年), 此外, 乱扔垃圾、噪声和开采等其他因素也会造成负面影响(黑海环境监测, 2019年)。塑料和化学污染已经成为对海洋环境的全球威胁, 对沙质海岸而言尤为如此, 因为海洋和气象事件期间的运输(Krelling和Turra, 2019年)以及当地人员和游客的直接污染(黑海环境监测, 2019年)导致沙质海岸的塑料数量增加。

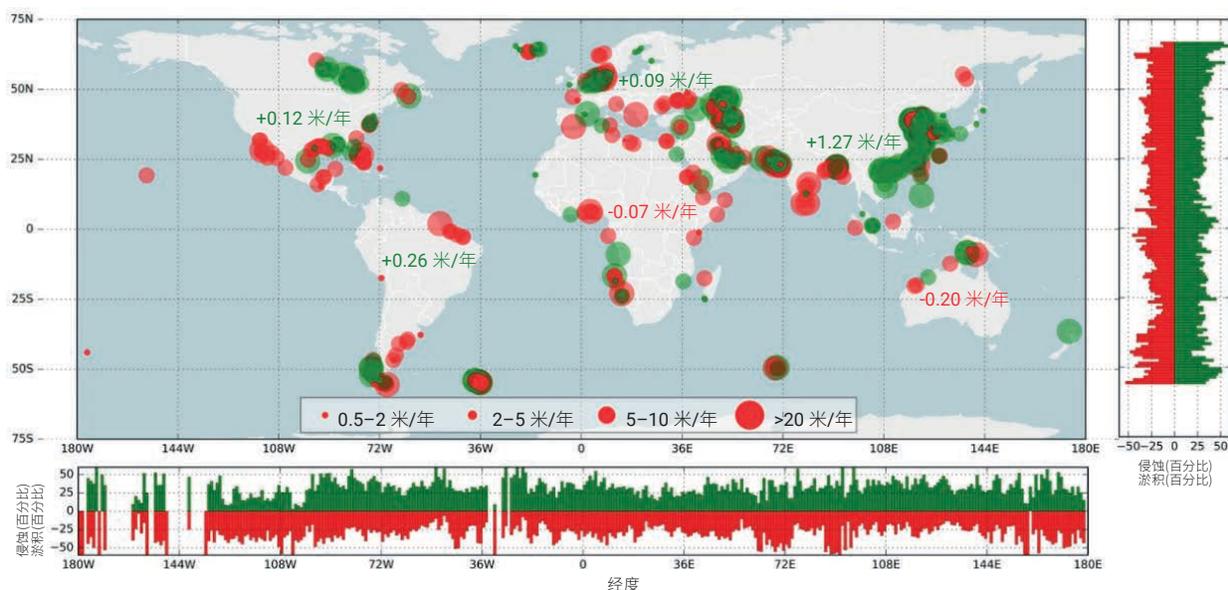
图三  
沙质海岸线的全球分布



资料来源: 转载自Luijendijk等人, 2018年。

注: 世界海岸线上的彩色圆点代表当地沙质海岸线的百分比(黄色代表沙质海岸线, 深棕色代表非沙质海岸线)。右侧子图显示每一纬度沙质海岸线的相对发生率情况, 其中虚线显示Hayes报告沙质海岸线的纬度分布(Hayes, M.O., "Relationship between coastal climate and bottom sediment type on the inner continental shelf", Marine Geology, vol.5, No.2(1967), 第111-132页)。下方子图显示每一经度沙质海岸线的相对发生率情况。主图中灰色虚线曲线代表分析中考虑的无冰海岸线的边界。带下划线的百分比表示每个大陆沙质海岸线的平均百分比。本地图使用以下工具创建: Python 2.7.12 (可查阅[www.python.org](http://www.python.org))、英国气象局Cartopy v.0.15.1 (可查阅<https://pypi.python.org/pypi/Cartopy/0.15.1>)和Matplotlib (Hunter, J.D., "Matplotlib: a 2D graphics environment", Computing in Science & Engineering vol. 9, No. 3 (2007))。

**图四**  
全球海岸侵蚀与淤积热点



资料来源: 转载自Luijendijk等人, 2018年。

注: 红色(绿色)圆圈表示4种相关海岸线动态分类的侵蚀(沉积)情况(见图例)。右侧和底部柱状图分别表示每一纬度和每一经度遭侵蚀(淤积)的沙质海岸线的相对发生率情况。主图中的数字代表每个大陆所有沙质海岸线的平均变化率。本地图使用以下工具创建: Python 2.7.12(可查阅[www.python.org](http://www.python.org))、英国气象局Cartopy v.0.15.1(可查阅<https://pypi.python.org/pypi/Cartopy/0.15.1>)和Matplotlib (Hunter, J.D., “Matplotlib: a 2D graphics environment”, Computing in Science & Engineering, vol. 9, No. 3 (2007))。

### 3. 变化对人类社区、经济和福祉的影响

沿海生境是人类社会与海洋的第一个接触点。它们提供许多直接和间接服务, 包括休闲和运动空间、环境化学物理过程、生物和鱼群资源以及海岸线保护。从潮间带到潮下带, 人类以多种方式探索礁类及沙质、泥质和岩质海岸, 从而与之建立起一种关系, 几世纪以来的变化一直在影响这种关系, 但近几十年影响的速度正在加快(Biedenweg等人, 2016年; Zhai等人, 2020年)。

沙质和岩质海岸为土著人民和传统社区提供了休闲、运动、教育、科研及开展传统、宗教和文化活动的场所与自然资源, 也为城市地区居民和游客提供了游览场所(Everard等人, 2010年)。身体、心理和精神健康方面的诸多益处与在沿海环境中度过的时间和该环境的健康息息相关(Gascon等人, 2017年; Marselle等人, 2019年)。人与环境

的联系在心理上是通过地域认同感、与自然的联系和归属感发展起来的, 人们对所处环境感到自豪, 而美景也令人活力充沛, 与此同时环境也通过提供有形服务(如食物)在生理上对人们产生影响(Biedenweg等人, 2016年)。最后, 泥质、沙质和岩质海岸也有益于社会, 因与这些海岸在经济上与城市化海岸线上的商业与工业相连, 提供就业机会, 促进参与治理, 进而促进通信、社区参与和对管理机构的信任(Biedenweg等人, 2016年)。

礁类及沙质、泥质和岩质海岸对世界各地人类社会都具有相似的重要性。它们通过许多生态系统服务, 如水过滤、生物多样性、生物技术、养分循环、碳汇、海岸保护和对大洋中上层初级生产的影响, 间接地对人类社区福祉产生影响(Hoerterer等人, 2020年)。最近对许多有生物技术意义的物

种进行了研究,从而表明这些物种具有科学和经济开发的潜力(Park等人,2019年;Girão等,2019年)。生物礁及砂质、岩质和石质海岸存在具有经济价值的物种,主要是软体动物、甲壳动物和鱼类,它们对基于传统渔业的传统社区特别重要,是这些社区的蛋白质来源和收入来源(例如,Gelcich等人,2019年)。

沙质、泥质和岩质海岸对人类福祉和经济具有重要意义,沿海地区因这些条件而出现了经济有重要贡献的高度城市化进程和发达的旅游业(Nitivattananon和Srinonil,2019年)。然而,沿海人口越多,沿海地区的影响就越大。较为原始的地区和污染较重地区之间的差异会改变旅游业及娱乐性和手工捕鱼的价值(Qiang等人,2019年)。低影响的天然沙质和岩质海岸是休闲和浮潜的重要旅游景点(Drius等人,2019年)。洁净健康的海岸会吸引许多游客,从而带动区域旅游业的发展。同时,娱乐和旅游活动的压力使沙质和岩质海岸变得非常脆弱,因为人工基础设施建设会造成污染并使许多生物的自然生境发生改变(Strain等人,2018年;Drius等人,2019年)。更原始的海岸和污染更严重海岸之间的差异使各自海岸线上的海景和旅游目的地有所不同。气候变化、其他人为影响和侵蚀作用使海岸线的变化加剧,可能会改变旅游动态,使受影响地区的旅游业衰落,而低影响地区的旅游业兴起。这种变化将在社会、文化、心理和经济上对沿海社区以及在旅游和支助部门工作的当地人员产生影响(Jarratt和Davies,2019年;You等人,2018年)。

对沿海地区可持续发展计划的投资会带来多重经济效益、社会效益和环境效益。随着人们寻求改善福祉并利用沿海环境的益处,城市化的压力越来越大。岩质海岸往往不被直接大量开发,但却是

有吸引力和最受欢迎的景观之一,因此当地社区在岩质海岸周围发展,房屋通常建在距海岸100米以内的地方。对于房地产开发商、投资者和私人建筑商而言,泥质海岸是具有挑战但利润丰厚的地区。因此,这些地区往往被过度建设,许多现有建筑规范和标准遭到忽视。自然海岸随后遭到破坏,而对海洋生态系统产生负面影响的巨大滑坡是造成破坏的原因之一。由于沿海植被消失,土地被清理,极端事件和侵蚀期间的不稳定性加剧,沙质海岸受到城市化的不利影响,导致对海岸线的保护减弱(Defeo等人,2009年)。人工岛屿的建设一直受到沿海住房需求的推动。然而,许多地区加速开发此类地点,却不仔细考虑开发造成的生态影响,不仅源头地区的海沙作为建筑材料遭到大规模开采,而且当地生态系统也因建筑活动的干扰和破坏受到影响(Rahman,2007年a,2007年b)。

海岸线变化、海平面上升、极端事件和旅游活动使人类对环境的认识发生改变,并加剧沿海区的社会冲突(Robinson等人,2019年;Whitney和Ban,2019年)。虽然波浪升高可提供更多电力,因而可以说波高对波能发电有利,但平均波高的持续增加对已经达到工程耐力极限的物理发电机基础设施却构成威胁(Penalba等人,2018年)。

沙质、泥质和岩质海岸生态系统服务的复杂性、影响这些环境的驱动因素、使用和养护之间的冲突,以及人类获得的利益和产生的影响,都突显了可持续发展的重要性。这一将生境及其治理潜力与挑战融为一体的复杂系统显示,海洋空间规划对于支持这些环境和规范如何利用环境具有重要意义,也显示《2030年可持续发展议程》和可持续发展目标(包括目标14)以及将减少对沙质、泥质和岩质海岸影响纳入这些目标的重要意义(Kidd等人,2020年;Borja等人,2020年)。

## 4. 特定区域的关键变化和后果

从北冰洋和南大洋区域获得的信息有限,但其他区域记录到了变化。在西北大西洋、东北太平洋、北海和黑海沿岸,海洋驱动因素是一个重要问题,因为海浪干扰(Voorhies等人,2018年)、冰

蚀作用(Scrosati和Ellrich,2018年)和日益频繁的极端天气事件(Smale和Wernberg,2013年)对潮间带的岩质海岸造成影响,进而使影响泥质和沙质海岸的沉积物运输状况发生改变(Masselink等

人, 2016年), 并增加了侵蚀作用和巨石移动, 因而可能改变海浪风险区的生物群落(Petrovic和Guichard, 2008年; Castelle等人, 2018年)。这些区域波浪动态变化还影响幼虫供应(Mazzuco等人, 2018年)、有机质(Massé Jodoin和Guichard, 2019年)、温度和低氧事件(Vaquer-Sunyer和Duarte, 2011年), 进而影响海底—水层耦合和生态系统功能(Griffiths等人, 2017年)。

在黑海西北部, 近年来海岸线大多部分的沙质海岸变得更窄(Allenbach等人, 2015年), 而植被已经扩展(Allenbach等人, 2015年)。与此同时, 在多瑙河和德涅斯特河入海口附近, 河流沉积物的输入使陆架水域水位下降(Anton等人, 2017年), 这也导致在一些地区形成海岸沙丘。然而, 在黑海东部, 海岸线遭到侵蚀与大坝和工程导致的河水排放物中沉积物匮乏有关(Kosyan和Velikova, 2016年)。在过去几十年里, 气候和人为因素引起的滑坡使泥质和岩质海岸遭到显著侵蚀(Freiberg等人, 2010年、2011年; Goryachkin, 2013年; Tătui等人, 2019年)。在紧邻农村地区没有防波堤的海岸线上和蛇岛周围都记录到侵蚀率上升(Cherkez等人, 2006年、2020年; Goryachkin, 2013年)。所有这些因素的作用, 再加上与过度开发海岸进行建设以及为增加收入而进行娱乐和旅游活动有关的社会经济驱动因素, 都在许多方面对海岸线产生了影响(Goryachkin, 2013年; Stanchev等人, 2013年、2018年; Kucuksezgin等人, 2019年)。

在西南大西洋的阿根廷和巴西海岸, 由于极端事件和冷锋的频率越来越高, 海洋驱动因素还使海岸遭到侵蚀并使沙质海岸的表面积减少, 从而影响波能和幼虫供应(Mazzuco等人, 2015年、2018年)。侵蚀作用和海岸线所受影响的变化对当地社区的经济产生了影响, 并改变了各社区对整个南美洲大西洋沿岸自然沿海生态系统的看法(Bunicontro等人, 2015年)。除了海洋动态变化及其对沿海生境的影响等持续驱动因素外, 环境灾害一直是西南大西洋面临的关键问题(Gil等人, 2019年; Marcovecchio等人, 2019年)。过去五年内发生了两起内陆尾矿灾害, 导致排放物进入沿海区, 从而影响到不同生境, 包括巴西的珊瑚礁、沙质、泥质和岩质海岸及社区, 还发生了一

次石油泄漏, 对3 000多公里的海岸线造成影响(Escobar, 2019年; Soares等人, 2020年)。此类灾害对环境、生态系统服务和人类社会造成长时间和大规模的影响, 特别是考虑到海洋—气候驱动因素的积累效应可能会使沙质和泥质海岸沉积物中的化学物质重新悬浮(Queiroz等人, 2018年; Dadalto等人, 2019年)。

在印度洋区域, 人工岛屿的建设已对当地航行构成新的危险, 这些危险来自为防止侵蚀而建造的不安全设施和非法倾倒废物(Rahman, 2007年a), 新的建筑物改变了通往渔场的路线(Rahman, 2007年b)。在对马来西亚一个项目进行详细的初步环境影响评估后修订了新岛屿的规划布局, 以防止扼杀多样化的海底草原而造成破坏(Williams, 2016年; 第7G章)。然而, 需要进行持续不断的审查才能确定进一步和长期的环境影响。

一项全球调查显示, 西太平洋和东大西洋海岸是几种污染物集中的热点地区, 并受到气候变暖的影响(Lu等人, 2018年)。尽管来自其他区域的许多驱动因素也影响太平洋海岸, 但气候变化和海洋-气候事件成为影响东太平洋的关键问题(Xiu等人, 2018年)。因为存在上升流系统, 东太平洋海岸是生产力最高的海洋生态系统之一, 而上升流系统被认为是沙质、泥质和岩质海岸变化的最重要驱动因素(Randall等人, 2020年)。在北太平洋, 沿海地区上升流强度随近岸海风的增强而增强(Xiu等人, 2018年), 预期将改变沙质、泥质和岩质海岸的生态系统功能, 因为营养物输入和海洋条件发生了变化。在南太平洋, 洪堡洋流系统的变化正在以不同方式影响不同国家(例如, 在智利沿岸, 海风强度增加从而有利于上升流, 而在秘鲁沿岸, 海风强度则减弱)(Bertrand等人, 2019年)。太平洋海岸受到厄尔尼诺现象和极端天气事件的强烈影响, 而这些事件可能会变得更加频繁, 并通过影响沙质、泥质和岩质海岸而影响海岸线和沿海生态系统服务(Bertrand等人, 2019年)。由于超出现有经验的极端事件越来越频繁, 气候变化及其相关后果会影响沙质和岩质海岸的自然海岸动态和提供的服务, 包括渔业、水产养殖、侵蚀作用和旅游业(Aguilera等人, 2019年)。

## 5. 展望

在一切照旧的情况下,世界各地的礁类及沙质、泥质和岩质海岸将受到影响,生态系统服务将严重丧失。预期在中期(约20年),所有问题都将显著恶化,大部分自然海岸可能消失,从而产生负面的社会经济和文化后果。随着沿海人口增长,污染物、废物和其他影响沙质、泥质和岩质海岸的因素也因此增加。沿海基础设施和填海造地工程的增多将加速这一进程,迄今为止,人们几乎不了解水动态、生物多样性和建造这些基础设施所用材料来源的变化将如何对海岸线造成长期影响。另一方面,如沿海城市化发展能够立足蓝色工程,则将为增加可持续举措提供机会(第7A章; Strain等人, 2018年),并有助于在普及海洋知识基础上提高公众对沿海生态系统和沿海社会生态系统价值的认识(Santoro等人, 2017年; Fleming等人, 2019年)。

沿海人口与生物礁及沙质、泥质和岩质海岸提供的生态系统服务之间存在直接联系,这些地区的人口增长和对环境资源的利用可能超出海岸复原力。同时,气候变化将增加到达海岸的风暴频率和强度(气专委, 2018年)。从海洋的角度看,影响海岸线的海洋—气候驱动因素预计将发生变化,表现为波能增强、侵蚀加剧、沉积物运输增多和海平面上升,包括一些海岸的潮间带范围缩小(Herring等人, 2018年)。从内陆的角度看,降雨增加会扰

乱沉积物的运输,并使更多陆地和淡水环境中的营养物、污染物和致污物输入沿海生境(Lana等人, 2018年)。预计到2050年,全球将有13.6%至15.2%(36 097至40 511千米)的沙滩可能遭到严重侵蚀,而到本世纪末,35.7%至49.5%(95 061至131 745千米)的沙滩将被严重侵蚀。因此,到本世纪末,一些国家可能面临大规模的沙滩侵蚀问题(Vousdoukas等人, 2020年)。

气候变化和其他人为影响的积累效应将继续影响生物多样性、生态系统服务和环境健康。根据世界卫生组织提出的“一体化卫生”概念,这些持续的多重压力因素将对人类福祉和健康造成影响(Fleming等人, 2019年)。随着大城市和工业活动的出现,沿海人口和基础设施的增加预计也会导致各传统社区和土著社区之间文化冲突增加。在不同地区,资源污染加剧、生物多样性丧失、海岸线改变、冲突增加、土著和当地知识与传统随之丧失,这些因素导致旅游业衰落,而区域公民在卫生、经济和基础设施部门所需投资增加,从而产生负面的经济后果。另一方面,对一些区域的研究表明,将传统生态知识纳入治理进程有可能减少冲突,促进积极的可持续发展(Stori等人, 2019年; Van Assche等人, 2019年)。此外,还有可能将综合流域管理作为帮助管理沿海海洋系统的关键工具(Henderson等人, 2020年)。

## 6. 知识和能力建设方面仍然存在的主要差距

近几十年来,有关生物礁及沙质、泥质和岩质海岸的知识取得了进展,使我们能够更好地了解它们的重要性和关键影响。新的卫星成像和建模技术还提供直观显示变化并识别高危区域的多科学领域重要数据(Sagar等人, 2017年; Mentaschi等人, 2018年)。不过,仍然存在一些知识差距。尽管最近科学取得进展,但我们掌握的信息太少,无法准确预测中长期情景。而且南大西洋、大加勒比海和西太平洋等世界许多区域所拥有的区域知识和数据量并不平衡。全世界大多数现有数据都

来自局部和区域分析,极少有可对沿海生境状况进行严格审查的全球层面结果。不过,在这种情况下,对沙质海岸的全球评估较为清晰,因此可以制定行动计划以减轻影响(Luijendijk等人, 2018年; Vousdoukas等人, 2020年)。对与生物礁及泥质和岩质海岸有关的生物多样性及影响的全球分析仍未完成。鉴于此类海岸受到的影响越来越大,但却缺乏数据集,因此必须改进科学规程,加强能力建设和数据库,以便对生物多样性、生态系统功能和环境驱动因素的指标进行标准化监测,使

这些指标适用于世界各地的生物礁及沙质、泥质和岩质海岸。目前,许多科学数据是在地方一级使用不同规程收集的,因此无法开展任何综合性的区域或全球分析。

必需促进跨学科科学,以加强自然科学和社会科学的共同发展,从而生成关于环境的人类层面的科学数据(McKinley等人,2020年),特别是关于生物礁及沙质、泥质和岩质海岸的科学数据。考虑到生物礁及沙质、泥质和岩质海岸丰富的生物多样性和生态系统服务决定了与之相关的各类学科跨度广泛并相互联系,还考虑到人类在潮间带海岸的存在以及所有相关经济和卫生服务,有必要整合自然科学和社会科学,以促进基于自然的解决方案,推广蓝色工程,加强生态系统复原力,增进人类福祉(McKinley等人,2020年;Stepanova等人,2020年)。有必要掌握更多关于此类生境中多重压力因素的知识,以便更好地认知此类威胁对这些生境的影响,无论威胁是作为单独驱动因素,还是与多重压力因素协同产生影响。增进对多重压力因素影响的了解将有助于更好地作出基于科学的决策。

必需通过多部门合作建设科学发展的能力,不仅根据科学方面的差距,而且根据社会、管理和经济方面的差距看待科学问题(Lubchenco等人,2019年;Urban等人,2020年)。决策者和政策制定者在管理资源和生物多样性时,需要运用可靠的研究解决实际问题。海洋空间规划既是一个关键问题,也是一个很好的例子,体现了如何在多利益攸关方和跨学科办法基础上管理沿海区的冲突,并管理生物礁及沙质、泥质和岩质海岸受到的影响,从而促进可持续发展(Kidd等人,2020年)。此外,我们在开展关于生物礁及沙质、泥质和岩质海岸的研究时,需要努力认知和纳入人类层面的因素,并通过普及海洋知识增进交流,提高认识(Santoro等人,2017年)。这些生境可以作为旗舰生境,促进科学在执行《2030年可持续发展议程》(包括目标14)方面的作用。增强如何将人的层面与自然的层面纳入关于生物礁及沙质、泥质和岩质海岸的影响与养护方面的科学知识,将会加强为沿海管理最佳做法提供支持的科学,这些做法所基于的是多利益攸关方伙伴关系和对海洋重要性、沿海生境及其所受多重压力的认知。

## 参考资料

- Aguilera, Moisés A., and others (2019). Chapter 29 – Chile: environmental status and future perspectives. In *World Seas: An Environmental Evaluation*, ed. Charles Sheppard, pp. 673–702. Elsevier.
- Allenbach, Karin, and others (2015). Black Sea beaches vulnerability to sea level rise. *Environmental Science & Policy*, vol. 46, pp. 95–109.
- Anton, Catalin, and others (2017). An analysis of the coastal risks in the Romanian nearshore. *Mechanical Testing and Diagnosis*, vol. 7, No. 1, pp. 18–27.
- Barbier, Edward B., and others (2008). Coastal ecosystem-based management with nonlinear ecological functions and values. *Science*, vol. 319, No. 5861, pp. 321–323.
- Barboza, Francisco Rafael, and Omar Defeo (2015). Global diversity patterns in sandy beach macrofauna: a biogeographic analysis. *Scientific Reports*, vol. 5, No. 1, pp. 1–9.
- Bertrand, Arnaud, and others (2019). Climate change impacts, vulnerabilities and adaptations: Southwest Atlantic and Southeast Pacific marine fisheries. *Impacts of Climate Change on Fisheries and Aquaculture*, p. 325.
- Biedenweg, Kelly, and others (2016). A holistic framework for identifying human wellbeing indicators for marine policy. *Marine Policy*, vol. 64, pp. 31–37.
- Borja, Angel, and others (2020). Moving Toward an Agenda on Ocean Health and Human Health in Europe. *Frontiers in Marine Science*, vol. 7, art. 37.

- Bunicontro, M. Paula, and others (2015). The effect of coastal defense structures (mounds) on southeast coast of Buenos Aires province, Argentine. *Ocean & Coastal Management*, vol. 116, pp. 404–413.
- Castelle, Bruno, and others (2018). Increased winter-mean wave height, variability, and periodicity in the Northeast Atlantic over 1949–2017. *Geophysical Research Letters*, vol. 45, No. 8, pp. 3586–3596.
- Cherkez, E.A., and others (2020). Using of Landsat Space Images to Study the Dynamic of Coastline Changes in the Black Sea North-Western Part in 1983-2013. In XIXth International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects (11-14 May 2020), EAGE and AUAG, Kyiv, Ukraine.
- Cherkez, E.A., and others (2006). Landslide protection of the historical heritage in Odessa (Ukraine). *Landslides*, vol. 3, No. 4, pp. 303–309.
- Dadalto, Maria Cristina, and others (2019). Changes perceived by traditional fishing communities after a major dam disaster in Brazil. *International Journal of Environmental Studies*, 1–9.
- Defeo, Omar, and others (2009). Threats to sandy beach ecosystems: a review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 81, No. 1, pp. 1–12.
- Drius, Mita, and others (2019). Tackling challenges for Mediterranean sustainable coastal tourism: An ecosystem service perspective. *Science of the Total Environment*, vol. 652, pp. 1302–1317.
- Dubois, Stanislas, and others (2009). Feeding response of the polychaete *Sabellaria alveolata* (*Sabellariidae*) to changes in seston concentration. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 376, No. 2, pp. 94–101.
- Elliott, Michael, and others (2019). A synthesis: what is the future for coasts, estuaries, deltas and other transitional habitats in 2050 and beyond? In *Coasts and Estuaries*, pp. 1–28. Elsevier.
- Ellis, J.I., and others (2017). Multiple stressor effects on marine infauna: responses of estuarine taxa and functional traits to sedimentation, nutrient and metal loading. *Scientific Reports*, vol. 7, No. 1, art. 12013. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12323-5>.
- Environmental Monitoring of the Black Sea (EMBLAS) (2019). 12-Months National Pilot Monitoring Studies in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2016-2017. In *Final Scientific Report*, J. Slobodnik and others, eds. European Commission and UNDP. [http://emblasproject.org/wp-content/uploads/2019/07/EMBLAS-II\\_NPMS\\_12\\_months-2016\\_2017\\_FinDraft2.pdf](http://emblasproject.org/wp-content/uploads/2019/07/EMBLAS-II_NPMS_12_months-2016_2017_FinDraft2.pdf).
- Escobar, Herton (2019). Mystery oil spill threatens marine sanctuary in Brazil. *Science*, vol. 366, No. 6466, pp. 672–672. <https://doi.org/10.1126/science.366.6466.672>.
- Everard, Mark, and others Watts (2010). Have we neglected the societal importance of sand dunes? an ecosystem services perspective. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 20, No. 4, pp. 476–487.
- Firth, Louise B., and others (2016). Ocean sprawl: challenges and opportunities for biodiversity management in a changing world. In *Oceanography and Marine Biology*, pp. 201–278. CRC Press.
- Fleming, Lora E., and others (2019). Fostering human health through ocean sustainability in the 21st century. *People and Nature*, vol. 1, No. 3, pp. 276–83. <https://doi.org/10.1002/pan3.10038>.
- Freiberg, E., and others (2010). Some Peculiarities and Results of Explorations of Deformation Processes of The Rocks of Adzhalykskiy Firth Valley Slopes. In *ISRM International Symposium-6th Asian Rock Mechanics Symposium*. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.
- \_\_\_\_\_ (2011). The Impact of Structural-Tectonic and Lithogenous Peculiarities of the Rock Mass on the Formation and Development of Geo-Deformation Processes. In *12th ISRM Congress*. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.
- Garratt, Matthew J., and others (2019). Mapping the consequences of artificial light at night for intertidal ecosystems. *Science of The Total Environment*, vol. 691, pp. 760–768.

- Gascon, Mireia, and others (2017). Outdoor blue spaces, human health and well-being: a systematic review of quantitative studies. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, vol. 220, No. 8, pp. 1207–1221.
- Gelcich, Stefan, and others (2019). Comanagement of small-scale fisheries and ecosystem services. *Conservation Letters*, vol. 12, No. 2, e12637. <https://doi.org/10.1111/conl.12637>.
- Gil, Mónica Noemí, and others (2019). Southern Argentina: The Patagonian Continental Shelf. In *World Seas: An Environmental Evaluation*, pp. 783–811. Elsevier.
- Girão, Mariana, and others (2019). Actinobacteria isolated from *Laminaria ochroleuca*: A source of new bioactive compounds. *Frontiers in Microbiology*, vol. 10, art. 683.
- Goryachkin, Yuri N. (2013). Ukraine. In *Coastal Erosion and Protection in Europe*, Enzo Pranzini and Allan Williams, eds., pp. 413–426. London: Routledge.
- Griffiths, Jennifer R., and others (2017). The importance of benthic–pelagic coupling for marine ecosystem functioning in a changing world. *Global Change Biology*, vol. 23, No. 6, pp. 2179–96. <https://doi.org/10.1111/gcb.13642>.
- Hawkins, Stephen J., and others (2019). *Interactions in the Marine Benthos*. vol. 87. Cambridge University Press.
- Henderson, C.J., and others (2020). Landscape transformation alters functional diversity in coastal seascapes. *Ecography*, vol. 43, pp. 138–148. <https://doi.org/10.1111/ecog.04504>.
- Herring, Stephanie C., and others (2018). Explaining extreme events of 2016 from a climate perspective. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 99, No. 1, pp. S1–S157.
- Hoerterer, Christina, and others (2020). Stakeholder perspectives on opportunities and challenges in achieving sustainable growth of the blue economy in a changing climate. *Frontiers in Marine Science*.
- Huang, D.W., and K. Roy (2015). The future of evolutionary diversity in reef corals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370, 20140010.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2018). *Special Report on Global Warming of 1.5°C (SR1.5)*.
- Ivkić, Angelina, and others (2019). The potential of large rafting objects to spread Lessepsian invaders: the case of a detached buoy. *Biological Invasions*, vol. 21, No. 6, pp. 1887–1893.
- Jarratt, David, and Nick J. Davies (2019). Planning for climate change impacts: coastal tourism destination resilience policies. *Tourism Planning & Development*, 1–18.
- Kermagoret, Charlène, and others (2019). How does eutrophication impact bundles of ecosystem services in multiple coastal habitats using state-and-transition models. *Ocean & Coastal Management*, vol. 174, pp. 144–153.
- Kidd, Sue, and others (2020). Marine spatial planning and sustainability: examining the roles of integration-scale, policies, stakeholders and knowledge. *Ocean & Coastal Management*, vol. 191, p. 105182.
- Kim, Tae Won, and others (2018). Effect of Mudflat Trampling on Activity of Intertidal Crabs. *Ocean Science Journal*, vol. 53, No. 1, pp. 101–6. <https://doi.org/10.1007/s12601-018-0004-4>.
- Kosyan, R. D., and V. N. Velikova (2016). Coastal zone – Terra (and aqua) incognita – Integrated Coastal Zone Management in the Black Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 169, pp. A1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.11.016>.
- Kovalova, N., and others (2010). Long-term changes of bacterioplankton and chlorophyll a as indicators of changes of north-western part of the Black Sea ecosystem during the last 30 years. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, vol. 11, No. 1, pp. 191–198.

- Krelling, Allan Paul, and Alexander Turra (2019). Influence of oceanographic and meteorological events on the quantity and quality of marine debris along an estuarine gradient. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 139, pp. 282–98. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.12.049>.
- Kucuksezgin, Filiz, and others (2019). Chapter 12 - The Coasts of Turkey. In *World Seas: An Environmental Evaluation (Second Edition)*, ed. Charles Sheppard, pp. 307–32. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805068-2.00015-2>.
- Lana, Paulo da Cunha, and others (2018). Benthic estuarine assemblages of the Southeastern Brazil Marine Ecoregion (sbme). In *Brazilian Estuaries: A Benthic Perspective*, Paulo da Cunha Lana and Angelo Fraga Bernardino, eds., pp. 117–75. Cham, Switzerland: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-77779-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77779-5_5).
- Le Duff, M., and others (2017). Coastal Erosion Monitoring on Ouvea Island (New Caledonia): Involving the Local Community in Climate Change Adaptation. In *Climate Change Adaptation in Pacific Countries*, pp. 255–268. Springer.
- Leite, Lucas G., and others (2012). Abundance of biofilm on intertidal rocky shores: Can trampling by humans be a negative influence? *Marine Environmental Research*, vol. 79, pp. 111–115.
- Liu, Jinming, and others (2018). Literature review of coral concrete. *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 43, No. 4, pp. 1529–1541.
- Lu, Yonglong, and others (2018). Major threats of pollution and climate change to global coastal ecosystems and enhanced management for sustainability. *Environmental Pollution*, vol. 239, pp. 670–80. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.016>.
- Lubchenco, Jane, and others (2019). Connecting science to policymakers, managers, and citizens. *Oceanography*, vol. 32, No. 3, pp. 106–115.
- Luijendijk, Arjen, and others (2018). The State of the World's Beaches. *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, art. 6641. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24630-6>.
- Maggi, Elena, and L. Benedetti-Cecchi (2018). Trophic compensation stabilizes marine primary producers exposed to artificial light at night. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 606, pp. 1–5.
- Marcovecchio, Jorge E., and others (2019). The Northern Argentine Sea. In *World Seas: An Environmental Evaluation*, ed. Charles Sheppard, pp. 759–781. Elsevier.
- Marselle, Melissa R., and others (2019). Review of the Mental Health and Well-being Benefits of Biodiversity. In *Biodiversity and Health in the Face of Climate Change*, Melissa R. Marselle and others, eds., pp. 175–211. Cham, Switzerland: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-02318-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-02318-8_9).
- Martinez, Aline S., and others (2019). Functional responses of filter feeders increase with elevated metal contamination: Are these good or bad signs of environmental health? *Marine Pollution Bulletin*, vol. 149, p. 110571.
- Massé Jodoin, Julien, and Frédéric Guichard (2019). Non-resource effects of foundation species on meta-ecosystem stability and function. *Oikos*, vol. 128, No. 11, pp. 1613–1632.
- Masselink, Gerd, and others (2016). Extreme wave activity during 2013/2014 winter and morphological impacts along the Atlantic coast of Europe. *Geophysical Research Letters*, vol. 43, No. 5, pp. 2135–43. <https://doi.org/10.1002/2015GL067492>.
- Mazzuco, Ana Carolina de Azevedo, and others (2015). Temporal variation in intertidal community recruitment and its relationships to physical forcings, chlorophyll-a concentration and sea surface temperature. *Marine Biology*, vol. 162, No. 9, pp. 1705–1725.
- Mazzuco, Ana Carolina de Azevedo, and others (2018). The influence of atmospheric cold fronts on larval supply and settlement of intertidal invertebrates: Case studies in the Cabo Frio coastal upwelling system (SE Brazil). *Journal of Sea Research*, vol. 137, pp. 47–56.

- McKinley, E., and others (2020). Marine social sciences: looking towards a sustainable future. *Environmental Science & Policy*.
- Medinets, S., and V. Medinets (2010). Results of investigations of atmospheric pollutants fluxes in Zmeiny Island in Western part of the Black Sea in 2003-2007 years. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, vol. 11, No. 3, pp. 1030–1036.
- Medinets, Sergiy (2014). The black sea nitrogen budget revision in accordance with recent atmospheric deposition study. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 14, No. 5, pp. 981–992.
- Medinets, Sergiy, and Volodymyr Medinets (2012). Investigations of atmospheric wet and dry nutrient deposition to marine surface in western part of the Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 12, No. 5, pp. 497–505.
- Mendez, María M., and others (2017). Effects of recreational activities on Patagonian rocky shores. *Marine Environmental Research*, vol. 130, pp. 213–220.
- Mentaschi, Lorenzo, and others (2018). Global long-term observations of coastal erosion and accretion. *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, pp. 1–11.
- Narayan, Siddharth, and others (2016). The effectiveness, costs and coastal protection benefits of natural and nature-based defences. *PloS One*, vol. 11, No. 5.
- Nicholls, R., and others (2007). Coastal systems and low-lying areas. In *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Martin Parry and others, eds., pp. 315–357. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Nitivattananon, Vilas, and Sirinapha Srinonil (2019). Enhancing coastal areas governance for sustainable tourism in the context of urbanization and climate change in eastern Thailand. *Advances in Climate Change Research*, vol. 10, No. 1, pp. 47–58.
- O’Gorman, Eoin J., and others (2012). Multiple anthropogenic stressors and the structural properties of food webs. *Ecology*, vol. 93, No. 3, pp. 441–48. <https://doi.org/10.1890/11-0982.1>.
- Oelsner, Gretchen P., and Edward G. Stets (2019). Recent trends in nutrient and sediment loading to coastal areas of the conterminous us: insights and global context. *Science of the Total Environment*, vol. 654, pp. 1225–1240.
- Osorio-Cano, Juan D., and others (2019). Ecosystem management tools to study natural habitats as wave damping structures and coastal protection mechanisms. *Ecological Engineering*, vol. 130, pp. 282–295.
- Pardal-Souza, André Luiz, and others (2017). Shading impacts by coastal infrastructure on biological communities from subtropical rocky shores. *Journal of Applied Ecology*, vol. 54, No. 3, pp. 826–835.
- Park, Hae-Ryung, and others (2019). Transcriptomic response of primary human airway epithelial cells to flavoring chemicals in electronic cigarettes. *Scientific Reports*, vol. 9, No. 1, pp. 1–11.
- Penalba, Markel, and others (2018). Wave energy resource variation off the west coast of Ireland and its impact on realistic wave energy converters’ power absorption. *Applied Energy*, vol. 224, pp. 205–219.
- Petrovic F., and F. Guichard (2008). Scales of *Mytilus* spp. population dynamics: importance of adult displacement and aggregation. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 356, pp. 203–14.
- Pinsky, Malin L., and others (2019). Greater vulnerability to warming of marine versus terrestrial ectotherms. *Nature*, vol. 569, No. 7754, pp. 108–11. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1132-4>.
- Poloczanska, Elvira S., and others (2013). Global imprint of climate change on marine life. *Nature Climate Change*, vol. 3, No. 10, pp. 919–25. <https://doi.org/10.1038/nclimate1958>.
- Qiang, Mengmeng, and others (2019). Loss of tourism revenue induced by coastal environmental pollution: a length-of-stay perspective. *Journal of Sustainable Tourism*, vol. 28, No. 4, pp. 550–567.

- Queiroz, Hermano M., and others (2018). The Samarco mine tailing disaster: a possible time-bomb for heavy metals contamination? *Science of the Total Environment*, vol. 637, pp. 498–506.
- Rahman, Serina (2017a). *Johor's Forest City Faces Critical Challenges*. Trends in Southeast Asia 3. ISEAS Yusof Ishak Institute.
- \_\_\_\_\_ (2017b). *The Socio-Cultural Impacts of Forest City*. ISEAS Yusof Ishak Institute. <http://hdl.handle.net/11540/7217>.
- Randall, Carly J., and others (2020). Upwelling buffers climate change impacts on coral reefs of the eastern tropical Pacific. *Ecology*, vol. 101, No. 2. e02918. <https://doi.org/10.1002/ecy.2918>.
- Rangel-Buitrago, N., and G. Anfuso (2009). Assessment of coastal vulnerability in La Guajira Peninsula, Colombian Caribbean Sea. *Journal of Coastal Research*, pp. 792–796.
- Rilov, Gil and others (2019). Adaptive marine conservation planning in the face of climate change: what can we learn from physiological, ecological and genetic studies? *Global Ecology and Conservation*, vol. 17, e00566. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00566>.
- Robinson, Danielle, and others (2019). Community perceptions link environmental decline to reduced support for tourism development in small island states: a case study in the Turks and Caicos Islands. *Marine Policy*, vol. 108, art. 103671.
- Rodríguez-Revelo, Natalia, and others (2018). Environmental services of beaches and coastal sand dunes as a tool for their conservation. In *Beach Management Tools - Concepts, Methodologies and Case Studies*, Camilo M. Botero, and others, eds., pp. 75–100. Cham, Switzerland: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-58304-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-58304-4_5).
- Sagar, Stephen, and others (2017). Extracting the intertidal extent and topography of the Australian coastline from a 28 year time series of Landsat observations. *Remote Sensing of Environment*, vol. 195, pp. 153–169.
- Santoro, Francesca and others (2017). *Ocean Literacy for All - A Toolkit*.
- Sardain, Anthony, and others (2019). Global forecasts of shipping traffic and biological invasions to 2050. *Nature Sustainability*, vol. 2, No. 4, pp. 274–282.
- Schlacher, Thomas A., and Luke Thompson (2012). Beach recreation impacts benthic invertebrates on ocean-exposed sandy shores. *Biological Conservation*, vol. 147, No. 1, pp. 123–132.
- Scrosati, Ricardo A., and Julius A. Ellrich (2018). Benthic-pelagic coupling and bottom-up forcing in rocky intertidal communities along the Atlantic Canadian coast. *Ecosphere*, vol. 9, No. 5, e02229. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2229>.
- Seebens, Hanno, and others (2017). No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nature Communications*, vol. 8, No. 1, art. 14435. <https://doi.org/10.1038/ncomms14435>.
- Smale, Dan A., and Thomas Wernberg (2013). Extreme climatic event drives range contraction of a habitat-forming species. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 280, No.1754. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.2829>.
- Snigirov, Sergey, and others (2012). The fish community in Zmiinyi Island waters: structure and determinants. *Marine Biodiversity*, vol. 42, No. 2, pp. 225–239.
- Soares, Marcelo de Oliveira, and others (2020). Oil spill in South Atlantic (Brazil): Environmental and governmental disaster. *Marine Policy*, vol. 115, art. 103879.
- Stanchev, Hristo, and others (2018). Analysis of shoreline changes and cliff retreat to support Marine Spatial Planning in Shabla Municipality, Northeast Bulgaria. *Ocean & Coastal Management*, vol. 156, pp. 127–40. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.06.011>.
- Stanchev, Hristo, and others (2013). Integrating GIS and high resolution orthophoto images for the development of a geomorphic shoreline classification and risk assessment—a case study of cliff/bluff

- erosion along the Bulgarian coast. *Journal of Coastal Conservation*, vol. 17, No. 4, pp. 719–28. <https://doi.org/10.1007/s11852-013-0271-2>.
- Stepanova, Olga, and others (2020). Understanding mechanisms of conflict resolution beyond collaboration: an interdisciplinary typology of knowledge types and their integration in practice. *Sustainability Science*, vol. 15, No. 1, pp. 263–279.
- Stori, Fernanda Terra, and others (2019). Traditional ecological knowledge supports ecosystem-based management in disturbed coastal marine social-ecological systems. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 571. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00571>.
- Strain, Elisabeth M.A., and others (2018). Eco-engineering urban infrastructure for marine and coastal biodiversity: Which interventions have the greatest ecological benefit? *Journal of Applied Ecology*, vol. 55, No. 1, pp. 426–41. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12961>.
- Tătui, Florin, and others (2019). The Black Sea coastline erosion: index-based sensitivity assessment and management-related issues. *Ocean & Coastal Management*, vol. 182, art. 104949.
- Teixeira, I.G., and others (2018). Response of phytoplankton to enhanced atmospheric and riverine nutrient inputs in a coastal upwelling embayment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 210, pp. 132–141.
- Underwood, Charlotte N., and others (2017). Artificial light at night alters trophic interactions of intertidal invertebrates. *Journal of Animal Ecology*, vol. 86, No. 4, pp. 781–789.
- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Urban, Edward R., and others (2020). The importance of bottom-up approaches to international cooperation in ocean science. *Oceanography*, vol. 33, No. 1, pp. 11–15.
- Van Assche, Kristof, and others (2019). Governance and the coastal condition: towards new modes of observation, adaptation and integration. *Marine Policy*, vol. 112. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.01.002>.
- Vaquer-Sunyer, Raquel, and Carlos M. Duarte (2011). Temperature effects on oxygen thresholds for hypoxia in marine benthic organisms. *Global Change Biology*, vol. 17, No. 5, pp. 1788–97. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02343.x>.
- Voorhies, Kristen J., and others (2018). Longstanding signals of marine community structuring by winter storm wave-base. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 603, pp. 135–146.
- Vousdoukas, Michalis I., and others (2020). Sandy coastlines under threat of erosion. *Nature Climate Change*, vol. 10, No. 3, pp. 260–63. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0697-0>.
- Wang, Aiguo, and others (2018). The development of coral concretes and their upgrading technologies: a critical review. *Construction and Building Materials*, vol. 187, pp. 1004–1019.
- Whitney, Charlotte K., and Natalie C. Ban (2019). Barriers and opportunities for social-ecological adaptation to climate change in coastal British Columbia. *Ocean & Coastal Management*, vol. 179, art. 104808.
- Williams, Joseph Marcel R. (2016). Evaluating the diverse impacts of megaprojects: the case of Forest City in Johor, Malaysia. PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/105036>.
- Xiu, Peng, and others (2018). Future changes in coastal upwelling ecosystems with global warming: The case of the California Current System. *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, art. 2866.
- You, Soojin, and others (2018). Coastal landscape planning for improving the value of ecosystem services in coastal areas: using system dynamics model. *Environmental Pollution*, vol. 242, pp. 2040–2050.
- Zhai, Tianlin, and others (2020). Assessing ecological risks caused by human activities in rapid urbanization coastal areas: towards an integrated approach to determining key areas of terrestrial-oceanic ecosystems preservation and restoration. *Science of The Total Environment*, vol. 708, art. 135153.

# 第 7C 章

# 环礁和岛屿泻湖

撰稿人：Colin D. Woodroffe (召集人)、Karen Evans (分章牵头成员)、David Obura、Fernanda de Oliveira Lana和 Arthur P. Webb。



## 主旨要点

- 环礁和岛屿泻湖的健康以及依靠其谋生的社区的可持续性受到许多环境限制和压力因素的挑战, 而人类的行动往往加剧了这些限制和压力因素。
- 环礁和其他珊瑚礁上的岛屿地势低洼, 非常容易受到气候变化带来的各种冲击(尤其是海平面上升)的损害; 各岛屿可能会以不同方式作出反应。
- 气候变化威胁到珊瑚礁生态系统, 影响岛屿的宜居性。珊瑚白化、岛屿被侵蚀和淹没、碳酸盐溶解以及热带风暴等极端事件造成的影响尤为显著。
- 发达的城市环礁岛屿越来越依赖工程解决方案, 这些方案需要整合“硬性备选方案”和“绿色/蓝色备选方案”以避免意外冲击, 而人口较少的农村岛屿社区则依赖周围海洋和沿海生态系统的健康状况、生产力和功能。

## 1. 引言

从地质角度看, 地势低洼的热带珊瑚礁和环礁岛屿及其相关泻湖系统是在过去几千年中形成的年轻地物。这些地物的形成和维持受到海平面、碳酸钙沉积物的生物生产以及使这些沉积物发生改造、输移和再沉积的海洋和大气条件的制约。成礁海域中的岛屿分布分散, 而且往往相互隔绝。它们的共同特点是地势低洼, 面积小, 暴露在周围海洋条件下。这些岛屿为生活在岛上的自给自足社区提供的农事潜力微薄, 地下淡水资源有限, 这些社区在日常粮食安全方面与周围珊瑚礁有着密不可分的联系。相关的海洋和沿海生态系统, 包括海草、红树林和陆生植被, 对当地社区所依赖的农业生态稳定和服务同样很重要。

《第一次世界海洋评估》(联合国, 2017年b)未具体评价环礁岛屿和泻湖, 但第7章(联合国, 2017年a)介绍了碳酸盐的生成和对沿海沉积物的贡献, 其他章节中也提到了环礁。在本次评估中, 关于热带和亚热带珊瑚礁的第7D章尤其具有现实意义, 而关于海草场的第7G章提供了补充材料。

最近的一项审查得出结论认为, 全世界有439个地物可以归类为环礁(Goldberg, 2016年)。有268个环礁拥有相关珊瑚礁岛屿, 但本章把其他珊瑚礁上的砂礁和砾洲也列入考虑范围, 因为它们的行为方式与环礁边缘形成的岛屿类似。太平洋上的环礁数量最多(84%的环礁位于太平洋, 包括南

海、菲律宾和印度尼西亚群岛); 约13%位于印度洋, 不到3%位于加勒比(Goldberg, 2016年)。法属波利尼西亚有83个环礁(占全球总数的近20%)。塔比特韦亚是一个单一环礁系统, 沿其东部边缘有大约50个已命名岛屿。罗卡斯环礁是南大西洋唯一的环礁, 是巴西的一个受到充分保护的养护单位(Pereira等人, 2010年; Soares等人, 2011年)。马尔代夫和拉克砂群岛拥有印度洋的大部分环礁群, 其他地方只有零散分布的环礁(例如阿尔达布拉和格洛里厄斯)。

查尔斯·达尔文首先对环礁和关联岛屿的形成作出解释(Darwin, 1874年)。在一个露出水面的火山岛上, 生长出由珊瑚和相关生物体构成的碳酸盐礁缘, 火山岛随后下沉并最终沉至海平面以下, 最后只留下一个环礁礁缘和一个中心泻湖。如果环礁边缘在最高潮时露出水面且条件有利, 就可以形成珊瑚礁岛屿。珊瑚礁岛屿完全由珊瑚礁生物体的钙质骨骼残骸组成, 包括分解成巨砾、卵石、碎石或砂石的珊瑚, 以及有孔虫、软体动物和珊瑚藻类等其他生物体。岛屿的扩张和持续存在取决于珊瑚礁沉积物的持续生产, 以抗衡波浪、潮流和风的不断侵蚀。

由于海平面与全新世中期的高位相比略有下降, 珊瑚礁沉积物得以堆积, 许多环礁上似乎已经形成了珊瑚礁岛屿。有人居住的珊瑚礁岛屿往往面

积较大，内部地区发育了较复杂的土壤和植被，并拥有较可靠的地下淡水资源。人类定居可能发生在岛屿形成之后不久(Nunn, 2016年; Allen等人, 2016年); 人类对这种复杂生态系统的密集使用导致退化。没有岛屿或其岛屿不适合居住的环礁

具有相当大的生态价值，是最健康、受干扰最少、复原力最强的珊瑚礁生境(Riegl等人, 2012年; Donner和Carilli, 2019年)。珊瑚礁的健康状况或生产力衰落，会威胁到这些生态系统和依赖这些生态系统的社区的持久存在。

## 2. 环礁和岛屿泻湖状况方面有记录可查的变化

### 2.1. 2010年至2020年之间的环境变化介绍

**岛屿受到侵蚀。**岛屿海岸线所受侵蚀往往被归因于海平面上升，尽管很难证明侵蚀与海平面上升之间有联系。研究表明，各个岛屿周围和整个环礁上的反应存在差异(Ford和Kench, 2015)，短期波动往往掩盖了任何真正的长期信号(Mann等人, 2016年; Ryan等人, 2016年; Nunn等人, 2017年, 2019年)。在所罗门群岛，有几个岛屿已经消失，但其他岛屿因波浪活动而发生位移，表明岛屿不仅是因海平面上升而被淹没的(Albert等人, 2016年, 2017年)。在印度洋许多岛屿上都记录到海岸线位置的变动(Hamylton和East, 2012年; Purkis等人, 2016年; Testut等人, 2016年)，许多变动的幅度已经增大，而且今后似乎还可能继续增大(Beetham等人, 2017年)。在太平洋，土阿莫土环礁上观察到的变化相对较小，与气候状况、沉积物供应和对海岸线稳定性的人为冲击相比，海平面所起的作用似乎相对较小(Le Cozannet等人, 2013年; Duvat和Pillet, 2017年)。在图瓦卢，富纳富提环礁上的珊瑚礁岛屿面积增加，部分原因是热带气旋(Kench等人, 2015年; McLean和Kench, 2015年)，图瓦卢所有101个岛屿的海岸线变化表明，在过去40年里，9个环礁中有8个的陆地面积增加(Kench等人, 2018年)。然而，由于2015年3月热带气旋“帕姆”近期对海岸线造成冲击，图瓦卢一些岛屿的海岸线大幅后退，突出表明热带扰动对岛屿的影响存在很大差异。对涵盖太平洋和印度洋30个环礁(包括709个岛屿)的现有数据进行分析后发现，没有一个环礁的整体陆地面积减少，其中88.6%的岛屿面积保持稳定或增加，只有11.4%的岛屿面积缩小(Duvat, 2018年)。

**珊瑚礁岛屿被淹没。**对于珊瑚礁岛屿被淹没和潮汐洪水频发问题的关注度非常低(Ford等人, 2018年)。有人利用无人机拍摄技术，为马朱罗环礁制作了详细的环礁地形数字高程模型，在评估环礁今后受洪水影响的脆弱性时，能够全面考虑潜在的误差(Gesch等人, 2020年)。

**波候改变。**波浪条件可能随着海平面上升而改变(Esteban等人, 2018年; Costa等人, 2019年)。许多珊瑚礁岛屿预计都有可能受到更多的过度冲刷(Storlazzi等人, 2015年)，最近的分析推断，到2050年代，大多数环礁可能不再适合居住(Storlazzi等人, 2018年)。随着波浪爬升高度增加和内涝增多，珊瑚礁岛屿有可能变得更窄、更长(Shope等人, 2016年, 2017年)。所受冲击可能受到临近珊瑚礁大小和沿岸沉积物输移模式的影响(Quataert等人, 2015年; Shope和Storlazzi, 2019年)，还会发生地下水盐化(Oberle等人, 2017年)。

**珊瑚礁退化。**据估计，珊瑚礁占海洋面积0.5%，大致相当于1 500 000平方公里(Leão等人, 2008年)。另据估计，由于人类活动(特别是过度捕捞)、海洋污染和全球气候变化，30%以上的珊瑚礁已经受到严重破坏，大约60%的珊瑚礁区域将在未来几十年内完全退化(Gherardi和Bosence, 2005年; Pereira等人, 2010年)。热带表层水温升高正在全球范围内造成广泛、更加频繁的珊瑚白化(Eakin等人, 2019年)，第7D章对此进行讨论。2014年至2017年期间连续出现史无前例的创高温记录年，在此期间发生了有记录以来最严重、最广泛、持续时间最长的全球范围珊瑚白化事件(Eakin等人, 2019年)。在整个热带地区都记录到环礁珊瑚礁白化的情况(Marshall等人, 2017年; Head等人, 2019年)。

**泻湖污染。**对泻湖生态系统的密集使用导致水污染和生态系统退化。在图瓦卢进行的研究已查明家庭废水是主要污染源,并在沉积物中记录到重金属污染(Fujita等人,2013年,2014年)。

**生态影响。**位置偏远、无人居住或人烟稀少的环礁可能是具有独特生态价值的地点。气候变化和海平面上升造成的压力威胁到这些岛屿的持久存在和独特生态,以及可能受威胁和濒危的物种(Gillespie等人,2008年)。例如,在位置偏远且大多无人居住的菲尼克斯群岛,尽管进行了积极管理,但在日益强烈的热浪面前,珊瑚死亡和恢复的循环可能最终失灵(Rotjan等人,2014年)。气旋可能对小岛屿上的重要生境产生破坏性影响,对脆弱物种构成长期严峻挑战(Huang等人,2017年)。气候威胁还可能加剧对更易受到人类压力的岛屿的当地压力,例如入侵物种可能造成所在区域对气候冲击的抵抗能力减弱(Russell等人,2017年),和各种疾病(例如加勒比地区的石珊瑚组织丧失病)传播蔓延(Aeby等人,2019年)。

## 2.2. 与变化相关的因素: 驱动因素、压力、冲击和反应

岛屿与影响它们的主要洋流和波浪机制之间的相互作用,加上沉降和(或)隆起的地貌特征,对岛屿的形态和变化施加了总体控制。对罗卡斯环礁的模拟研究表明,海平面轻微上升后折射引起的波浪作用增加,可能是珊瑚礁岛屿平面和体积变化的原因(Costa等人,2017年,2019年)。

温暖浅海中的珊瑚礁垂直堆积,在某些情况下,堆积速度可能快于目前海平面上升的速度(Perry等人,2015年a,2015年b)。然而,过去2 000年来海平面逐渐下降,导致印度洋—太平洋地区礁坪上的珊瑚停止生长(Harris等人,2015年)。各个岛屿将受到具体地点相对海平面变化模式的影响,但由于海洋学和地球物理学驱动因素的影响,会有细微的差异(Pfeffer等人,2017年)。从载有地球化学回溯档案的大型长寿珊瑚中获得对不同时间尺度海洋气候和环境重建的深入了解,正在成

为可能(Dassié和Linsley,2015年; Evangelista等人,2018年)。

对碳酸盐生产率的量化,以及对侵蚀和沉积物脱落的估计,有助于深入了解珊瑚礁沉积物收支状况(Perry等人,2016年,2017年a; Hamylton等人,2016年; Morgan和Kench,2017人)。沉积物生产有助于逐渐填充泻湖。例如,鸚鵡鱼在珊瑚礁上取食,生产出细小的沉积物(Perry等人,2015年b; Yarlett等人,2018年),在靠近大陆海岸的地方,陆源沉积物进一步增加沉积物的数量(Perry等人,2017年b)。很少有人计算珊瑚礁岛屿的沉积物收支状况;这类状况取决于一系列珊瑚礁生物体的生物生产(Morgan和Kench,2016年)。不同的珊瑚礁岛屿可能处于若干发展阶段之一,即成核、生长、稳定、衰退、残遗或濒危(Garcin等人,2016年)。由新沉积的珊瑚碎片组成的小砂岛缺乏土壤,与更古老、更成熟的岛屿相比,支持人类生计的能力较差(Connell,2015年)。

珊瑚礁岛屿系统很脆弱,容易受到极端气候事件(特别是热带风暴)的破坏。2017年,飓风“玛利亚”和“伊尔玛”在加勒比地区许多岛屿造成重大破坏和人员伤亡;2018年,热带气旋“吉塔”袭击太平洋上的埃瓦岛和汤加塔布岛,致使汤加80%的人口受灾,建筑物、农作物和基础设施被毁(Magnan等人,2019年)。西印度洋的气旋“伊代”是该区域有记录以来最强的气旋之一,造成的死亡人数位居第二。此类高能事件对珊瑚礁岛屿形态留下持续数年的冲击(Jeanson等人,2014年; Kayanne等人,2016年)。自1975年以来,极强气旋所占比例增加,原因在于气候变暖(Holland和Bruyere,2014年),预计这种情况将持续到今后(Walsh等人,2016年)。此外,由于岛屿上人口不断增长、基础设施不断增多,岛屿受到气旋冲击的风险和严重程度必然会增加。岛屿还容易受到远源风浪引起的异常高潮汐和水位的影响。1987年马尔代夫(Wadey等人,2017年)和2008年12月太平洋上几个岛屿(Hoeke等人,2013年; Smithers和Hoeke,2014年)发生的情况就是如此。

海洋中发生的地球化学变化，特别是海洋酸化，可能导致泻湖沉积物溶解，减少可用于补充珊瑚礁岛屿的砂砾，使珊瑚礁难以跟上今后海平面上升的速度(Perry等人，2018年)。最近的研究表明，

珊瑚礁沉积物的溶解与海水的霰石饱和状态呈负相关，对海洋酸化的敏感度是珊瑚钙化的10倍(Cyronak和Eyre, 2016年; Eyre等人, 2018年)。

### 3. 变化对人类社区、经济和福祉造成的后果

生活在珊瑚礁岛屿上的社区要面对许多压力，而这些多重压力因素造成的结果仍然非常不确定。尽管普遍认为珊瑚礁岛屿容易受到气候变化带来的各种冲击影响，但几乎没有这方面的直接证据。小型珊瑚礁岛屿面临的许多问题源于其他既有压力(Birk, 2014年; Duvat等人, 2017年)，特别是加剧了小岛屿脆弱性的人为原因(Connell, 2015年; McCubbin 等人, 2015年)。

政府间气候变化专门委员会在最近发布的《气候变化中的海洋和冰冻圈特别报告》中考虑了气候变化对低洼岛屿造成的后果(Oppenheimer等人, 2019年)。这份报告将城市环礁岛屿与许多较小的外围岛屿区分开来，前者包括首都所在岛屿(或岛群)，例如富纳富提(图瓦卢)、南塔拉瓦(基里巴斯)和马累(马尔代夫)。城市环礁岛屿的未来很重要，因为这些岛屿的低洼地区集中了人口(南塔拉瓦每平方公里约有3 200人; 马累每平方公里约有65 700人)、经济活动和关键基础设施(机场、港口)，容易遭受海洋洪水和海岸侵蚀。人口众多的岛屿更依赖进口粮食，而不是本地种植(McCubbin 等人, 2017年)。此外，这些岛屿还严重依赖硬性工程防护。在某些情况下，正在考虑将人员和关键基础设施迁往另一个岛屿(Oppenheimer等人, 2019年)。然而，移民活动面临许多障碍(Birk和Rasmussen, 2014年)，包括缺乏迁移意愿(Jamero等人, 2017年, 2019年)。

有一系列硬性和软性工程备选方案可用于保护岛屿的脆弱海岸线(Wong, 2018年)，其中许多可视为适应性应对举措。事实证明，用于保护马累的硬性防护措施成功防止了进一步的破坏。然而，硬性工程海岸防护措施可能对天然海岸线和生态系统过程产生严重冲击，造成适应不良，其长期产生

的不利冲击可能会盖过早期取得的惠益(Donner和Webber, 2014年; David等人, 2019年)。由于硬性工程备选方案带来的代价，人们对基于生态系统的“软性”复原力措施产生了更大的兴趣(Naylor, 2015年)。自2004年印度洋海啸以来，随着海岸侵蚀和极端事件的增多，天然礁和海岸植被生态系统的价值越来越明显，促进形成了利用天然构造物和人工构造物减少海岸脆弱性的设计原则。

环礁居民并不认为气候变化是他们的首要关切。例如，50%以上的马尔代夫受访者认为，未来海平面上升是一个严重的全国性挑战，但许多其他文化、宗教、经济和社会因素也在决定是否移民方面发挥重要作用(Stojanov等人, 2017年)。同样，大多数图瓦卢居民也不准备向外移民(Mortreux和Barnett, 2009年)。在基里巴斯，“下沉国家范式”使决策过程政治化，“适应”成为经济发展的比喻说法(Mallin, 2018年)，从社会科学角度出发的反叙述正在挑战关于岛民向外移民的观念(Barnett, 2017年; Kelman, 2018年; Yamamoto和Esteban, 2017年)。粗略的评估淡化了社区经验和当地环境变化知识的差异(Leon等人, 2015年; Owen等人, 2016年)。基于浓厚的文化传统，人们可能不愿离开低洼岛屿，在一些低洼岛屿，居民选择采用就地适应战略(例如高架房屋)以应对洪水，而不是移民到主体陆地部分(Jamero等人, 2017年)。这种选择被认为更可取，即使这种情况下的生计可能无法长期持续(Duce等人, 2010年; McNamara 等人, 2017年)。

海平面上升往往被推断为造成小岛屿上有害、不寻常或前所未有的环境变化的主要原因，而实际上推动这种变化的却是其他因素。大多数太平洋

岛屿的当代环境变化更有可能是对气旋、海堤修建、污染、过度捕捞、生境退化和采砂等当地压力的反应。有人提出,小岛屿为把全球气候变化叙述

转化为有形、具体的表现并将其归因于远源因素提供了实地(Connell, 2015)。

## 4. 特定区域的主要变化及其后果

虽然大多数环礁位于太平洋,印度洋有几个群岛,大西洋只有极少数群岛(生物多样性和生态系统服务政府间科学与政策平台(生物多样性平台),2018年),但在最近一项关于环礁岛屿面积变化的研究中,没有发现基于洋盆的重大差异(Duvat, 2018年)。这项研究表明,印度洋中的马尔代夫似乎比太平洋岛屿受侵蚀影响更大,前者面积减少了23.3%,而后者面积减少了7.5%。最值得注意的

是,研究发现环礁和群岛内部和之间存在很大差异。研究注意到,城市环礁岛屿和外围农村环礁岛屿在人口结构趋势以及对气候变化、海平面上升和其他威胁的反应方面都存在差别。岛屿之间的差异表明,在认知变化及其后果时,应注意各个群岛、环礁和岛屿的具体情况,这些具体情况似乎比区域模式更为重要。

## 5. 展望

环礁和岛屿泻湖仍然容易受到各种环境危害的影响,但正是这些危害之间的协同作用和相互作用、它们在当地地理和地貌环境中发挥作用的具体方式以及与社会和经济因素之间的相互作用,才可能决定岛屿的前景(Duvat和Magnan, 2019年b)。由于岛屿面积小且易受影响,气候变化可能通过主要气候系统振荡幅度增加(例如厄尔尼诺/南方涛动)而影响岛屿,这表现在全球各地珊瑚礁岛屿系统的热应力和珊瑚白化事件程度增强、持续时间拉长(Eakin等人, 2019年; Hughes等人, 2018年)。

来自当地和气候变化的主要压力包括:

- (a) 海洋温度升高,使珊瑚白化现象增多;
- (b) 海平面上升,有可能淹没岛屿,或可加剧侵蚀,并可能加剧穿越珊瑚礁的波浪过程;
- (c) 海洋酸化,有可能降低钙质骨架强度,而且由于碱度变化,似乎可能减少泻湖和珊瑚礁岛屿沉积物;
- (d) 风暴和罕见的波浪事件,这些事件在沉积物输移方面发挥重要作用,因为风暴频率或强度上

的任何增加都可能对珊瑚礁和珊瑚礁岛屿产生后果;

- (e) 过度捕捞和对自然资源(特别是那些在岛屿和生境结构中发挥重要作用的资源,例如珊瑚礁和红树林)管理不善;
- (f) 人口结构和人口密度,以及其对污染的影响和对当地岛屿系统的冲击,以及对人员和基础设施面对环境和气候威胁的风险和脆弱性的影响。

Duvat和Magnan (2019年a)确定了5条关键适应途径以应对环礁岛屿上这些相互作用的挑战:关注生态系统复原力;尽量减少不良适应的风险;为内部迁移提供便利;确保在地面高程方面提供适当海岸线防护;考虑并协助进行永久性国际移民。

岛屿的前景在很大程度上取决于政策层面,既包括各个岛屿国家与其他国家之间的国家一级政策层面,也包括通过联合国和其他论坛开展的全球一级政策层面。前者是确定针对具体岛屿的未来备选方案的关键,无论这些方案是涉及投资于适应性基础设施(例如建设应对海平面上升的能力)还是迁移。

## 6. 知识方面仍然存在的主要差距

在珊瑚礁、泻湖生境和珊瑚礁岛屿对其目前面临的当地和全球威胁作出的反应方面，了解还不充分。关于珊瑚礁过程如何对变化中的单个和复合气候系统驱动因素作出反应，相关信息很少。在海岸线受侵蚀和淹没方面观察到了地理差异性，但对形成这些空间模式的原因则了解甚少，这在很大程度上妨碍了对特定地点的表现进行预测。在对过去几十年海岸线变化进行观测分析的同时，还在试图模拟珊瑚礁岛屿可能作出的反应。最近在模拟方面作出的尝试包括大型波浪水槽实验(Tuck等人，2018年、2019年；Masselink等人，2019年、2020年)，以及水动力和海岸线反应模型(Costa等人，2019年；Ortiz和Ashton，2019年；Shope和Storlazzi，2019年)。可以利用最新的先进遥感技术(包括高分辨率卫星图像、机载光探测和测距以及无人机获取图像)来监测珊瑚礁岛屿的海岸线，以便更详细地研究环礁边缘或其他珊瑚礁和泻湖环境中由钙质生物体碎屑砂和粗砾组成的小岛屿的脆弱性(Casella等人，2016年；Lowe等人，2019年；Gesch等人，2020年)。

虽然大多数环礁并没有出现总体净侵蚀，但其实际生存能力面临更大的压力。环礁、环礁周围的珊瑚礁岛屿以及环礁内的泻湖都是钙化生物体的产物，这些生物体对沉积物收支作出贡献，而沉积物

收支则决定了各个岛屿的发展轨迹。在产生生物碎屑沉积物的主要生物体的生产力、衍生砂砾的分解和输移以及这些物质的溶解和移除等方面，知识还不足。

另一个需要更细致地加以调查的方面是位于小岛屿以下、人口赖以生存的地下水透镜体的命运，因为如果海岸线受到侵蚀或波浪漫过岛屿，透镜体似乎很可能会收缩(Terry和Chui，2012年；Gulley等人，2016年；Bailey等人，2016年；Deng和Bailey，2017年；Ford等人，2018年)。地下淡水透镜体对不断变化的自然和人口因素的抵御能力，特别是在干旱条件下的抵御能力，直到最近才成为一个活跃的研究领域(Werner等人，2017年；Oberle等人，2017年)，需要进一步开展研究，特别是因为抵御能力似乎取决于岛屿的形态调整，而对这方面的了解还不完全。

从社会生态角度看，岛屿社区和国家如何适应并影响岛屿系统对上述威胁的反应，具有重要意义(Duvat和Magnan，2019年b)。政府、公民和社区机构、外国援助和投资伙伴以及非政府行为体都在决定岛屿如何应对未来挑战以及预见和减少危机方面发挥作用。可持续发展目标<sup>1</sup>不仅为国家和国际政策提供了框架，而且也多个层面所需的统筹规划和行动提供了框架(Obura，2020年)。

## 7. 能力建设方面仍然存在的主要差距

尽管国际机构努力在小岛屿国家建设能力，但小岛屿社区内显然缺乏训练有素、资源充足的人员来监测当地一级的变化，开展针对具体地点的研究和评估，执行适应方案和其他方案。需要有应对上述多重威胁和新出现问题的技能。小岛屿社区的适应能力似乎有限，许多社区在赞助重大项目方面过度依赖国际援助。可持续发展目标、《小岛屿发

展中国家快速行动方式(萨摩亚途径)》<sup>2</sup>和联合国海洋科学促进可持续发展十年(2021–2030)<sup>3</sup>等全球框架为确定关键需求以及为能力建设输送资源以满足这些需求提供了多种机会。

<sup>1</sup> 见大会第70/1号决议。

<sup>2</sup> 大会第69/15号决议，附件。

<sup>3</sup> 见大会第72/73号决议。

## 参考资料

- Aeby, Greta, and others (2019). Pathogenesis of a tissue loss disease affecting multiple species of corals along the Florida Reef Tract. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 678.
- Albert, Simon and others (2016). Interactions between sea level rise and wave exposure on reef island dynamics in the Solomon Islands. *Environmental Research Letters*, vol. 11, No.5, 054011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/5/054011>.
- Albert, Simon and others (2017). Winners and losers as mangrove, coral and seagrass ecosystems respond to sea level rise in Solomon Islands. *Environmental Research Letters*, vol. 12, No. 9, 094009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7e68>.
- Allen, Melinda S., and others (2016). Timing, magnitude and effects of late Holocene sea level drawdown on island habitability, Aitutaki, Cook Islands. *Archaeology in Oceania*, vol. 51, No. 2, pp. 108–121.
- Bailey, Ryan T., and others (2016). Predicting Future Groundwater Resources of Coral Atoll Islands. *Hydrological Processes*, vol. 30, No. 13, pp. 2092–2105.
- Barnett, Jonathon (2017). The dilemmas of normalising losses from climate change: Towards hope for Pacific atoll countries. *Asia Pacific Viewpoint*, vol. 58, No. 1, pp. 3–13.
- Beetham, Edward, and others (2017). Future reef growth can mitigate physical impacts of sea level rise on atoll islands. *Earth's Future*, vol. 5, No. 10, pp. 1002–1014.
- Birk, Thomas (2014). Assessing vulnerability to climate change and socioeconomic stressors in the Reef Islands group, Solomon Islands. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, vol. 114, No. 1, pp. 59–75.
- Birk, Thomas, and Kjeld Rasmussen (2014). Migration from atolls as climate change adaptation: Current practices, barriers and options in Solomon Islands. In *Natural Resources Forum*, vol. 38, pp. 1–13. Wiley Online Library.
- Casella, Elisa, and others (2016). Mapping coral reefs using consumer-grade drones and structure from motion photogrammetry techniques. *Coral Reefs*, vol. 36, No. 1, pp. 269–275.
- Connell, John (2015). Vulnerable islands: climate change, tectonic change, and changing livelihoods in the Western Pacific. *The Contemporary Pacific*, pp. 1–36.
- Costa, Mirella B., and others (2017). Planimetric and volumetric changes of reef islands in response to wave conditions. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 42, No. 15, pp. 2663–2678.
- Costa, Mirella B., and others (2019). Wave refraction and reef island stability under rising sea level. *Global and Planetary Change*, vol. 172, pp. 256–267.
- Cyronak, Tyler, and Bradley D. Eyre (2016). The synergistic effects of ocean acidification and organic metabolism on calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>) dissolution in coral reef sediments. *Marine Chemistry*, vol. 183, pp. 1–12.
- Darwin, Charles (1874). *The Structure and Distribution of Coral Reefs* (2nd ed.), London: Smith Elder and Co.
- Dassié, Emilie P., and Braddock K. Linsley (2015). Refining the sampling approach for the massive coral *Diploastrea heliopora* for  $\delta^{18}\text{O}$ -based paleoclimate applications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 440, pp. 274–282.
- David, Gabriel, and others (2019). Coastal Infrastructure on Reef Islands—the Port of Fuvahmulah, the Maldives as Example of Maladaptation to Sea level Rise? *Coastal Structures 2019*, pp. 874–885.
- Deng, Chenda, and Ryan T. Bailey (2017). Assessing groundwater availability of the Maldives under future climate conditions. *Hydrological Processes*, vol. 31, No. 19, pp. 3334–3349.
- Donner, Simon D., and Jessica Carilli (2019). Resilience of Central Pacific reefs subject to frequent heat stress and human disturbance. *Scientific Reports*, vol. 9, No. 1, pp. 1–13.

- Donner, Simon D., and Sophie Webber (2014). Obstacles to climate change adaptation decisions: a case study of sea level rise and coastal protection measures in Kiribati. *Sustainability Science*, vol. 9, No. 3, pp. 331–345.
- Duce, Stephanie J., and others (2010). *A Synthesis of Climate Change and Coastal Science to Support Adaptation in the Communities of Torres Strait*. Townsville: Reef and Rainforest Research Centre.
- Duvat, Virginie K.E. (2018). A global assessment of atoll island planform changes over the past decades. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, vol. 10, No. 1, e557.
- Duvat, Virginie K.E., and A.K. Magnan (2019a). Contrasting potential for nature-based solutions to enhance coastal protection services in atoll islands. In *Dealing with climate change on small islands: Towards effective and sustainable adaptation?* Klöck, C. and Fink, M., eds., pp. 45–75. Göttingen: Göttingen University Press.
- \_\_\_\_\_ (2019b). Rapid human-driven undermining of atoll island capacity to adjust to ocean climate-related pressures. *Scientific Reports*, vol. 9, art. 15129.
- Duvat, Virginie K.E., and Valentin Pillet (2017). Shoreline changes in reef islands of the Central Pacific: Takapoto Atoll, Northern Tuamotu, French Polynesia. *Geomorphology*, vol. 282, pp. 96–118.
- Eakin, C. Mark, and others (2019). The 2014–2017 global-scale coral bleaching event: insights and impacts. *Coral Reefs*, vol. 38, No. 4, pp. 539–545.
- Esteban, Miguel, and others (2018). Adaptation to sea level rise on low coral islands: lessons from recent events. *Ocean & Coastal Management*, vol. 168, pp. 35–40.
- Evangelista, H., and others (2018). Climatic constraints on growth rate and geochemistry (Sr/Ca and U/Ca) of the coral *Siderastrea stellata* in the Southwest Equatorial Atlantic (Rocas Atoll, Brazil). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol. 19, No. 3, pp. 772–786.
- Eyre, Bradley D., and others (2018). Coral reefs will transition to net dissolving before end of century. *Science*, vol. 359, No. 6378, pp. 908–911.
- Ford, Murray R., and others (2018). Inundation of a low-lying urban atoll island: Majuro, Marshall Islands. *Natural Hazards*, vol. 91, No. 3, pp. 1273–1297.
- Ford, Murray R., and Paul S. Kench (2015). Multi-decadal shoreline changes in response to sea level rise in the Marshall Islands. *Anthropocene*, vol. 11, pp. 14–24.
- Fujita, Masafumi, and others (2013). Anthropogenic impacts on water quality of the lagoonal coast of Fongafale Islet, Funafuti Atoll, Tuvalu. *Sustainability Science*, vol. 8, No. 3, pp. 381–390.
- Fujita, Masafumi, and others (2014). Heavy metal contamination of coastal lagoon sediments: Fongafale Islet, Funafuti Atoll, Tuvalu. *Chemosphere*, vol. 95, pp. 628–634.
- Garcin, Manuel, and others (2016). Lagoon islets as indicators of recent environmental changes in the South Pacific—The New Caledonian example. *Continental Shelf Research*, vol. 122, pp. 120–140.
- Gesch, Dean, and others (2020). Inundation Exposure Assessment for Majuro Atoll, Republic of the Marshall Islands Using A High-Accuracy Digital Elevation Model. *Remote Sensing*, vol. 12, No. 1, art. 154.
- Gherardi, D.F.M., and D.W.J. Bosence (2005). Late Holocene reef growth and relative sea level changes in Atol das Rocas, equatorial South Atlantic. *Coral Reefs*, vol. 24, No. 2, pp. 264–272.
- Gillespie, Rosemary G., and others (2008). Biodiversity dynamics in isolated island communities: interaction between natural and human-mediated processes. *Molecular Ecology*, vol. 17, No. 1, pp. 45–57.
- Goldberg, Walter M. (2016). Atolls of the world: Revisiting the original checklist. *Atoll Research Bulletin*, vol. 610, pp. 1–47.
- Gulley, J.D., and others (2016). Sea level rise and inundation of island interiors: Assessing impacts of lake formation and evaporation on water resources in arid climates. *Geophysical Research Letters*, vol. 43, No. 18, pp. 9712–9719.

- Hamylton, Sarah, and Holly East (2012). A Geospatial Appraisal of Ecological and Geomorphic Change on Diego Garcia Atoll, Chagos Islands (British Indian Ocean Territory). *Remote Sensing*, vol. 4, No. 11, pp. 3444–3461.
- Hamylton, Sarah M., and others (2016). Linking pattern to process in reef sediment dynamics at Lady Musgrave Island, southern Great Barrier Reef. *Sedimentology*, vol. 63, No. 6, pp. 1634–1650.
- Harris, Daniel L., and others (2015). Late Holocene sea level fall and turn-off of reef flat carbonate production: Rethinking bucket fill and coral reef growth models. *Geology*, vol. 43, No. 2, pp. 175–178.
- Head, Catherine E.I., and others (2019). Coral bleaching impacts from back-to-back 2015–2016 thermal anomalies in the remote central Indian Ocean. *Coral Reefs*, vol. 38, No. 4, pp. 605–618.
- Hoeke, Ron K., and others (2013). Widespread inundation of Pacific islands triggered by distant-source wind-waves. *Global and Planetary Change*, vol. 108, pp. 128–138.
- Holland, Greg, and Cindy Bruyere (2014). Recent intense hurricane response to global climate change. *Climate Dynamics*, vol. 42, Nos. 3–4, pp. 617–627.
- Huang, Ryan M., and others (2017). Sooty tern (*Onychoprion fuscatus*) survival, oil spills, shrimp fisheries, and hurricanes. *PeerJ*, vol. 5, e3287.
- Hughes, Terry P., and others (2018). Spatial and temporal patterns of mass bleaching of corals in the Anthropocene. *Science*, vol. 359, No. 6371, pp. 80–83.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) (2018). *The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Asia and the Pacific*. Karki, M., and others (eds). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 612 pages.
- Jamero, Laurice, and others (2017). Small island communities in the Philippines prefer local measures to relocation in response to sea level rise. *Nature Climate Change*, vol. 7, pp. 581–586
- Jamero, Laurice, and others (2019). In-situ adaptation against climate change can enable relocation of impoverished small islands. *Marine Policy*, vol. 108, art. 103614,
- Jeanson, Matthieu, and others (2014). Morphodynamic characterization of beaches on a Pacific atoll island: Tetiaroa, French Polynesia. *Journal of Coastal Research*, vol. 70, special issue No. 1, pp. 176–181.
- Kayanne, Hajime, and others (2016). Eco-geomorphic processes that maintain a small coral reef island: Ballast Island in the Ryukyu Islands, Japan. *Geomorphology*, vol. 271, pp. 84–93.
- Kelman, Ilan (2018). Islandness within climate change narratives of small island developing states (SIDS). *Island Studies Journal*, vol. 13, No. 1, pp. 149–166.
- Kench, Paul S., and others (2015). Coral islands defy sea level rise over the past century: Records from a central Pacific atoll. *Geology*, vol. 43, No. 6, pp. 515–518.
- Kench, Paul S., and others (2018). Patterns of island change and persistence offer alternate adaptation pathways for atoll nations. *Nature Communications*, vol. 9, No. 1, pp. 1–7.
- Le Cozannet, Gonéri, and others (2013). Exploring the relation between sea level rise and shoreline erosion using sea level reconstructions: an example in French Polynesia. *Journal of Coastal Research*, vol. 65, special issue No. 2, pp. 2137–2142.
- Leão, Z.M.A.N., and others (2008). Coral bleaching in Bahia reefs and its relation with sea surface temperature anomalies. *Biota Neotropica*, vol. 8, No. 3, pp. 1–14.
- Leon, Javier X., and others (2015). Supporting local and traditional knowledge with science for adaptation to climate change: lessons learned from participatory three-dimensional modeling in BoeBoe, Solomon Islands. *Coastal Management*, vol. 43, No. 4, pp. 424–438.
- Lowe, Meagan K., and others (2019). Assessing Reef-Island Shoreline Change Using UAV-Derived Orthomosaics and Digital Surface Models. *Drones*, vol. 3, No. 2, p. 44.

- Magnan, A.K., and others (2019). Cross-Chapter Box 9: Integrative cross-chapter box on low-lying islands and coasts. In *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, ed. IPCC, pp. 657–74.
- Mallin, Marc-Andrej Felix (2018). From sea level rise to seabed grabbing: The political economy of climate change in Kiribati. *Marine Policy*, vol. 97, pp. 244–252.
- Mann, Thomas, and others (2016). A geomorphic interpretation of shoreline change rates on reef islands. *Journal of Coastal Research*, vol. 32, No. 3, pp. 500–507.
- Marshall, Paul, and others (2017). *Maldives Coral Bleaching Response Plan*. Marine Research Centre.
- Masselink, Gerd, and others (2019). Physical and Numerical Modeling of Infragravity Wave Generation and Transformation on Coral Reef Platforms. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 124, No. 3, pp. 1410–1433.
- Masselink, Gerd, and others (2020). Coral reef islands can accrete vertically in response to sea level rise. *Science Advances*, vol. 6, No. 24, eaay3656.
- McCubbin, Sandra G., and others (2017). Social-ecological change and implications for food security in Funafuti, Tuvalu. *Ecology and Society*, vol. 22, No. 1.
- McCubbin, Sandra, and others (2015). Where does climate fit? Vulnerability to climate change in the context of multiple stressors in Funafuti, Tuvalu. *Global Environmental Change*, vol. 30, pp. 43–55.
- McLean, Roger, and Paul Kench (2015). Destruction or persistence of coral atoll islands in the face of 20th and 21st century sea level rise? *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, vol. 6, No. 5, pp. 445–463.
- McNamara, Karen E., and others (2017). Identification of limits and barriers to climate change adaptation: case study of two islands in Torres Strait, Australia. *Geographical Research*, vol. 55, No. 4, pp. 438–455.
- Morgan, Kyle M., and Paul S. Kench (2016). Reef to island sediment connections on a Maldivian carbonate platform: using benthic ecology and biosedimentary depositional facies to examine island-building potential. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 41, No. 13, pp. 1815–1825.
- \_\_\_\_\_ (2017). New rates of Indian Ocean carbonate production by encrusting coral reef calcifiers: Periodic expansions following disturbance influence reef-building and recovery. *Marine Geology*, vol. 390, pp. 72–79.
- Mortreux, Colette, and Jon Barnett (2009). Climate change, migration and adaptation in Funafuti, Tuvalu. *Global Environmental Change*, vol. 19, No. 1, pp. 105–112.
- Naylor, Alexander K. (2015). Island morphology, reef resources, and development paths in the Maldives. *Progress in Physical Geography*, vol. 39, No. 6, pp. 728–749.
- Nunn, Patrick D. (2016). Sea levels, shorelines and settlements on Pacific reef islands. *Archaeology in Oceania*, vol. 51, No. 2, pp. 91–98.
- Nunn, Patrick D., and others (2017). Identifying and assessing evidence for recent shoreline change attributable to uncommonly rapid sea level rise in Pohnpei, Federated States of Micronesia, Northwest Pacific Ocean. *Journal of Coastal Conservation*, vol. 21, No. 6, pp. 719–730.
- Nunn, Patrick D., and others (2019). Origin, development and prospects of sand islands off the north coast of Viti Levu Island, Fiji, Southwest Pacific. *Journal of Coastal Conservation*, vol. 23, No. 6, pp. 1005–1018.
- Oberle, Ferdinand K.J., and others (2017). Atoll groundwater movement and its response to climatic and sea level fluctuations. *Water*, vol. 9, No. 9, art. 650.
- Obura, David O. (2020). The Sustainable Development Goals as an ocean narrative. *Marine Policy Journal*, submitted.

- Oppenheimer, Michael, and others (2019). Sea level rise and implications for low lying islands, coasts and communities.
- Ortiz, Alejandra C., and Andrew D. Ashton (2019). Exploring carbonate reef flat hydrodynamics and potential formation and growth mechanisms for motu. *Marine Geology*, vol. 412, pp. 173–186.
- Owen, S.D., and others (2016). Improving understanding of the spatial dimensions of biophysical change in atoll island countries and implications for island communities: A Marshall Islands' case study. *Applied Geography*, vol. 72, pp. 55–64.
- Pereira, N.S., and others (2010). Mapeamento geomorfológico e morfodinâmica do Atol das Rocas, Atlântico Sul. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, vol. 10, No. 3, pp. 331–345.
- Perry, Chris T., and others (2015a). Linking reef ecology to island building: Parrotfish identified as major producers of island-building sediment in the Maldives. *Geology*, vol. 43, No. 6, pp. 503–506.
- Perry, Chris T., and others (2015b). Remote coral reefs can sustain high growth potential and may match future sea level trends. *Scientific Reports*, vol. 5, art. 18289.
- Perry, Chris T., and others (2016). Sediment generation by *Halimeda* on atoll interior coral reefs of the southern Maldives: A census-based approach for estimating carbonate production by calcareous green algae. *Sedimentary Geology*, vol. 346, pp. 17–24.
- Perry, Chris T., and others (2017a). Terrigenous sediment-dominated reef platform infilling: an unexpected precursor to reef island formation and a test of the reef platform size–island age model in the Pacific. *Coral Reefs*, vol. 36, No. 3, pp. 1013–1021.
- Perry, Chris T., and others (2017b). Reef habitat type and spatial extent as interacting controls on platform-scale carbonate budgets. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 185.
- Perry, Chris T., and others (2018). Loss of coral reef growth capacity to track future increases in sea level. *Nature*, vol. 558, No. 7710, pp. 396–400.
- Pfeffer, Julia, and others (2017). Decoding the origins of vertical land motions observed today at coasts. *Geophysical Journal International*, vol. 210, No. 1, pp. 148–165.
- Purkis, Sam J., and others (2016). A half-century of coastline change in Diego Garcia–The largest atoll island in the Chagos. *Geomorphology*, vol. 261, pp. 282–298.
- Quataert, Ellen, and others (2015). The influence of coral reefs and climate change on wave-driven flooding of tropical coastlines. *Geophysical Research Letters*, vol. 42, No. 15, pp. 6407–6415.
- Riegl, Bernhard M., and others (2012). Human impact on atolls leads to coral loss and community homogenisation: a modeling study. *PloS One*, vol. 7, No. 6.
- Rotjan, Randi, and others (2014). Establishment, management, and maintenance of the phoenix islands protected area. *Advances in Marine Biology*, vol. 69, pp. 289–324. Elsevier.
- Russell, James C., and others (2017). Invasive alien species on islands: impacts, distribution, interactions and management. *Environmental Conservation*, vol. 44, No. 4, pp. 359–370.
- Ryan, Emma J., and others (2016). Multi-scale records of reef development and condition provide context for contemporary changes on inshore reefs. *Global and Planetary Change*, vol. 146, pp. 162–178.
- Shope, James Brandon, and Curt Storlazzi (2019). Assessing morphologic controls on atoll island along-shore sediment transport gradients due to future sea level rise. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 245.
- Shope, James B., and others (2016). Changes to extreme wave climates of islands within the Western Tropical Pacific throughout the 21st century under RCP 4.5 and RCP 8.5, with implications for island vulnerability and sustainability. *Global and Planetary Change*, vol. 141, pp. 25–38.
- Shope, James B., and others (2017). Projected atoll shoreline and run-up changes in response to sea level rise and varying large wave conditions at Wake and Midway Atolls, Northwestern Hawaiian Islands. *Geomorphology*, vol. 295, pp. 537–550.

- Smithers, S.G., and R.K. Hoeke (2014). Geomorphological impacts of high-latitude storm waves on low-latitude reef islands—Observations of the December 2008 event on Nukutoa, Takuu, Papua New Guinea. *Geomorphology*, vol. 222, pp. 106–121.
- Soares, Marcelo de Oliveira, and others (2011). Aspectos biogeomorfológicos do Atol das Rocas, Atlântico Sul Equatorial. *Brazilian Journal of Geology*, vol. 41, No. 1, pp. 85–94.
- Stojanov, Robert, and others (2017). Local perceptions of climate change impacts and migration patterns in Malé, Maldives. *The Geographical Journal*, vol. 183, No. 4, pp. 370–385.
- Storlazzi, Curt D., and others (2018). Most atolls will be uninhabitable by the mid-21st century because of sea level rise exacerbating wave-driven flooding. *Science Advances*, vol. 4, No. 4, eaap9741.
- Storlazzi, Curt D., and others (2015). Many atolls may be uninhabitable within decades due to climate change. *Scientific Reports*, vol. 5, art. 14546.
- Terry, James P., and Ting Fong May Chui (2012). Evaluating the fate of freshwater lenses on atoll islands after eustatic sea level rise and cyclone-driven inundation: A modelling approach. *Global and Planetary Change*, vol. 88, pp. 76–84.
- Testut, Laurent, and others (2016). Shoreline changes in a rising sea level context: The example of Grande Glorieuse, Scattered Islands, Western Indian Ocean. *Acta Oecologica*, vol. 72, pp. 110–119.
- Tuck, Megan E., and others (2018). Physical modelling of reef platform hydrodynamics. *Journal of Coastal Research*, vol. 85, special issue No. 1, pp. 491–495.
- Tuck, Megan E., and others (2019). Physical modelling of the response of reef islands to sea level rise. *Geology*, vol. 47, No. 9, pp. 803–806.
- United Nations (2017a). Chapter 7: Calcium carbonate production and contribution to coastal sediments. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2017b). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wadey, Matthew, and others (2017). Coastal flooding in the Maldives: an assessment of historic events and their implications. *Natural Hazards*, vol. 89, No.1, pp. 131–159.
- Walsh, Kevin J.E., and others (2016). Tropical cyclones and climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews-climate Change*, vol. 7, pp. 65–89.
- Werner, Adrian D., and others (2017). Hydrogeology and management of freshwater lenses on atoll islands: Review of current knowledge and research needs. *Journal of Hydrology*, vol. 551, pp. 819–844.
- Wong, Poh Poh (2018). Coastal Protection Measures—Case of Small Island Developing States to Address Sea level Rise. *Asian Journal of Environment & Ecology*, vol. 6, pp. 1–14.
- Yamamoto, Lilian, and Miguel Esteban (2017). Migration as an adaptation strategy for atoll island states. *International Migration*, vol. 55, No. 2, pp. 144–158.
- Yarlett, Robert T., and others (2018). Constraining species-size class variability in rates of parrotfish bioerosion on Maldivian coral reefs: Implications for regional-scale bioerosion estimates. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 590, pp. 155–169.

# 第 7D 章

## 热带和亚热带 珊瑚礁

撰稿人：Ian Butler (召集人)、Karen Evans (分章牵头成员)、Hazel Oxenford和Hiroya Yamano。



## 主旨要点

- 全球珊瑚覆盖面积持续减少, 主要原因是与气候变化有关的海洋水温升高, 以及开采活动、污染和沉积、新型珊瑚疾病和对珊瑚礁的物理破坏。
- 热浪、风暴、洪水和棘冠海星爆发引起的扰动频率增加, 导致两次扰动之间的恢复时间缩短。
- 对珊瑚礁提供的生态系统服务价值的认知正在提高, 不仅在直接经济惠益(市场使用价值)方面, 而且还在非有形使用(例如审美价值)方面, 都是如此。
- 仍然存在很大的知识差距, 特别是在珊瑚礁群落对气候变化的反应以及这些反应可能对人类利用珊瑚的方式造成的影响方面。
- 对未来状态的预测表明, 珊瑚丰度、珊瑚礁相关鱼类数量和珊瑚礁框架结构复杂度将继续下降。

## 1. 导言

本章针对《第一次世界海洋评估》(联合国, 2017年b)关于热带和亚热带珊瑚礁的第43章所载调查结果提供最新情况。这些最新情况可能与本《评估》其他章节(例如第4-10、13-15和25-27章)的内容有重叠或互相影响。因此, 需要结合本章阅读这些章节。

《第一次评估》第43章全面介绍了截至2010年全球珊瑚礁状况的许多方面, 当时珊瑚礁面积估计为249 713至284 300平方公里, 但被认定在过去100年中不断减少(联合国, 2017年a)。热带和亚热带珊瑚被确定为最脆弱的生态系统之一, 在“一切

照常”的碳排放情景下, 预计到2050年这些珊瑚礁可能达到功能性灭绝状态(政府间气候变化专门委员会(气专委), 2014年)。由于人口压力而加剧的人为冲击被确定为对珊瑚礁的主要威胁。这些冲击包括: 气候变化(例如海洋水温升高、海洋酸化和海平面上升)、开采活动(例如过度捕捞)、污染和沉积以及物理破坏。该章还确定了与上述压力因素(特别是气候变化)有关的其他压力因素, 包括珊瑚疾病和棘冠海星捕食。每种压力因素对珊瑚礁的影响程度在不同物种和区域之间存在很大差异。<sup>1</sup>

## 2. 2010-2020年期间环境变化情况介绍

自《第一次评估》的介绍以来, 全球珊瑚礁状况没有得到改善。近期全球海洋热浪事件(例如2014–2017年; Eakin等人, 2019年)造成热应力和相关白化现象, 从而导致珊瑚广泛死亡, 从此类事件中恢复的情况尚不确定(Leggat等人, 2019年; Hughes等人, 2017年a)。自《第一次评估》以来, 有报告称全球珊瑚礁生物多样性(例如鱼类)持续下降(Johnson等人, 2017年), 珊瑚礁的物种组成发生区域性变化(例如滨珊瑚占据优势地位)(Moritz等

人, 2018年)(另见下文第5节)。在过去30-40年, 全球珊瑚覆盖面积减少50-75%(Bruno等人, 2019年)。未受影响的珊瑚礁区域(即基本上没有受到直接人类活动影响的区域)很少, 大多数是在具有高度保护地位的区域(Jones等人, 2018年)。

世界各地珊瑚礁的持续退化仍然与人口增长和人为压力增加密切相关, 气候变化带来的叠加冲击甚至影响到偏远地区(例如贾维斯岛; Vargas-Ángel等人, 2019年)。主要威胁包括开采活动、

<sup>1</sup> 见A/66/298和A/66/298/Corr.1。

污染(包括径流、化学品)、沉积、物理破坏和人类引起的气候变化。尽管区域或局部努力将有助于减缓珊瑚覆盖面积的减少,但这些努力不太可能抵消气候变化造成的珊瑚损失(Bruno等人,2019年)。

在全球范围内,温室气体水平稳步上升(气专委,2018年;另见本《评估》第5章)。海洋水温升高的热点地区(例如澳大利亚、巴西、印度、马达加斯加和南非)正在出现(Fordyce等人,2019年;Kerr等人,2018年;Popova等人,2016年),导致生态系统发生重大变化,例如在澳大利亚,珊瑚已经取代海藻(Wernberg等人,2016年)。珊瑚群落方面的变化,包括产卵延迟或减少(Birkeland,2019年)以及珊瑚礁区域现在以大型藻类(Johns等人,2018年)或蓝藻(deBakker等人,2017年)占优势的情况,正在全球范围内出现(Hughes等人,2018年b)。随着海洋热浪发生率上升(Smale等人,2019年),珊瑚受到的热应力也在稳步增加(Lough等人,2018年)。2014年至2017年长达36个月的全球热浪导致全世界75%的珊瑚礁出现白化,30%的珊瑚礁因白化而死亡(Babcock等人,2019年;Eakin等人,2019年)。对某些珊瑚礁而言,这是首次记录到的白化事件(例如大堡礁南部离岸水域;Hughes等人,2017年)。在全球范围内,白化事件的发生频率上升幅

度过大,恢复情况还不确定(Hughes等人,2018年a)。

还有许多其他因素对全球珊瑚礁的质量和数量产生累积影响。海洋pH值稳步下降,珊瑚礁框架出现碳酸盐净损失(Albright等人,2016年;Kuffner等人,2019年;Steiner等人,2018年)。由于发生4级和5级大型风暴,对珊瑚礁的物理破坏正在增加(例如在大西洋地区;Murakami等人,2014年)。与风暴事件相关的洪水冲击程度严重,反复发生(Butler等人,2015年),各区域的恢复情况存在差异(Adjeroud等人,2018年;Holbrook等人,2018年)。全球各地的珊瑚疾病增多(Ruiz-Moreno等人,2012年),这一现象与热应力有关(Anyamba等人,2019年;Randall和van Woesik,2015年)。

在有一些地区,珊瑚礁茁壮成长(例如“亮点地区”;Cinner等人,2016年a;花园堤岸珊瑚礁;国家海洋和大气管理局(NOAA),2020年),正在取代其他生境(例如海藻森林)。随着升温加剧和洋流变强,珊瑚礁已延伸到高纬度地区,例子包括过去大约80年里日本的情况(Yamano等人,2011年;Kumagai等人,2018年)和过去20年里澳大利亚东部的情况(Baird等人,2012年;Booth和Sear,2018年)。

### 3. 经济和社会后果及(或)其他经济或社会变化介绍

约79个联合国会员国的海域内有珊瑚礁。对数以百万计的民众而言,珊瑚礁是通过捕捞活动获得收入和蛋白质的重要来源,是通过旅游业获得收入的主要来源,也是社会文化认同的基础(Cinner等人,2016年b;Kittinger等人,2012年)。2012年,来自珊瑚礁的商品和服务价值估计为9.9万亿美元(Costanza等人,2014年)。据估计,现在全球有多达5亿人受益于珊瑚礁提供的服务(Bruno等人,2019年),其中包括600万直接依赖珊瑚礁的渔民(Teh等人,2013年)。举例而言,中部美洲和珊瑚三角区各国旅游业、渔业和沿海开发每年带来的经济价值为201亿美元(联合国环境规划署(环境署)等,2018年)。在全球范围内,每公顷珊瑚礁的旅游

价值估计超过400 000美元,有些珊瑚礁的价值高达每公顷700万美元(Spalding等人,2017年)。

珊瑚礁对海岸防护很重要(价值为每年每公顷170 205美元),并可用于开采砂石(价值为每年每公顷22 000美元)(Costanza等人,2014年)。在美国,珊瑚礁每年在减少洪水风险方面产生的价值估计超过18 000条生命和18.05亿美元(Storlazzi等人,2019年)。全球范围内,珊瑚礁损失导致重大风暴中发生的洪灾增多,由此造成的额外成本估计为2 720亿美元(Beck等人,2018年)。在美国,珊瑚礁每年在个人经济活动方面避免超过6.99亿美元的间接损害,在防止工商业中断方面避免超过2.72亿美元的间接损害(Storlazzi等人,2019年)。

珊瑚礁对健康与福祉的价值远超传统经济估值(环境署等人, 2018年)。然而, 珊瑚礁与社会有着复杂的互动关系(Cinner等人, 2016年b), 很难为健康与福祉方面的惠益定出具体价值。在认知珊瑚礁养护的有效治理安排以及可持续利用的重要性方面取得进展(Aswani等人, 2015年; Turner等人, 2018年), 特别是在开发扩张速度快于治理安排的情况下(Eriksson等人, 2015年)。珊瑚礁的社区管理与国家或国际管理框架之间存在冲突。本地知识的增加有助于社区在珊瑚礁及其管理方面掌握主导权和控制权(例如夏威夷; Schemmel等人, 2016年; 所罗门群岛; Shaver等人, 2018年)。

## 4. 特定区域的主要变化及后果

### 4.1. 地中海

地中海的珊瑚礁区域属于亚热带和温带性质, 规模有限, 温带珊瑚礁的情况在本次评估第7章中介绍。随着温度和光照的增加, 一些珊瑚(例如大西洋枇杷珊瑚)的分布范围扩大, 丰度提高(Serrano等人, 2018年)。其他珊瑚的覆盖面积正在减少(例如石珊瑚; Chefaoui等人, 2017年), 原因是藻类(例如草皮性海藻和圆柱状蕨藻)取代珊瑚, 在珊瑚礁上占优势地位(Gatti等人, 2015年)。

### 4.2. 大西洋, 特别是大加勒比地区

总体而言, 加勒比地区有43%的珊瑚礁受到人类活动的严重或非常严重威胁(国际珊瑚礁倡议, 2018年a)。加勒比地区珊瑚礁面临的主要威胁与影响全球各地珊瑚的威胁相同(Mumby等人, 2014年), 包括珊瑚疾病迅速蔓延(van Woessik和Randall, 2017), 例如新型“石珊瑚组织丧失病”(Alvarez-Filip等人, 2019年)。狮子鱼(蓑鲉)这一入侵物种现在被认为是对本地珊瑚礁鱼类种群和整体珊瑚礁生物多样性的威胁(Chagaris等人, 2017年)。

自1970年代以来, 特别是在2015年和2016年(Banon等人, 2018年), 整个加勒比地区发生的海

洋热浪使活珊瑚覆盖率从70%以上减少到约14%(国际珊瑚礁倡议, 2018年a), 尽管存在很大区域差异(Jackson等人, 2014年; Cortés等人, 2018年; Muniz-Castillo等人, 2019年)。Van Hooijdonk等人(2014年)预测, 到2045-2050年期间, 加勒比地区大多数珊瑚礁每年都会发生白化, 到2050年, 海洋酸化可能导致碳酸盐饱和度降至维持珊瑚礁堆积所需的水平以下。Perry等人(2013年)报告说, 大加勒比地区有37%的珊瑚礁正在受到侵蚀, 只有26%的珊瑚礁正在堆积。据报告, 在海花生物圈保护区(Lizcano-Sandoval等人, 2019年), 山地星珊瑚等物种的钙化率和结构密度明显下降, 有强烈迹象表明, 佛罗里达的珊瑚礁总体上正在受到侵蚀(Kuffner等人, 2019年)。据信, 中西部大西洋的大型热带风暴(2017年、2018年和2019年的5次5级飓风和3次4级飓风)对整个地区的珊瑚礁造成大规模破坏, 尽管官方数据尚未公布。

在对整个加勒比地区的珊瑚礁健康状况进行标准化监测和报告方面取得进展(例如全球珊瑚礁监测网—加勒比, 2016年)。珊瑚礁报告卡显示, 过去10年来, 整个中美洲堡礁系统的珊瑚礁健康状况得到改善(McField等人, 2018年)。该区域加强努力, 改善对珊瑚礁及沿海环境的养护和可持续利用(加勒比挑战倡议, 2019年), 并使食草动

<sup>2</sup> 见大会第70/1号决议。

物得到恢复(国际珊瑚礁倡议, 2013年; Vallès和Oxenford, 2018年)。珊瑚礁恢复和复原工作已在大加勒比地区铺开, 并受益于新研究以及得到改进的育苗和外植技术(Lirman和Schopmeyer, 2016年; Baums等人, 2019年)。

### 4.3. 印度洋

自2010年以来, 除莫桑比克附近的珊瑚礁丰度大幅下降外, 整个印度洋的珊瑚礁丰度一直保持稳定(Obura等人, 2017年)。全球海洋热浪在整个区域造成大范围白化(例如马尔代夫; Cowburn等人, 2019年; 澳大利亚西北部; Keesing等人, 2019年)。在印度洋超过65%的珊瑚礁已被确定为因当地威胁而面临风险, 33%的珊瑚礁被认为面临高风险或极高风险(国际珊瑚礁倡议, 2018年b)。约有19%的珊瑚礁位于海洋保护区内。然而, 只有25%的海洋保护区被认为具有实效(国际珊瑚礁倡议, 2018年c), 许多保护区缺乏管理计划(Obura等人, 2017年)。

红海和波斯湾的珊瑚礁对高温以及白化造成的死亡表现出复原力(Howells等人, 2016), 尽管钙化率似乎在下降(Steiner等人, 2018)。有害捕捞做法(包括使用毒药和炸药)在印度洋的发生率正在减少(Obura等人, 2017), 但坦桑尼亚联合共和国等是明显的例外(Chevallier, 2017)。对珊瑚礁的其他直接影响正在增加, 例如渔民和旅游船抛锚造成破坏(Obura等人, 2017), 以及棘冠海星爆发(Saponari等人, 2018; Keesing等人, 2019年)。

### 4.4. 太平洋

在太平洋地区(包括生物多样性丰富的珊瑚三角区), 珊瑚礁面临的威胁与全球范围内的情况类

似(国际珊瑚礁倡议, 2018年c)。据报告, 从1999年到2016年, 珊瑚覆盖面积减少3%(国际珊瑚礁倡议, 2018年c), 自2015年以来, 整个区域发生大范围白化事件(Moritz等人, 2018年; Hughes等人, 2019年), 其影响直到现在才得到报告(Gorospe等人, 2018年)。

棘冠海星继续在太平洋各地爆发, 导致珊瑚数量减少, 例如在法属波利尼西亚(Kayal等人, 2012年)、墨西哥(Rodríguez-Vilalobos和Ayala-Bocos, 2018年)、日本(Yasuda, 2018年)、澳大利亚(MacNeil等人, 2017年)和其他太平洋岛屿(Moritz等人, 2018年)。

由于受到干扰, 整个太平洋地区珊瑚物种的生物多样性正在发生变化, 某些珊瑚物种(例如滨珊瑚)越来越占据优势地位, 而杯形珊瑚则出现显著衰退(Moritz等人, 2018年)。日本报告说, 珊瑚分布范围向极地方向扩大, 进入以前的海藻生境(Yamano等人, 2011年; Kumagai等人, 2018年)。2002年至2014年期间, 夏威夷岛西北侧周围的珊瑚礁覆盖率从44%左右下降到31%, 主要原因是与人类使用有关的活动(例如畜牧生产; 土地开发、毁林和城市无序扩张; 捕捞和娱乐)以及与气候有关的热浪(Gove等人, 2016年)。

约有88%的珊瑚礁受到来自人类活动的威胁, 特别是当地威胁(国际珊瑚礁倡议, 2018年c)。太平洋各地约有13%的珊瑚礁区域(8 960平方公里)位于保护区内, 其中20%已实施正式管理计划(Moritz等人, 2018年)。在位于东南亚区域各海洋保护区的珊瑚礁中, 只有30%被确定为已采取有效管理与合规措施(国际珊瑚礁倡议, 2018年c)。

## 5. 展望

从2010年到2019年, 珊瑚丰度和覆盖面积均有下降, 预计今后几十年将继续下降(Graham等人, 2017年)。自2015年以来发生的白化事件导致幼虫产量减少, 补充量下降, 这将导致恢复量减少

或恢复延迟(Hughes等人, 2018年b)。气候预测(另见第5和9章)表明, 到本世纪中叶, 世界上许多珊瑚礁每年都将出现与温度上升有关的白化(Hughes等人, 2018年b)。根据预测, 将出现的情况包括:

与风暴强度增加有关的侵蚀、沉积和营养物流动加剧(Walsh等人, 2016年; Vitousek等人, 2017年); 与氧气减少有关的死亡率增加(Nelson和Altieri, 2019年; Altieri等人, 2017年); 海平面上升导致珊瑚礁被淹没(Perry等人, 2018年; Storlazzi等人, 2019年)。深水区似乎不太可能成为珊瑚躲避高温的场所, 因为深水对高温提供的缓解只发生在一年中的某些时候, 而且只有某些物种能够耐受深水环境(Frade等人, 2018年)。未来的珊瑚群落很可能由对高温和白化具有抵抗力的少数物种占据优势地位(Moritz等人, 2018年; Birkeland, 2019年)。海洋酸化的影响在今后几十年应该会变得更加明显, 导致珊瑚礁不断被溶解(Eyre等人, 2018年; Birkeland, 2019年)。

由于海洋水温升高和暖流, 珊瑚礁预计将延伸到更高纬度地区(Wilson等人, 2016年、2018年)。然而, 珊瑚生境或物种的分布范围预计将限于高纬度和低纬度地区之间, 因为高纬度地区的霰石饱和度下降, 而低纬度地区水温升高, 会造成热应力(Matz等人, 2018年; Yara等人, 2012年)。

## 6. 知识方面仍然存在的主要差距

《第一次评估》中报告的主要知识差距包括有关珊瑚和依赖珊瑚的物种(例如鱼类)对气候变化的反应以及中光层珊瑚礁(位于30-150米深处较弱光照条件下的珊瑚礁)空间范围的认识。然而, 在消除这些差距方面已经取得进展, 目前的具体知识差距有所不同, 尽管仍然是在相同的宽泛领域。这些差距是: (a) 珊瑚礁群落对气候变化的反应; (b) 珊瑚礁的社会经济价值; (c) 中光层珊瑚礁的分布和生态。

仍需进一步认知珊瑚礁群落对气候变化的反应, 尽管在珊瑚适应变化方面正在取得进展(例如Dziedzic等人, 2019年)。在珊瑚礁对海洋酸化的反应方面认知仍然有限(Morais等人, 2018年), 由于对珊瑚礁净生长和侵蚀量的测量不准确, 目前的认知很混乱。具体而言, 缺乏认识的方面包括: 海洋水温升高对珊瑚礁各分类群生命周期的冲击、与珊瑚礁相关的各主要分类群在神经感觉功能和

许多研究珊瑚礁的科学家认为, 温室气体和气候变化是未来珊瑚礁面临的主要风险(例如Beyer等人, 2018年; Rinkevich, 2019年)。为了应对珊瑚礁损失的现象, 正在改进珊瑚礁修复技术(van Oppen等人, 2017年), 并加以广泛运用, 现已取得一些成功(Bayraktarov等人, 2019年; Rinkevich等人, 2019年)。正在进一步开展调查, 以了解珊瑚对气候变化的反应, 并制定有助于珊瑚适应未来条件的方法(例如改变共生微藻多样性; Rinkevich, 2019年)。确定珊瑚礁风险包络的模拟方法可能有助于排定工作的轻重缓急, 以便把重点放在最具复原力、最有可能存活的珊瑚礁上(Beyer等人, 2018年)。在蓝色经济中, 支持养护和可持续利用海洋资源(特别是珊瑚礁)的创新可持续供资机制正在受到青睐(例如Deutz等人, 2018年)。

总体而言, 预计今后几十年珊瑚礁将持续损失, 这还将导致健康珊瑚礁带来的诸多社会经济惠益受到侵蚀。

新陈代谢上的变化以及其它压力因素(例如养分富集、沉积物输送量增加和过度捕捞)对珊瑚礁系统的累积影响。目前对珊瑚藻和微生物群落在珊瑚礁生态和健康中所发挥作用的认知有限(Cornwall等人, 2019年; Ricci等人, 2019年), 尽管微生物群和大型藻类丰度之间存在明显的季节性联系(Glasl等人, 2020年)。在我们对珊瑚礁及其对气候变化和其他压力因素(例如海洋含氧量下降和新出现污染物)的反应的认知方面, 也存在重大地域差距。对西南大西洋海域珊瑚礁群落和深水珊瑚礁群落的介绍很少(Loya等人, 2016年; Morais等人, 2018年)。需要进一步获得资料, 以确定珊瑚疾病的机制及其传播方式, 特别是疾病与珊瑚白化事件和水质不良的关系。

关于珊瑚礁的社会经济价值, 缺乏对珊瑚礁在地方和国家两级提供的生态系统服务所实现经济价值的有力评价, 因此在发展项目的成本效益

分析中没有适当考虑其价值。在增强珊瑚礁复原力(包括珊瑚修复)的管理工具和努力的有效性方面,还存在更多知识差距(Boström-Einarsson等人,2020年)。

最后,有新发现的证据表明,中光层珊瑚礁广泛分布(例如Baker等人,2016年)于大西洋以外地区(Loya等人,2016年),需要获取关于其生物多样性和生态功能的进一步信息。

## 7. 能力建设方面仍然存在的主要差距

《第一次评估》确定了地方、国家和区域各级的能力建设差距。大多数发展中国家仍然存在这些差距,特别是缺乏合格的技术人员和研究人员,这一情况限制了对珊瑚礁的监测和管理,因此也限制了发现长期变化和应对变化的能力。在开发监测珊瑚礁系统的新技术方面有了很大改进(Bayley和Mogg,2019年;Hedley等人,2016年),但当地利用和应用此类技术的能力有限(例如Díaz等人,2015年;Timpote等人,2018年)。需要在地方

和全球两级提高实施适应战略以应对气候变化的能力(Cinner等人,2018年),并建设适应性管理能力(Hoegh-Guldberg,2018年)。在管理和可持续利用不断扩大的珊瑚方面提高公众意识并建设能力,是高纬度地区一个新出现的问题。目前,珊瑚礁的复原能力有限,需要发展移植和养殖珊瑚(Kittinger等人,2016年;Van Oppen等人,2017年)以及维护珊瑚的能力。

## 参考资料

- Adjeroud, Mehdi, and others (2018). Recovery of coral assemblages despite acute and recurrent disturbances on a South Central Pacific reef. *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, art. 9680.
- Albright, Rebecca, and others (2016). Reversal of ocean acidification enhances net coral reef calcification. *Nature*, vol. 531, No. 7594, p. 362.
- Altieri, Andrew H., and others (2017). Tropical dead zones and mass mortalities on coral reefs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 114, No. 14, pp. 3660–3665.
- Alvarez-Filip, Lorenzo, and others (2019). A rapid spread of the Stony Coral Tissue Loss Disease outbreak in the Mexican Caribbean. *PeerJ Preprints*, vol. 7, e27893v1.
- Anyamba, Assaf, and others (2019). Global Disease outbreaks Associated with the 2015–2016 El Niño event. *Scientific Reports*, vol. 9, No. 1, art. 1930.
- Aswani, Shankar, and others (2015). Scientific frontiers in the management of coral reefs. *Frontiers in Marine Science*, vol. 2, art. 50.
- Babcock, Russell C., and others (2019). Severe continental-scale impacts of climate change are happening now: Extreme climate events impact marine habitat forming communities along 45% of Australia's coast. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 411.
- Baird, A.H., and others (2012). Pole-ward range expansion of *Acropora* spp. along the east coast of Australia. *Coral Reefs*, vol. 31, No. 4, pp. 1063–1063.
- Baker, E., and others (2016) *Mesophotic coral ecosystems—a lifeboat for coral reefs?* United Nations Environment Programme and GRID-Arendal.
- Banon, Ysabel, and others (2018). Thermal Stress and Bleaching in Coral Reef Communities during the 2014–2016 Caribbean Bleaching Event. In *AGU Fall Meeting Abstracts*.

- Baums, Iliana B., and others (2019). Considerations for maximizing the adaptive potential of restored coral populations in the western Atlantic. *Ecological Applications*, vol. 29, No. 8, e01978. 10.1002/eap.1978
- Bayley, Daniel T.I., and Andrew O.M. Mogg (2019). New advances in benthic monitoring technology and methodology. In *World Seas: An Environmental Evaluation*, pp. 121–132. Elsevier.
- Bayraktarov, Elisa, and others (2019). Motivations, success and cost of coral reef restoration. *Restoration Ecology*.
- Beck, Michael W., and others (2018). The global flood protection savings provided by coral reefs. *Nature Communications*, vol. 9, No. 1, art. 2186.
- Beyer, Hawthorne L., and others (2018). Risk-sensitive planning for conserving coral reefs under rapid climate change. *Conservation Letters*, vol. 11, e12587.
- Birkeland, Charles (2019). Global status of coral reefs: in combination, disturbances and stressors become ratchets. In *World Seas: An Environmental Evaluation*, pp. 35–56. Elsevier.
- Booth, David J., and John Sear (2018). Coral expansion in Sydney and associated coral-reef fishes. *Coral Reefs*, vol. 37, No. 4, pp. 995–995.
- Boström-Einarsson, Lisa, and others (2020). Coral restoration – A systematic review of current methods, successes, failures and future directions. *PLoS ONE*, vol. 15, e0226631.
- Bruno, John F., and others (2019). Climate change, coral loss, and the curious case of the parrotfish paradigm: Why don't marine protected areas improve reef resilience? *Annual Review of Marine Science*, vol. 11, pp. 307–334.
- Butler, I.R., and others (2015). The cumulative impacts of repeated heavy rainfall, flooding and altered water quality on the high-latitude coral reefs of Hervey Bay, Queensland, Australia. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 96, Nos. 1–2, pp. 356–367.
- Caribbean Challenge Initiative (CCI) (2019). *Factsheet and Overview: Caribbean Challenge Initiative*. [www.caribbeanbiodiversityfund.org/pdf/CCI\\_Overview\\_factSheet\\_HighRes.pdf](http://www.caribbeanbiodiversityfund.org/pdf/CCI_Overview_factSheet_HighRes.pdf).
- Chagaris, David, and others (2017) An ecosystem-based approach to evaluating impacts and management of invasive lionfish. *Fisheries*, vol. 42, No.8, pp. 421–431, <https://doi.org/10.1080/03632415.2017.1340273>.
- Chefaoui, Rosa M., and others (2017). Environmental drivers of distribution and reef development of the Mediterranean coral *Cladocora caespitosa*. *Coral Reefs*, vol. 36, No. 4, pp. 1195–1209.
- Chevallier, Romy (2017). Safeguarding Tanzania's Coral Reefs: The Case of Illegal Blast Fishing.
- Cinner, Joshua E., and others (2016a). Bright Spots among the World's Coral Reefs. *Nature*, vol. 535, p. 416.
- \_\_\_\_\_ (2016b). A Framework for Understanding Climate Change Impacts on Coral Reef Social–Ecological Systems. *Regional Environmental Change*, vol. 16, No. 4, pp. 1133–1146.
- \_\_\_\_\_ (2018). Building Adaptive Capacity to Climate Change in Tropical Coastal Communities. *Nature Climate Change*, vol. 8, No. 2, p. 117.
- Cornwall, Christopher Edward, and others (2019). Impacts of ocean warming on coralline algae: knowledge gaps and key recommendations for future research. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 186.
- Cortés, Jorge, and others (2018). The CARICOMP Network of Caribbean Marine Laboratories (1985–2007): History, Key Findings and Lessons Learned. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 519.
- Costanza, Robert, and others (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, vol. 26, pp. 152–158.
- Cowburn, Benjamin, and others (2019). Evidence of coral bleaching avoidance, resistance and recovery in the Maldives during the 2016 mass-bleaching event. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 626, pp. 53–67.

- De Bakker, Didier M., and others (2017). 40 Years of benthic community change on the Caribbean reefs of Curaçao and Bonaire: the rise of slimy cyanobacterial mats. *Coral Reefs*, vol. 36, No. 2, pp. 355–367.
- Deutz, Andrew, and others (2018). *Innovative Finance for Resilient Coasts and Communities. A Briefing Paper Prepared by The Nature Conservancy and the United Nations Development Programme for Environment and Climate Change Canada.* [www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/Innovative\\_Finance\\_Resilient\\_Coasts\\_and\\_Communities.pdf](http://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/Innovative_Finance_Resilient_Coasts_and_Communities.pdf).
- Díaz, Sandra, and others (2015). The IPBES Conceptual Framework—connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 14, pp. 1–16.
- Dziedzic, Katherine E., and others (2019) Heritable variation in bleaching responses and its functional genomic basis in reef-building corals (*Orbicella faveolata*). *Molecular Ecology*, vol. 28, No. 9, pp. 2238–2253.
- Eakin, C. Mark, and others (2019). The 2014–2017 global-scale coral bleaching event: insights and impacts. *Coral Reefs*, vol. 38, pp. 539–545.
- Eriksson, Hampus and others (2015). Contagious exploitation of marine resources. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 13, No. 8, pp. 435–440.
- Eyre, Bradley D., and others (2018). Coral reefs will transition to net dissolving before end of century. *Science*, vol. 359, No. 6378, pp. 908–911.
- Fordyce, Alexander John, and others (2019). Marine heatwave hotspots in coral reef environments: physical drivers, ecophysiological outcomes and impact upon structural complexity. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, p. 498.
- Frade, Pedro R., and others (2018). Deep reefs of the Great Barrier Reef offer limited thermal refuge during mass coral bleaching. *Nature Communications*, vol. 9, No. 1, pp. 3447.
- Gatti, Giulia, and others (2015). Ecological change, sliding baselines and the importance of historical data: lessons from combing observational and quantitative data on a temperate reef over 70 years. *PloS One*, vol. 10, No. 2, e0118581.
- Global Coral Reef Monitoring Network (GCRMN)-Caribbean (2016). *GCRMN-Caribbean Guidelines for Coral Reef Biophysical Monitoring*. UNEP(DEPI)/CAR WG.38/INF.17.
- Glasl, B., and others (2020). Comparative genome-centric analysis reveals seasonal variation in the function of coral reef microbiomes. *ISME Journal*, vol. 14, pp. 1435–1450.
- Gorospe, Kelvin D., and others (2018). Local biomass baselines and the recovery potential for Hawaiian coral reef fish communities. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 162.
- Gove, Jamison M., and others (2016). West Hawai'i integrated ecosystem assessment: ecosystem trends and status report. Pacific Islands Fisheries Science Centre.
- Graham, Nicholas A.J., and others (2017). Human disruption of coral reef trophic structure. *Current Biology*, vol. 27, No. 2, pp. 231–236.
- Hedley, John D., and others (2016). Remote sensing of coral reefs for monitoring and management: a review. *Remote Sensing*, vol. 8, No. 2, art. 118.
- Hoegh-Guldberg, Ove, and others (2018). Securing a long-term future for coral reefs. *Trends in Ecology & Evolution*.
- Holbrook, Sally J., and others (2018). Recruitment drives spatial variation in recovery rates of resilient coral reefs. *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, art. 7338.
- Howells, Emily J., and others (2016). Host adaptation and unexpected symbiont partners enable reef-building corals to tolerate extreme temperatures. *Global Change Biology*, vol. 22, pp. 2702–2714. <https://doi.org/10.1111/gcb.13250>.
- Hughes, Terry P., and others (2017a). Coral reefs in the Anthropocene. *Nature*, vol. 546, No. 7656, p. 82.

- \_\_\_\_\_ (2017b). Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature*, vol. 543, No. 7645, p. 373.
- \_\_\_\_\_ (2018a). Global warming transforms coral reef assemblages. *Nature*, vol. 556, No. 7702, p. 492.
- \_\_\_\_\_ (2018b). Spatial and temporal patterns of mass bleaching of corals in the Anthropocene. *Science*, vol. 359, No. 6371, pp. 80–83.
- \_\_\_\_\_ (2019). Ecological memory modifies the cumulative impact of recurrent climate extremes. *Nature Climate Change*, vol. 9, pp. 40–43. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0351-2>.
- International Coral Reef Initiative (ICRI) (2013). *Recommendation on Addressing the Decline in Coral Reef Health throughout the Wider Caribbean: The Taking of Parrotfish and Similar Herbivores*. Adopted on 17 October 2013, at the 28th ICRI General Meeting (Belize City).
- \_\_\_\_\_ (2018a). *Caribbean Fact Sheet - Communicating the Economic and Social Importance of Coral Reefs for Caribbean Countries*. International Coral Reef Initiative.
- International Coral Reef Initiative (ICRI) (2018b). *Communicating the Economic and Social Importance of Coral Reefs for Indian Ocean Countries*. International Coral Reef Initiative.
- \_\_\_\_\_ (2018c). *South Asia Factsheet - Communicating the Economic and Social Importance of Coral Reefs for South East Asian Countries*. International Coral Reef Initiative.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014). *Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects: Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report* vol. 1. C.B Field, and others, eds. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379>.
- \_\_\_\_\_ (2018). Summary for policymakers. In *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty*. V. Masson-Delmotte, and others, eds., p. 24.
- Jackson, Jeremy, and others (2014). *Status and Trends of Caribbean Coral Reefs: 1970–2012*. Gland, Switzerland: Global Coral Reef Monitoring Network, ICUN.
- Johns, Kerryn A., and others (2018). Macroalgal feedbacks and substrate properties maintain a coral reef regime shift. *Ecosphere*, vol. 9, No. 7, art. e02349.
- Johnson, Christopher N., and others (2017). Biodiversity losses and conservation responses in the Anthropocene. *Science*, vol. 356, No. 6335, pp. 270–275.
- Jones, Kendall R., and others (2018). The location and protection status of Earth's diminishing marine wilderness. *Current Biology*, vol. 28, No. 15, pp. 2506–2512.
- Kayal, Mohsen, and others (2012). Predator Crown-of-Thorns Starfish (*Acanthaster planci*) Outbreak, Mass Mortality of Corals, and Cascading Effects on Reef Fish and Benthic Communities. *PLOS ONE*, vol. 7, No. 10, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047363>.
- Keesing, John K. and others (2019). Two time losers: selective feeding by crown-of-thorns starfish on corals most affected by successive coral-bleaching episodes on western Australian coral reefs. *Marine Biology*, vol. 166, No. 72. <https://doi.org/10.1007/s00227-019-3515-3>.
- Kerr, Rodrigo, and others (2018). Northern Antarctic Peninsula: a marine climate hotspot of rapid changes on ecosystems and ocean dynamics. *Deep-Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography*, vol. 149, pp. 4–9.
- Kittinger, John, and others (2012). Human dimensions of coral reef social-ecological systems. *Ecology and Society*, vol. 17, No. 4. <https://doi.org/10.5751/ES-05115-170417>.

- \_\_\_\_\_ (2016). Restoring ecosystems, restoring community: socioeconomic and cultural dimensions of a community-based coral reef restoration project. *Regional Environmental Change*, vol. 16, No. 2, pp. 301–313.
- Kuffner, Ilsa B., and others (2019). Improving estimates of coral reef construction and erosion with in situ measurements. *Limnology and Oceanography*. <https://doi.org/10.1002/lno.11184>.
- Kumagai, Naoki H., and others (2018). Ocean currents and herbivory drive macroalgae-to-coral community shift under climate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, No. 36, pp. 8990–8995.
- Leggat, William P., and others (2019). Rapid coral decay is associated with marine heatwave mortality events on reefs. *Current Biology*, vol. 29, No. 16, pp. 2723–2730. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.06.077>.
- Lirman, D. and S. Schopmeyer (2016). Ecological solutions to reef degradation: optimizing coral reef restoration in the Caribbean and Western Atlantic. *PeerJ* 4: e2597; <https://doi.org/10.7717/peerj.2597>.
- Lizcano-Sandoval, Luis David, and others (2019). Climate change and Atlantic Multidecadal Oscillation as drivers of recent declines in coral growth rates in the Southwestern Caribbean. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 38.
- Lough, J.M., and others (2018). Increasing thermal stress for tropical coral reefs: 1871–2017. *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, art. 6079.
- Loya, Yossi, and others (2016). *Theme Section on Mesophotic Coral Ecosystems: Advances in Knowledge and Future Perspectives*. *Coral Reefs*, vol. 35, pp. 1–9.
- MacNeil, M., and others (2017). Age and growth of an outbreaking *Acanthaster cf. solaris* population within the Great Barrier Reef. *Diversity*, vol. 9, No. 1, art. 18.
- Matz, Mikhail V., and others (2018) Potential and limits for rapid genetic adaptation to warming in a Great Barrier Reef coral. *PLOS Genetics*, 14(4), e1007220. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1007220>.
- Mcfield, Melanie, and others (2018). *2018 Mesoamerican Reef Report Card*. Healthy Reefs Initiative. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19679.36005>.
- Morais, Juliano, and others (2018). Research gaps of coral ecology in a changing world. *Marine Environmental Research*, vol. 140, pp. 243–250.
- Moritz, Charlotte, and others, eds. (2018). *Status and Trends of Coral Reefs of the Pacific*, Global Coral Reef Monitoring Network.
- Mumby, Peter J., and others (2014). *Towards Reef Resilience and Sustainable Livelihoods: A handbook for Caribbean coral reef managers*.
- Muniz-Castillo, Aaron Israel, and others (2019). Three decades of heat stress exposure in Caribbean coral reefs: a new regional delineation to enhance conservation. *Scientific Reports*, vol. 9, art. 11013. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47307-0>.
- Murakami, Hiroyuki, and others (2014). Contributing factors to the recent high level of accumulated cyclone energy (ACE) and power dissipation index (PDI) in the North Atlantic. *Journal of Climate*, vol. 27, No. 8, pp. 3023–3034.
- Nelson, Hannah R., and Andrew H. Altieri (2019). Oxygen: the universal currency on coral reefs. *Coral Reefs*, vol. 38, No. 2, pp. 177–198.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2020). *Coral reef condition: A status report for the Flower Garden Banks*. NOAA Coral Reef Conservation Program. Silver Spring, Maryland, United States.
- Obura, David, and others (2017). *Coral Reef Status Report for the Western Indian Ocean*. Global Coral Reef Monitoring Network (GCRMN)/International Coral Reef Initiative (ICRI), p. 144.

- Perry, Chris T., and others (2013). Caribbean-wide decline in carbonate production threatens coral reef growth. *Nature Communications*, vol. 4, No. 1, art. 1402.
- \_\_\_\_\_ (2018). Loss of coral reef growth capacity to track future increases in sea level. *Nature*, vol. 558, No. 7710, pp. 396–400.
- Popova, Ekaterina, and others (2016). From global to regional and back again: common climate stressors of marine ecosystems relevant for adaptation across five ocean warming hotspots. *Global Change Biology*, vol. 22, No. 6, pp. 2038–2053.
- Randall, Carly J., and Robert van Woesik (2015). Contemporary white-band disease in Caribbean corals driven by climate change. *Nature Climate Change*, vol. 5, No. 4, p. 375.
- Ricci, Francesco, and others (2019). Beneath the surface: community assembly and functions of the coral skeleton microbiome. *EcoEvoRxiv*. <https://doi.org/10.32942/osf.io/9yiw8>.
- Rinkevich, Baruch (2019). The active reef restoration toolbox is a vehicle for coral resilience and adaptation in a changing world. *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 7, No. 7, art. 201.
- Rodríguez-Vilalobos, J.C., and A. Ayala-Bocos (2018). Coral colonies in the eastern tropical Pacific: predation by *Acanthaster cf. solaris*. *Pacific Conservation Biology*, vol. 24, No. 4, pp. 419–420.
- Ruiz-Moreno, Diego, and others (2012). Global coral disease prevalence associated with sea temperature anomalies and local factors. *Diseases of Aquatic Organisms*, vol. 100, No. 3, pp. 249–261.
- Saponari, Luca, and others (2018). Monitoring and assessing a 2-year outbreak of the corallivorous seastar *Acanthaster planci* in Ari Atoll, Republic of Maldives. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 190, No. 6, art. 344.
- Schemmel, Eva, and others (2016). The codevelopment of coastal fisheries monitoring methods to support local management. *Ecology and Society*, vol. 21, No. 4.
- Serrano, Eduard, and others (2018). Demographics of the zooxanthellate coral *Oculina patagonica* along the Mediterranean Iberian coast in relation to environmental parameters. *Science of The Total Environment*, vol. 634, pp. 1580–1592.
- Shaver, Elizabeth C., and others (2018). Local management actions can increase coral resilience to thermally-induced bleaching. *Nature Ecology & Evolution*, vol. 2, No. 7, p. 1075.
- Smale, Dan A., and others (2019). Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services. *Nature Climate Change*, vol. 9, No. 4, p. 306.
- Spalding, Mark, and others (2017). Mapping the global value and distribution of coral reef tourism. *Marine Policy*, vol. 82, pp. 104–113.
- Steiner, Zvi, and others (2018). Water chemistry reveals a significant decline in coral calcification rates in the southern Red Sea. *Nature Communications*, vol. 9, No. 1, art. 3615.
- Storlazzi, Curt D., and others (2019). Rigorously valuing the role of US coral reefs in coastal hazard risk reduction. US Geological Survey.
- Teh, Louise S.L., and others (2013). A global estimate of the number of coral reef fishers. *PLoS One*, vol. 8, No. 6, e65397.
- Timpte, Malte, and others (2018). Engaging diverse experts in a global environmental assessment: participation in the first work programme of IPBES and opportunities for improvement. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, vol. 31, No. sup1, pp. S15–S37.
- Turner, Rachel A., and others (2018). Social fit of coral reef governance varies among individuals. *Conservation Letters*, vol. 11, No. 3, e12422.
- United Nations (2017a). Chapter 43: Tropical and sub-tropical coral reefs. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.

- \_\_\_\_\_ (2017b). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- United Nations Environment Programme (UNEP) and others (2018). *Plastics and Shallow Water Coral Reefs. Synthesis of the Science for Policy-Makers*. Nairobi: UNEP.
- Vallès, Henri, and Hazel A. Oxenford (2018). Simple family-level parrotfish indicators are robust to survey method. *Ecological Indicators*, vol. 85, pp. 244–252.
- Van Hooijdonk, Ruben, and others (2014). Opposite latitudinal gradients in projected ocean acidification and bleaching impacts on coral reefs. *Global Change Biology*, vol. 20, No.1, pp. 103–112.
- Van Oppen, Madeleine J.H., and others (2017). Shifting paradigms in restoration of the world's coral reefs. *Global Change Biology*, vol. 23, No. 9, pp. 3437–3448.
- Van Woessik, Robert, and Carly J. Randall (2017). Coral disease hotspots in the Caribbean. *Ecosphere*, vol. 8, No. 5, art. e01814.
- Vargas-Ángel, Bernardo, and others (2019). El Niño-associated catastrophic coral mortality at Jarvis Island, central Equatorial Pacific. *Coral Reefs* vol. 38, pp. 731–741.
- Vitousek, Sean, and others (2017). Doubling of coastal flooding frequency within decades due to sea-level rise. *Scientific Reports*, vol. 7, No. 1, art. 1399.
- Walsh, Kevin J.E., and others (2016). Tropical cyclones and climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, vol. 7, No. 1, pp. 65–89.
- Wernberg, Thomas, and others (2016). Climate-driven regime shift of a temperate marine ecosystem. *Science*, vol. 353, No. 6295, pp. 169–172.
- Wilson, Laura J., and others (2016). Climate-driven changes to ocean circulation and their inferred impacts on marine dispersal patterns. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 25, No. 8, pp. 923–939.
- Wilson, Shaun K., and others (2018). Climatic forcing and larval dispersal capabilities shape the replenishment of fishes and their habitat-forming biota on a tropical coral reef. *Ecology and Evolution*, vol. 8, No. 3, pp. 1918–1928.
- Yamano, Hiroya, and others (2011). Rapid poleward range expansion of tropical reef corals in response to rising sea surface temperatures. *Geophysical Research Letters*, vol. 38, No. 4.
- Yara, Yumiko, and others (2012). Ocean acidification limits temperature-induced poleward expansion of coral habitats around Japan. *Biogeosciences*, vol. 9, No. 12, pp. 4955–4968.
- Yasuda, Nina (2018). Distribution Expansion and Historical Population Outbreak Patterns of Crown-of-Thorns Starfish, *Acanthaster planci* sensu lato, in Japan from 1912 to 2015. In *Coral Reef Studies of Japan*, pp. 125–148. Springer, Singapore.

# 第 7E 章

# 冷水珊瑚

撰稿人: Erik Cordes (召集人)、Malcolm R. Clark、Karen Evans (分章牵头成员)、Sebastian Hennige和Georgios Kazanidis。



## 主旨要点

- 冷水珊瑚和海绵生态系统是世界各地大陆边缘和大洋中脊以及海山上的常见地物, 为众多物种提供了生境, 并有助于碳固存。
- 对冷水珊瑚生物学特征和分布情况的基本了解仍然局限于已考察过的少数深海区域。
- 捕捞、海上石油钻探、深海采矿、废物沉积和气候变化的威胁依然存在。遏制底拖网捕捞和建立海洋保护区的一些努力已取得成效。但冷水珊瑚具有生长缓慢、寿命较长的特性, 因此可能需要几十年到几世纪的时间才能从人为影响中恢复。
- 冷水珊瑚对高温和缺氧极为敏感, 但最近的研究表明, 它们对海洋酸化的韧性相对较强, 在营养资源充足的情况下尤其如此。
- 冷水珊瑚的丰度今后预计将有所下降, 导致可供具有重要商业价值的物种栖息的生境减少, 深水碳固存量降低, 潜在遗传资源消失, 并影响许多可持续发展目标, 特别是目标14, 也包括目标2、10和12。<sup>1</sup>

## 1. 导言和《第一次世界海洋评估》摘要

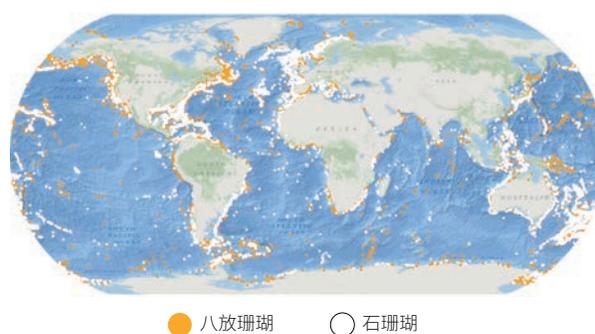
冷水珊瑚分布于全球各地(图一), 其形成的重要生境为大量丰富多样的相关生物提供支持。本章遵循《第一次世界海洋评估》(联合国, 2017年)确立的框架, 重点介绍200米深度以下的珊瑚。冷水珊瑚存在于世界各地大陆边缘、大洋中脊(第70章)和海山(第7L章)上有硬附着基的地点。这些生境是火山岛(在第7C章中涉及)、海底峡谷(第7J章)和峡湾斜坡, 以及海山和塔礁(第7L章)及洋脊和海台(第7O章)的组成部分。珊瑚生境可能位于冷渗漏和停止喷发的热液喷口(第7P章)边缘。冷水珊瑚、海绵和相关物种还通过海底—水层耦合, 直接与上覆的开阔洋(第7N章)相互作用。表层生产力构成绝大多数深海食物网的能量基础; 冷水珊瑚系统循环利用营养物质, 而这些营养物质又可通过涌升流和昼夜垂直迁移生物对营养物质的运送, 促进表层生产力。

全球生境模型预测建造珊瑚礁骨架的主要冷水石珊瑚(图二)的丰度可能在具备以下条件时达到最高:

- (a) 有珊瑚幼虫附着所需的硬附着基区域;
- (b) 水体含有过饱和的文石;
- (c) 深度小于1 500米;
- (d) 水团所含溶解氧浓度超过4毫升/升;

- (e) 水体盐度范围介于34至37个实用盐标之间;
- (f) 温度介于5摄氏度至10摄氏度之间(Davies和Guinotte, 2011年)。

**图一**  
深海珊瑚、包括八放珊瑚亚纲(柳珊瑚海扇、软珊瑚)和石珊瑚目(石珊瑚)的全球分布图



资料来源: 珊瑚物种分布记录来自Freiwald等人, 2017年, 可查阅<https://data.unep-wcmc.org/datasets/3>; 海洋生物多样性信息系统, 可查阅<https://obis.org>; 国家海洋和大气管理局深海珊瑚和海绵数据库, 可查阅[www.ncei.noaa.gov/maps/deep-sea-corals/mapSites.htm](http://www.ncei.noaa.gov/maps/deep-sea-corals/mapSites.htm)。地图由Jay Lunden博士友情提供。

注: 基础底图在ArcGIS Pro 2.3版中创建, 使用了从多个来源和数据提供方汇编的数据, 其中包括世界大洋深度图GEBCO\_08网格、国家海洋和大气管理局、国家地理、佳明公司、Here公司、Geonames.org和美国环境系统研究所公司, 以及其他几个提供方。

<sup>1</sup> 见大会第70/1号决议。

但多个类群的冷水珊瑚在深海中占据更宽的生态位(Quattrini等人, 2013, 2017)。冷水珊瑚通过快速沉降流(Davies等人, 2009)、地转流、内波、潮汐、泰勒柱(产生涌升流并提高食物浓度的漩涡; White等人, 2005)、中间和底部雾状层(Mienis等人, 2007)以及昼夜垂直迁移生物(Maier等人, 2019)获得食物。

冷水珊瑚生态系统为人类社区和福祉提供必要服务(另见第3节)。已证实的服务包括发现新的海洋遗传资源(第23章)、碳固存和重要美学价值(综述见Thurber等人, 2014)。冷水珊瑚最直接的功能是提供生境, 作为已被商业开发或可被商业开发的鱼

类种群的庇护所和(或)育苗场(Baillon等人, 2012年; Quattrini等人, 2012年; Roberts等人, 2009年)。联合国粮食及农业组织(联合国粮食及农业组织(粮农组织), 2009年)将一些类群的冷水珊瑚认定为脆弱海洋生态系统的指标物; 大会第59/25和61/105号决议呼吁采取养护措施, 保护脆弱海洋生态系统免受人为影响。丰富的生态位和充足的食物供应使一些冷水珊瑚礁成为生物多样性和生物量(包括数百种其他类型的固着生物和移动生物(Cordes等人, 2008年; Henry和Roberts, 2007年))以及碳循环和营养物质循环(Cathalot等人, 2015年; van Oevelen等人, 2009年)的“热点区域”。

## 2. 2010-2020年之间的环境变化说明

作为生长速度非常缓慢的固着生物, 冷水珊瑚及其建造的骨架(包括活珊瑚和死珊瑚骨架)极易受到底拖网捕捞、油气勘探和深海采矿的直接和间接影响。虽然目前冷水珊瑚面临的压力因素与《第一次评估》中确定的压力因素并无显著区别, 但压力的分布和大小有所改变。随着捕捞活动(第15章)继续在更深水域进行, 以及寻找油气田的活动(第19章)进一步向近海转移, 这些活动对冷水珊瑚园和珊瑚礁的影响更加频繁。此外, 与油气开采相关的碳氢化合物意外泄漏(第11章)可能对这些生境产生严重影响, 2010年墨西哥湾“深水地平线”号溢油事件突出说明了这一点(Fisher等人, 2014; White等人, 2012年a)。溢油点附近的各个八放珊瑚群体有超过50%受到溢油影响, 其健康和群体规模持续下降(Hsing等人, 2013年)。石油和分散剂覆盖比例不到50%的珊瑚群体已有所恢复, 尽管观察到一些枝条消失的现象(Hsing等人, 2013年)。

捕捞活动对冷水珊瑚的影响已得到充分认识, 特别是底拖网捕捞可产生严重的直接物理影响(如导致群体破裂或移位)和间接沉积影响(如造成个体或群体窒息)(综述见Clark等人, 2016)。对澳大利亚和新西兰近海海山地貌上各珊瑚种群进行的调查显示, 在停止拖网捕捞15年后, 几乎没有任何恢复迹象, 但在其他未发生过捕捞活动、受到保

护的海山上则有密集的珊瑚种群(Clark等人, 2019年; Williams等人, 2010年)。最近对夏威夷—皇帝海山链的研究表明, 在停止捕捞30年至40年后, 处于300米至600米深度的冷水珊瑚可能在一定程度上恢复生长(Baco等人, 2019年)。总体而言, 深海拖网捕捞的估计规模在最近几十年有所减小(例如, Victorero等人, 2018年)。

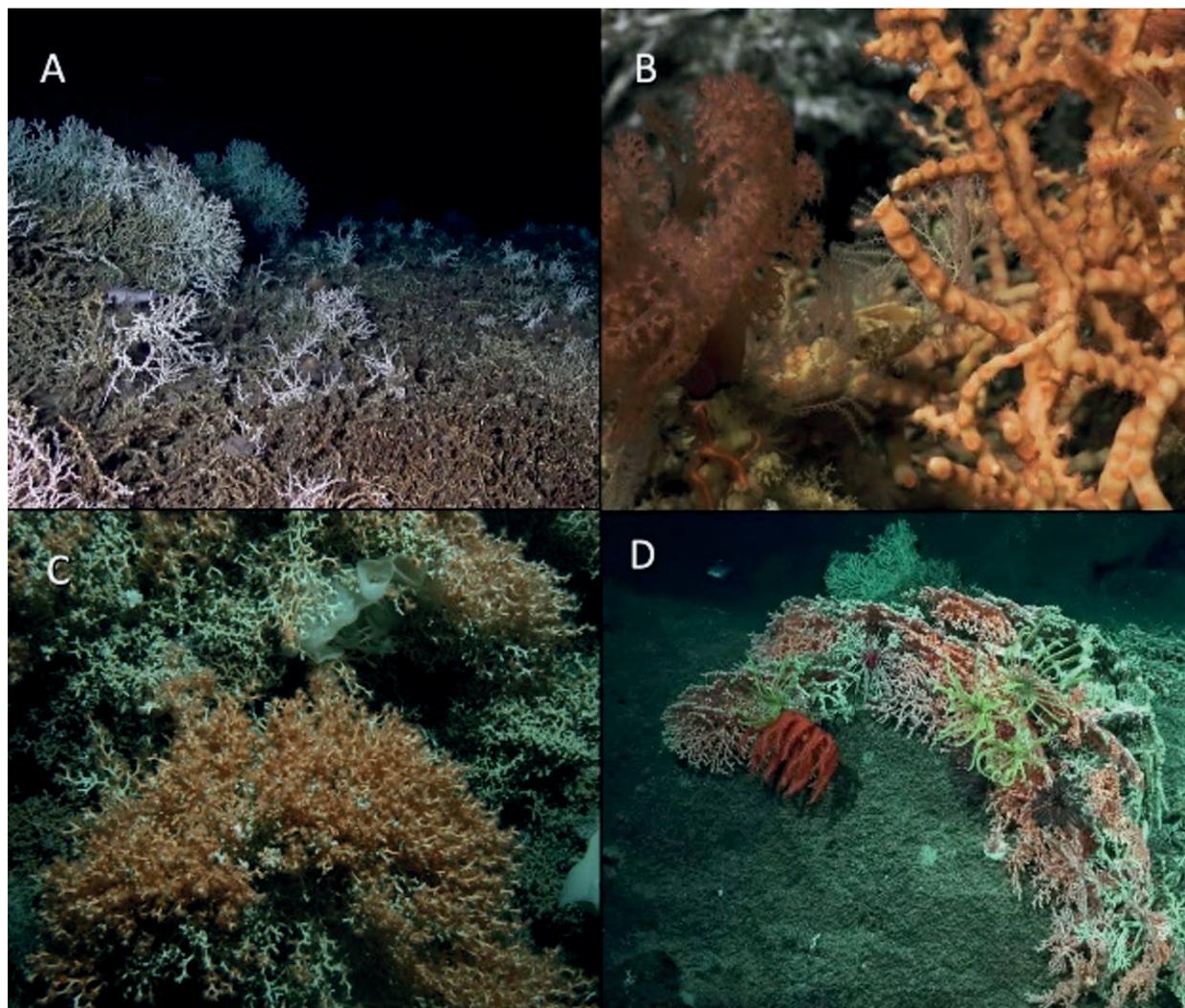
要预测冷水珊瑚种群对人为干扰的反应, 就必须了解其目前的分布情况和适应能力。研究者运用最近的预测性生境模型, 通过有效的迭代程序, 取得冷水珊瑚新发现(即Georgian等人, 2020), 并开发出新的建模技术(Robert等人, 2016; Diesing和Thorsnes, 2018)。最近的发现包括南极大陆架上形成生境的八放珊瑚种群(图三)(Ambroso等人, 2017)、北太平洋低pH值水体中的石珊瑚礁(Baco等人, 2017; Gómez等人, 2018), 以及摩洛哥大西洋海域大陆边缘在低溶解氧环境下存活的数千个冷水珊瑚丘(Wienberg等人, 2018)。

此外, 还必须了解影响冷水珊瑚分布的生殖因素, 以确定其重新形成群体的潜力。最近的研究表明, 多孔冠珊瑚幼虫以浮游生物为食, 附着前会在水体上层生活长达五周(Larsson等人, 2014年; Strömberg和Larsson, 2017年)。大片区域内的杯形珊瑚Desmophyllum dianthus (Miller和

Gunasekera, 2017年)具有相似的遗传结构,表明它们之间存在广泛联系(Holland等人, 2019年)。相反,造礁石珊瑚变异同孔葵珊瑚多变的遗传结构表明,无性生殖和局部补充可能相当普遍(Miller和Gunasekera, 2017年)。Zeng等人(2017年)报告了新西兰近海三种冷水珊瑚之间的遗传分化现

象,这主要是由区域和局部洋流决定(Dueñas等人, 2016年; Holland等人, 2019年)。对深水八放珊瑚进行数量有限的种群遗传学研究表明,种群间的基因流动仅限于生活在类似深度的种群,水团对幼虫扩散和遗传交流造成障碍(Baco和Shank, 2005年, Quattrini等人, 2015年)。

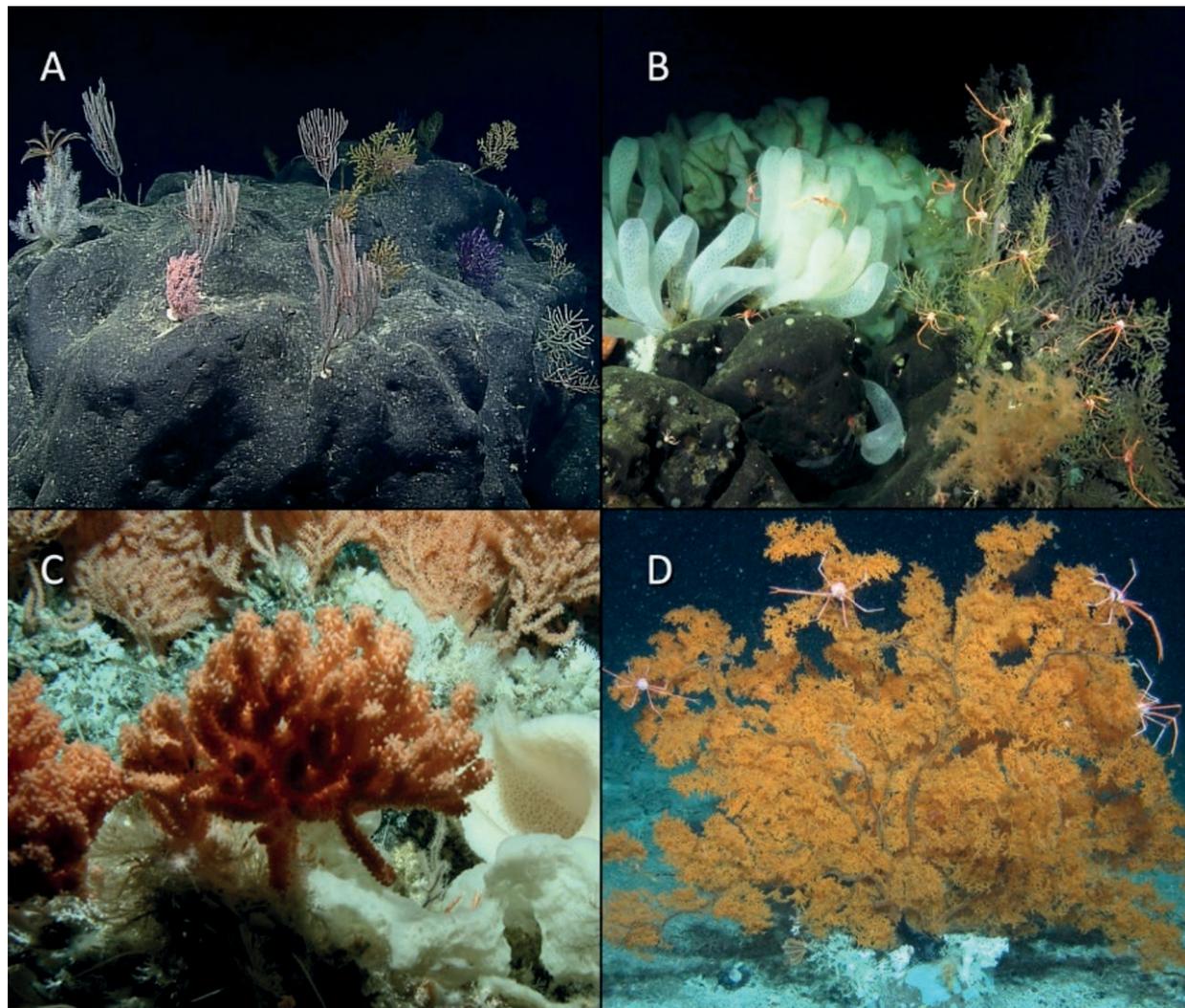
**图二**  
常见冷水石珊瑚



资料来源: A和B. 图片由Deep Search方案、美国海洋能源管理局、美国地质测量局以及国家海洋和大气管理局提供; 伍兹霍尔海洋研究所版权所有。C. 图片由新西兰水和大气国家研究所Malcolm Clark提供。D. 图片由Erik Cordes和施密特海洋研究所提供。

注: A. 多孔冠珊瑚和B. 多眼筛珊瑚和美国大西洋海岸的一种棘软珊瑚科八放珊瑚。C. 新西兰太平洋海域近海的变异同孔葵珊瑚。D. 中太平洋菲尼克斯群岛的Enallopsamia profunda。

图三  
具有代表性的冷水八放珊瑚群



资料来源：A. 图片由Erik Cordes和施密特海洋研究所提供。B. 图片由Erik Cordes和关于冷渗漏及其如何影响海洋的研究方案、美国国家科学基金会以及施密特海洋研究所提供。C. 图片由新西兰水和大气国家研究所Malcolm Clark提供。D. 图片由J. Murray Roberts和2012年海洋变化考察队提供。

注：A. 中太平洋菲尼克斯群岛极为多样的八放珊瑚(主要是糙珊瑚和丛柳珊瑚)和角珊瑚。B. 几种黄色和紫色的Paramuraicea属八放珊瑚(海扇)组成的群体, 以及橙色的柱臂虾科伴生蟹类和图片左侧的几种Euplectea属六放海绵(玻璃海绵)。C. 新西兰麦夸里洋脊的几种Paragorgia属八放珊瑚、花水母目水螅珊瑚和六放海绵。D. 东北大西洋某大型Leioopathes glaberrima群体。

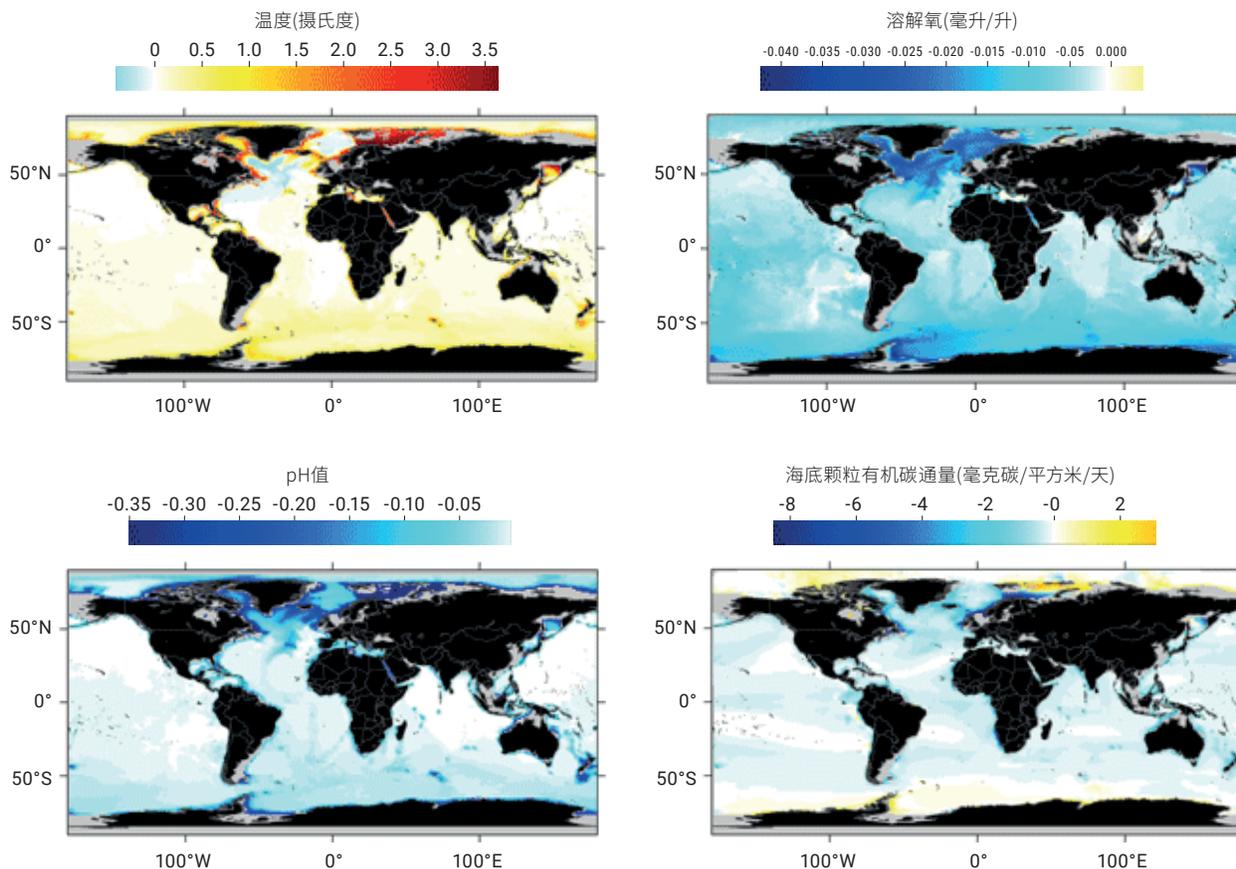
《第一次评估》认定长期观测站是主要的能力建设缺口。此类观测站的使用有所增加, 突出说明海底异质性(Pierdomenico等人, 2017年)、水动力学(Mienis等人, 2019年)和原位生长动力学(Lartaud等人, 2017)对局部尺度下冷水珊瑚生境的空间范围和形态(De Clippele等人, 2018年)以及区域尺

度下冷水珊瑚和海绵区系组成(van Soest和de Voogd, 2015年; Radice等人, 2016年)的影响。潮汐流和冷水珊瑚丘之间相互作用的模型表明, 表层食物颗粒的沉降流增强, 有助于底栖群落的增殖(Cyr等人, 2016年; Soetaert等人, 2016年)。研究者利用罗弗敦—西奥伦电缆式海洋观测站的数

据,<sup>2</sup>认定冬春季节的湍流混合以及温暖月份分层水体内垂直迁移的浮游动物是挪威大陆架上冷水珊瑚的食物供应机制; 这些数据还突出说明维

持海洋观测站的益处(Van Engeland等人, 2019年)。

**图四**  
模型预测的2100年深海海底环境变化情况



资料来源: Sweetman等人, 2017年。

气候变化通过全球海洋暖化、海洋酸化、缺氧、食物供应减少(图四)以及这些压力因素的累积影响, 继续对冷水珊瑚构成持久、普遍的威胁(Hebbeln等人, 2019年; Sweetman等人, 2017年; Wienberg和Titschack, 2017年)。目前, 许多分布在较浅水域的冷水珊瑚似乎已经接近温度耐受极限(Georgian等人, 2016年b; Morato等人, 2020年)。这一现象在海洋温度变化最快的区域可能尤为严重(Levin和Le Bris, 2015年; 另见本《评估》

第5章)。不断扩大的氧最小层可能对活珊瑚构成更为直接的威胁(Fink等人, 2012年; Lunden等人, 2014年; Tamborrino等人, 2019年)。

在分布范围的底端区域, 珊瑚似乎受到文石和方解石饱和状态的限制。但目前有一些报告称, 有石珊瑚在文石饱和水平线以下存活和生长(Baco等人, 2017年; Gómez等人, 2018年), 还有八放珊瑚在方解石饱和水平线附近或以下的深度持续存活(Quattrini等人, 2017年)。在实验室实验中, 处于不

<sup>2</sup> 可查阅<http://love.statoil.com>。

饱和和水体内的珊瑚群体可以继续钙化，尽管研究者注意到不同物种和种群反应各异(即Gammon等人，2018年；Georgian等人，2016年a)。冷水珊瑚对海洋酸化的不同反应表明，各物种对环境变化的敏感度不同，食物供应和能量分配对反应性质具有重要影响(Kurmann等人，2017年；Glazier等人，2020年)。珊瑚骨骼的组织覆盖率降低，可能导致珊瑚更易受到酸化影响，因为pH值降低可能会加剧死珊瑚骨骼的化学溶解(Hennige等人，2015年)，甚至提高生物侵蚀率(Schönberg等人，2017年)，而现存珊瑚礁结构中的很大一部分由死珊瑚骨骼构成。

实验室实验证明，当营养资源丰富时，冷水珊瑚对高温、低pH值和低溶解氧的耐受力提高。例如，研究者重点指出，定期向造礁石珊瑚多孔冠珊瑚输送食物对维持其代谢率具有重要意义(Georgian等人，2016年a；Maier等人，2019年)。最近的研究

表明，多孔冠珊瑚上寄居着多变的微生物组，该微生物组可能受到营养状况或环境条件的影响，而另一种造礁冷水珊瑚多眼筛珊瑚无论基本条件如何，都拥有更加稳定和一致的微生物组(Meistertzheim等人，2016年)。但尚未确定微生物群落的这种多变性在多大程度上使得珊瑚物种在自然环境下具有代谢可塑性。实验研究揭示了冷水珊瑚生态系统的主要贡献者海绵如何能够在食物有限的条件下增殖(Kazanidis和Witte，2016年；Kazanidis等人，2018年)。

新出现的威胁包括海洋垃圾(在海中各个深度的珊瑚体内均发现微塑料(另见第12章))(Taylor等人，2016年)，以及与深海采矿相关的物理干扰(另见第18章)(特别是在海山上以及活跃或停止喷发的热液矿床附近)。直接修复深海珊瑚群落的努力有可能使其更快地从干扰中恢复，尽管审查此类技术的试点研究数量有限(如Boch等人，2019年)。

### 3. 经济和社会影响

随着人类在深海的的活动范围逐渐扩大，冷水珊瑚与人类经济和社会利益的重叠程度越来越高。冷水珊瑚的分布情况因移除活动或差别性生存而发生的变化，以及健康和代谢情况的变化，将对许多可持续发展目标造成影响。除了与目标14相关的明显和直接变化外，冷水珊瑚和海绵作为开发药物产品所需的遗传资源，日益引发关注(Molinski等人，2009年；Rocha等人，2011年)，而物种和生境消失将对此造成影响。冷水珊瑚和海绵生境通过深海中的摄食和碳酸盐沉淀，主动进行碳固存(Kahn等人，2015年；Soetaert等人，2016年)。虽然对这些过程的发生速率所作的实证估计很少，但冷水珊瑚的碳固存可能有助于减缓全球气候变化(目标13)，包括海洋酸化(具体目标14.3)。

冷水珊瑚还为众多鱼类提供生境，其中包括许多重要的渔业物种，如剑旗鱼、橙鲷和笛鲷—石斑鱼复合种的鱼类(Ross和Quattrini，2009年；Morato等人，2020年)。冷水珊瑚生态系统还在深海循环利用营养物质，这些营养物质通过涌升流回

到表层，提高浅水层的生产力(White等人，2012年b；Soetaert等人，2016年)。因此，冷水珊瑚的分布情况和生态系统功能出现变化，将对目标2以及相关的持续粮食安全和利用海洋资源(目标12)造成影响。从冷水珊瑚获取营养或遗传资源的情况发生改变，将极大地影响小岛屿发展中国家和最不发达国家的经济利益，从而影响实现目标10。

最近的养护工作为冷水珊瑚和海绵生态系统提供了保护，其中包括欧洲联盟颁布的捕捞活动禁令、针对南北太平洋许多海山周边区域的捕捞活动禁令，以及建立保护区，如东北峡谷和海山国家海洋保护区、菲尼克斯群岛保护区和太平洋偏远岛屿国家海洋保护区。

## 4. 特定区域的主要变化和影响

虽然人类活动在全球范围内影响冷水珊瑚,但这些影响的程度存在区域差异。例如,墨西哥湾的深海油气活动较为普遍(Cordes等人,2016年),导致该区域面临更严重的潜在问题。加勒比海、南大西洋(巴西、纳米比亚和南非近海)和印度洋(莫桑比克和南非近海)的深水油气勘探活动正在扩张。这些扩张及其潜在的相关影响发生在开展和审查深海环境评估能力较弱的区域,今后的工作应侧重于增强这一能力(另见第8节)。深海底拖网捕捞往往只集中在世界某些区域(如西南太平洋、印度洋)。虽然近几十年来受影响的海底面积和总努力量有所减少,但此类渔业的分布范围有限,导致拖网捕捞区域内塔礁和海山上的各个冷水珊瑚礁和珊瑚群集中受到相关影响。

气候变化的影响存在区域差异,因此各区域的冷水珊瑚将受到不同影响。例如,涌升区(如北太平洋)的文石和方解石饱和深度相对较浅。因此,在石珊瑚靠近饱和和水平线生活的这些区域,各物种在相对较短的时间内面临更大的海洋酸化潜在风险(即Gómez等人,2018年)。海洋环流在气候变化

情境下预计发生的变化包括大西洋经向翻转环流减缓(Bryden等人,2005年; Thornalley等人,2018年),预计这将对北大西洋的温度、盐度和珊瑚食物供应产生影响。

与微塑料和深海采矿相关的新出现的影响也因区域而异。在有海底峡谷的区域,与微塑料相关的影响预计将更加严重,因为这些峡谷会加剧水下物质的截留和“导流”(Fabri等人,2019年; Pham等人,2014年)。富钴铁锰结壳位于海山和海底平顶山,其开采活动受不断发展的电池技术推动。近年来,国际海底管理局为西北太平洋和南大西洋的一些区域颁发了勘探许可,这些区域内的海山上分布有石珊瑚和八放珊瑚。在克拉里昂-克利珀顿断裂区开采多金属结核的租约已经签发,海底块状硫化物的开采可能很快就会在巴布亚新几内亚近海启动。这两个区域均有冷水珊瑚分布,包括寿命较长的黑角珊瑚物种(Boschen等人,2013年; Molodtsova和Opresko,2017年),因此从这类清除活动中恢复的时间相当漫长。

## 5. 展望

目前趋势表明,人类活动和全球海洋变化的影响将在深层水域继续增加。冷水珊瑚对此作出的反应可能包括分布范围改变、代谢和生理变化,或局部出现和可能大范围出现的遗传多样性降低现

象,甚至物种灭绝。所有这些反应都会对冷水珊瑚所提供的生态系统服务的分布和规模产生影响。实现可持续发展目标14.5,即保护至少10%的沿海和海洋区域,将大大改善冷水珊瑚的前景。

## 6. 知识方面仍然存在的主要差距

在最基本的层面上,虽然“海底2030”项目已取得巨大进展,而且现代多波束测深现已覆盖约20%的海底,但大部分海底仍未进行测绘(世界大洋深度图汇编组,2020年)。由于深海位置偏远,目前对冷水珊瑚及其形成的结构物以及关键环境驱动因素可变性的了解仍然非常有限。显然有必要监测环境变量(如温度、溶解氧和pH值),特别是在珊瑚物种生态位边缘附近的区域,如大片氧最小层的

边缘、文石饱和和水平线附近或温度已经较高的盆地(即地中海深处),以及冷水珊瑚生态系统受到人类活动累积压力因素威胁的区域。

冷水珊瑚对海洋条件变化的韧性仍然是主要的信息缺口。特别是对缺氧影响的研究与对海洋酸化的研究相比较为欠缺(Levin和Le Bris,2015年)。对大多数物种而言,与珊瑚顺应相关的长期能量代价,或适应所有海洋变化压力因素的潜力,以及两

方面结合的情况，仍有待确定。对死珊瑚骨架的研究在很大程度上并不充分，对生物侵蚀过程和海洋酸化影响的了解有限。

许多珊瑚物种仍然缺乏基本的生物学信息；同样，将其他物种用作“替代品”的做法是否适用也不明确。迄今开展的大多数实验研究的对象是“典型生物”多孔冠珊瑚。有必要对各类群的其他冷水珊瑚物种(即八放珊瑚、角珊瑚)和海绵等其他深水类群进行实验研究，以检验基于该典型生物得出的结论是否具有普遍性。生殖研究和年龄与生长研究正在受到研究者的更多关注(例如，Larcom等人，2014年)；“海洋景观遗传学”的使用日益增加(例如，Miller和Gunasekera，2017年)，可以帮助管理者采用更加综合的大范围管理备选方案。但必须在遗传学领域改进标记开发工作，为今后的珊瑚连通性研究和(或)分子分类学提供支持(Quattrini等人，2017年)。

物种分布和生境适宜性建模等建模方法的进展(Robert等人，2016年)、使用机器学习等新兴技术(Osterloff等人，2016年)、跨部门协作(Murray等人，2018年)，以及网上数据库内适当的数据存档，将提高数据可得性，减少处理时间，可以改进对冷水珊瑚及其相关结构状况的评估。通过

制定和使用视频采集和分析方面的标准化规程，克服与研究的标准化程度有限相关的挑战，将提高数据可比性，从而更好地从局部空间尺度上升到区域空间尺度(Davies等人，2017年；Girard和Fisher，2018年)。

虽然在开展人类工业活动之前，往往需要进行基线调查(Cordes等人，2016年)，但“深水地平线号”溢油事件突出说明，欠缺与冷水珊瑚和深海整体情况有关的局部信息。对这些生态系统状况的基线评估直到最近才得以确立，最早的基线来自1980年代；即使在考察程度相对较高的区域，仍在继续发现许多冷水珊瑚生境。此外，在进行调查时，生成的信息往往是专有信息，不能公开提供，从而对转移基线信息以及将其纳入进一步的调查和更广泛的建模工作造成限制。另外，设计调查可能只是为了寻找危害，而非确定环境特性或记录动物区系情况。因此，此类调查在增进对冷水珊瑚生境的了解方面可能缺乏潜力。但与工业活动相关、要求记录生境情况的规定正在增加。例如，在国际海底管理局主持下勘探“区域”<sup>3</sup>内深海矿物的承包者必须收集详细的基线数据，这或许可用于填补目前与深海生境相关的部分知识缺口。

## 7. 能力建设方面仍然存在的主要差距

收集评价深海生态系统状况和趋势所需的数据难度高，耗时长，成本高昂。亟需发展开展此类调查的能力，在发展中国家尤其如此。此类研究的基础是对所调查物种进行适当分类，这是正确评估种群规模和分布情况以及对各种影响进行恰当归因的必要条件。例如，根据Addamo等人(2016年)提出的证据，《世界海洋物种目录》数据库目前将标志性深海珊瑚物种多孔冠珊瑚列为Desmophyllum pertusum。但重新命名仍有争议，因为世界各地有大量种群几乎没有基因或基因组数据，而且Desmophyllum属的其他种全部为独居物种。正确识别冷水珊瑚本身就是能力缺口；近年来，受

过适当培训的分门学家人数有所下降，八放珊瑚分类方面尤其如此。

对于拥有丰富的冷水珊瑚且其分布范围与拟进行的工业活动重叠的许多区域而言，获得研究冷水珊瑚生境所需的工具(如多波束回声测深仪、载人和无人深水航行器)以及与使用这些工具有关的适当专业知识是重大缺口。需要向正在开展这些活动的国家提供必要工具和培训，收集适当的基线数据，以便评价工业活动对冷水珊瑚的影响，最好是将此类工具和培训设在这些国家。此外，对于已经产生影响的情况，世界各地几乎均无能力修复深海珊瑚。开发有效技术是关键的能力缺口，应当

<sup>3</sup> “区域”是指国家管辖范围以外的海床和洋底及其底土(《联合国海洋法公约》，第一条)。

是未来工作的主要焦点, 今后将日益重要。虽然能力建设缺口在发展中国家最为明显, 但深海位置偏远, 人类对其考察程度很低, 因此发达国家仍有许多能力和信息缺口。

## 参考资料

- Addamo, Anna Maria, and others. (2016). Merging scleractinian genera: the overwhelming genetic similarity between solitary *Desmophyllum* and colonial *Lophelia*. *BMC Evolutionary Biology*, vol. 16, No. 1, art. 108.
- Ambroso, Stefano, and others (2017). Pristine populations of habitat-forming gorgonian species on the Antarctic continental shelf. *Scientific Reports*, vol. 7, No. 1, art. 12251.
- Baco, Amy R., and Tim M. Shank (2005). Population genetic structure of the Hawaiian precious coral *Corallium lauense* (Octocorallia: Coralliidae) using microsatellites. In *Cold-water corals and ecosystems*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Baco, Amy R., and others (2017). Defying dissolution: discovery of deep-sea scleractinian coral reefs in the North Pacific. *Scientific Reports*, vol. 7, No. 1, art. 5436.
- Baco, Amy R., and others (2019). Amid fields of rubble, scars, and lost gear, signs of recovery observed on seamounts on 30-to 40-year time scales. *Science Advances*, vol. 5, No. 8, eaaw4513.
- Baillon, Sandrine, and others (2012). Deep cold-water corals as nurseries for fish larvae. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 10, No. 7, pp. 351–356.
- Boch, Charles A., and others (2019). Coral translocation as a method to restore impacted deep-sea coral communities. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 540.
- Boschen, Rachel E., and others (2013) Mining of deep-sea seafloor massive sulfides: a review of the deposits, their benthic communities, impacts from mining, regulatory frameworks and management strategies. *Ocean & Coastal Management*, vol. 84, pp. 54–67.
- Bryden, Harry L., and others (2005). Slowing of the Atlantic meridional overturning circulation at 25 N. *Nature*, vol. 438, No. 7068, pp. 655–657.
- Cathalot, Cécile, and others (2015). Cold-water coral reefs and adjacent sponge grounds: Hotspots of benthic respiration and organic carbon cycling in the deep sea. *Frontiers in Marine Science*, vol. 2, art. 37.
- Clark, Malcolm Ross, and others (2016). The impacts of deep-sea fisheries on benthic communities: a review. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 73, No. suppl. 1, pp. i51–i69.
- \_\_\_\_\_ (2019). Little evidence of benthic community resilience to bottom trawling on seamounts after 15 years. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 63.
- Cordes, Erik E., and others (2008). Coral communities of the deep Gulf of Mexico. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 55, No. 6, pp. 777–787.
- \_\_\_\_\_ (2016). Environmental impacts of the deep-water oil and gas industry: a review to guide management strategies. *Frontiers in Environmental Science*, vol. 4, art. 58. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00058>.
- Cyr, Frédéric, and others (2016). On the influence of cold-water coral mound size on flow hydrodynamics, and vice versa. *Geophysical Research Letters*, vol. 43, No. 2, pp. 775–783.
- Davies, Andrew J., and John M. Guinotte (2011). Global habitat suitability for framework-forming cold-water corals. *PloS One*, vol. 6, No. 4, e18483.
- Davies, Andrew J., and others (2009). Downwelling and deep-water bottom currents as food supply mechanisms to the cold-water coral *Lophelia pertusa* (Scleractinia) at the Mingulay Reef Complex. *Limnology and Oceanography*, vol. 54, No. 2, pp. 620–629.

- Davies, J.S., and others (2017). A new classification scheme of European cold-water coral habitats: implications for ecosystem-based management of the deep sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 145, pp. 102–109.
- De Clippele, L.H., and others (2018). The effect of local hydrodynamics on the spatial extent and morphology of cold-water coral habitats at Tisler Reef, Norway. *Coral Reefs*, vol. 37, No. 1, pp. 253–266.
- Diesing, Markus, and Terje Thorsnes (2018). *Mapping of cold-water coral carbonate mounds based on geomorphometric features: an object-based approach*. *Geosciences*, vol. 8, No. 2, art. 34.
- Dueñas, Luisa F., and others (2016). The Antarctic Circumpolar Current as a diversification trigger for deep-sea octocorals. *BMC Evolutionary Biology*, vol. 16, No. 1, art. 2.
- Fabri, Marie-Claire, and others (2019). Evaluating the ecological status of cold-water coral habitats using non-invasive methods: An example from Cassidaigne canyon, northwestern Mediterranean Sea. *Progress in Oceanography*, vol. 178, art. 102172.
- Fink, Hiske G., and others (2012). Oxygen control on Holocene cold-water coral development in the eastern Mediterranean Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 62, pp. 89–96.
- Fisher, Charles R., and others (2014). Footprint of *Deepwater Horizon* blowout impact to deep-water coral communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, No. 32, pp. 11744–11749.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2009). *International Guidelines for the Management of Deep-Sea Fisheries in the High Seas*. Rome.
- Freiwald, A., and others (2017). Global distribution of cold-water corals (version 5.0). Fifth update to the dataset in Freiwald and others (2004) by UNEP-WCMC, in collaboration with Andre Freiwald and John Guinotte. Cambridge (UK): United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre.
- Gammon, Malindi J., and others (2018). The physiological response of the deep-sea coral *Solenosmilia variabilis* to ocean acidification. *PeerJ*, vol. 6, e5236.
- General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) Compilation Group (2020). GEBCO 2020 Grid (<https://doi.org/10.5285/a29c5465-b138-234d-e053-6c86abc040b9>).
- Georgian, Samuel E., and others (2016a). Biogeographic variability in the physiological response of the cold-water coral *Lophelia pertusa* to ocean acidification. *Marine Ecology*, vol. 37, No. 6, pp. 1345–1359. <https://doi.org/10.1111/maec.12373>.
- Georgian, Samuel E., and others (2016b). Oceanographic patterns and carbonate chemistry in the vicinity of cold-water coral reefs in the Gulf of Mexico: Implications for resilience in a changing ocean. *Limnology and Oceanography*, vol. 61, No. 2, pp. 648–665.
- Georgian, Samuel E., and others (2020). Habitat suitability modelling to predict the spatial distribution of cold-water coral communities affected by the *Deepwater Horizon* oil spill. *Journal of Biogeography*.
- Girard, Fanny, and Charles R. Fisher (2018). Long-term impact of the *Deepwater Horizon* oil spill on deep-sea corals detected after seven years of monitoring. *Biological Conservation*, vol. 225, pp. 117–127.
- Glazier Amanda, and others (2020) Regulation of ion transport and energy metabolism enables certain coral genotypes to maintain calcification under experimental ocean acidification. *Molecular Ecology*, vol. 29, pp. 1657–1673.
- Gómez, Carlos E., and others (2018). Growth and feeding of deep-sea coral *Lophelia pertusa* from the California margin under simulated ocean acidification conditions. *PeerJ*, vol. 6, e5671.
- Hebbeln, Dierk, and others (2019). The fate of cold-water corals in a changing world: a geological perspective. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 119.
- Hennige, S.J., and others (2015). Hidden impacts of ocean acidification to live and dead coral framework. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 282, No. 1813, 20150990.

- Henry, Lea-Anne, and J. Murray Roberts (2007). Biodiversity and ecological composition of macrobenthos on cold-water coral mounds and adjacent off-mound habitat in the bathyal Porcupine Seabight, NE Atlantic. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 54, No. 4, pp. 654–672.
- Holland, L.P., and others (2019). Genetic connectivity of deep-sea corals in the New Zealand region. *New Zealand Aquatic Environment & Biodiversity Report*, Wellington.
- Hsing, Pen-Yuan, and others (2013). Evidence of lasting impact of the *Deepwater Horizon* oil spill on a deep Gulf of Mexico coral community. *Elementa: Science of the Anthropocene*, vol. 1.
- Kahn, Amanda S., and others (2015). Benthic grazing and carbon sequestration by deep-water glass sponge reefs. *Limnology and Oceanography*, vol. 60, No. 1, pp. 78–88.
- Kazanidis, Georgios, and others (2018). Unravelling the versatile feeding and metabolic strategies of the cold-water ecosystem engineer *Spongosorites coralliophaga* (Stephens, 1915). *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 141, pp. 71–82.
- Kazanidis, Georgios, and Ursula F.M. Witte (2016). The trophic structure of *Spongosorites coralliophaga*-coral rubble communities at two northeast Atlantic cold water coral reefs. *Marine Biology Research*, vol. 12, No. 9, pp. 932–947.
- Kurmann, Melissa, and others (2017). Intra-specific variation reveals potential for adaptation to ocean acidification in a cold-water coral from the Gulf of Mexico. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 111.
- Larcom, Elizabeth A., and others (2014). Growth rates, densities, and distribution of *Lophelia pertusa* on artificial structures in the Gulf of Mexico. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 85, pp. 101–109.
- Larsson, Ann I., and others (2014). Embryogenesis and larval biology of the cold-water coral *Lophelia pertusa*. *PLoS One*, vol. 9, No. 7, e102222.
- Lartaud, Frank, and others (2017). Growth patterns in long-lived coral species. In *Marine Animal Forests: The Ecology of Benthic Biodiversity Hotspots*, Sergio Rossi and others, eds. Springer International Publishing.
- Levin, Lisa A., and Nadine Le Bris (2015). The deep ocean under climate change. *Science*, vol. 350, No. 6262, pp. 766–768.
- Lunden, Jay J., and others (2014). Acute survivorship of the deep-sea coral *Lophelia pertusa* from the Gulf of Mexico under acidification, warming, and deoxygenation. *Frontiers in Marine Science*, vol. 1, art. 78.
- Maier, Sandra R., and others (2019). Survival under conditions of variable food availability: Resource utilization and storage in the cold-water coral *Lophelia pertusa*. *Limnology and Oceanography*.
- Meistertzheim, Anne-Leila, and others (2016). Patterns of bacteria-host associations suggest different ecological strategies between two reef building cold-water coral species. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 114, pp. 12–22.
- Mienis, F., and others (2007). Hydrodynamic controls on cold-water coral growth and carbonate-mound development at the SW and SE Rockall Trough Margin, NE Atlantic Ocean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 54, No. 9, pp. 1655–1674.
- \_\_\_\_\_ (2019). Experimental assessment of the effects of coldwater coral patches on water flow. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 609, pp. 101–117.
- Miller, Karen J., and Rasanthi M. Gunasekera (2017). A comparison of genetic connectivity in two deep sea corals to examine whether seamounts are isolated islands or stepping stones for dispersal. *Scientific Reports*, vol. 7, art. 46103.
- Molinski, Tadeusz, and others (2009). Drug development from marine natural products. *Nature Reviews Drug Discovery*, vol. 8, No. 1, pp. 69–85.

- Molodtsova, Tina N., and Dennis M. Opresko (2017). Black corals (Anthozoa: Antipatharia) of the Clarion-Clipperton Fracture Zone. *Marine Biodiversity*, vol. 47, No. 2, pp. 349–365.
- Morato, Telmo, and others (2020). Climate-induced changes in the suitable habitat of cold-water corals and commercially important deep-sea fishes in the North Atlantic. *Global Change Biology*, vol. 26, No. 4, pp. 2181–2202.
- Murray, Fiona, and others (2018). Data challenges and opportunities for environmental management of North Sea oil and gas decommissioning in an era of blue growth. *Marine Policy*, vol. 97, pp. 130–138.
- Osterloff, Jonas, and others (2016). A computer vision approach for monitoring the spatial and temporal shrimp distribution at the LoVe observatory. *Methods in Oceanography*, vol. 15, pp. 114–128.
- Pham, Christopher K., and others (2014). Marine litter distribution and density in European seas, from the shelves to deep basins. *PloS One*, vol. 9, No. 4.
- Pierdomenico, Martina, and others (2017). Megabenthic assemblages at the Hudson Canyon head (NW Atlantic margin): Habitat-faunal relationships. *Progress in Oceanography*, vol. 157, pp. 12–26.
- Quattrini, Andrea M., and others (2012). Megafaunal-habitat associations at a deep-sea coral mound off North Carolina, USA. *Marine Biology*, vol. 159, No. 5, pp. 1079–1094.
- Quattrini, Andrea M., and others (2013). Niche divergence by deep-sea octocorals in the genus *Callogorgia* across the continental slope of the Gulf of Mexico. *Molecular Ecology*, vol. 22, No. 15, pp. 4123–4140.
- Quattrini, Andrea M., and others (2015). Testing the depth-differentiation hypothesis in a deepwater octocoral. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 282, No. 1807, 20150008.
- Quattrini, Andrea M., and others (2017). Environmental filtering and neutral processes shape octocoral community assembly in the deep sea. *Oecologia*, vol. 183, No. 1, pp. 221–236.
- Radice, Veronica Z., and others (2016). Vertical water mass structure in the North Atlantic influences the bathymetric distribution of species in the deep-sea coral genus *Paramuricea*. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 116, pp. 253–263.
- Robert, Katleen, and others (2016). Improving predictive mapping of deep-water habitats: Considering multiple model outputs and ensemble techniques. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 113, pp. 80–89.
- Roberts, J.M., and others (2009). Mingulay reef complex: an interdisciplinary study of cold-water coral habitat, hydrography and biodiversity. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 397, pp. 139–151.
- Rocha, Joana, and others (2011). Cnidarians as a source of new marine bioactive compounds—an overview of the last decade and future steps for bioprospecting. *Marine Drugs*, vol. 9, No. 10, pp. 1860–1886.
- Ross, Steve W., and Andrea M. Quattrini (2009). Deep-sea reef fish assemblage patterns on the Blake Plateau (Western North Atlantic Ocean). *Marine Ecology—an Evolutionary Perspective*, vol. 30, No. 1, pp. 74–92.
- Schönberg, Christine H.L., and others (2017). Bioerosion: the other ocean acidification problem. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 74, No. 4, pp. 895–925.
- Soetaert, Karline, and others (2016). Ecosystem engineering creates a direct nutritional link between 600-m deep cold-water coral mounds and surface productivity. *Scientific Reports*, vol. 6, art. 35057.
- Strömberg, Susanna M., and Ann I. Larsson (2017). Larval behavior and longevity in the cold-water coral *Lophelia pertusa* indicate potential for long distance dispersal. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 411.
- Sweetman, Andrew K., and others (2017). Major impacts of climate change on deep-sea benthic ecosystems. *Elementa: Science of the Anthropocene*, vol. 5, art. 4.

- Tamborrino, Leonardo, and others (2019) Mid-Holocene extinction of cold-water corals on the Namibian shelf steered by the Benguela oxygen minimum zone. *Geology*, vol. 47, No. 12, pp. 1185–1188.
- Taylor, M.L., and others (2016). Plastic microfibre ingestion by deep-sea organisms. *Scientific Reports*, vol. 6, art. 33997.
- Thornalley, David J.R., and others (2018). Anomalously weak Labrador Sea convection and Atlantic overturning during the past 150 years. *Nature*, vol. 556, No. 7700, pp. 227–230.
- Thurber, Andrew R., and others (2014). Ecosystem function and services provided by the deep sea. *Biogeosciences*, vol. 11, No. 14, pp. 3941–3963.
- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Van Engeland, Tom, and others (2019). Cabled ocean observatory data reveal food supply mechanisms to a cold-water coral reef. *Progress in Oceanography*, vol. 172, pp. 51–64.
- Van Oevelen, Dick, and others (2009). The cold-water coral community as hotspot of carbon cycling on continental margins: A food-web analysis from Rockall Bank (northeast Atlantic). *Limnology and Oceanography*, vol. 54, No. 6, pp. 1829–1844.
- Van Soest, R.W.M., and N.J. de Voogd (2015). Sponge species composition of north-east Atlantic cold-water coral reefs compared in a bathyal to inshore gradient. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, vol. 95, No. 7, pp. 1461–1474.
- Victorero, Lisette, and others (2018). Out of sight, but within reach: A global history of bottom-trawled deep-sea fisheries from > 400 m depth. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, No. 98.
- White, Helen K., and others (2012a). Impact of the *Deepwater Horizon* oil spill on a deep-water coral community in the Gulf of Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 109, No. 50, pp. 20303–20308.
- White, Martin, and others (2005). Deep-water coral development as a function of hydrodynamics and surface productivity around the submarine banks of the Rockall Trough, NE Atlantic. In *Cold-Water Corals and Ecosystems*, pp. 503–514. Springer.
- White, Martin and others (2012b). Cold-water coral ecosystem (Tisler Reef, Norwegian Shelf) may be a hotspot for carbon cycling. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 465, pp. 11–23.
- Wienberg, Claudia, and Jürgen Titschack (2017). Framework-forming scleractinian cold-water corals through space and time: a late Quaternary North Atlantic perspective. *Marine Animal Forests: The Ecology of Benthic Biodiversity Hotspots*, pp. 699–732.
- Wienberg, Claudia, and others (2018). The giant Mauritanian cold-water mound province: Oxygen control on coral mound formation. *Quaternary Science Reviews*, vol. 185, pp. 135–152.
- Williams, Alan, and others (2010). Seamount megabenthic assemblages fail to recover from trawling impacts. *Marine Ecology*, vol. 31, pp. 183–199.
- Zeng, Cong, and others (2017). Population genetic structure and connectivity of deep-sea stony corals (Order Scleractinia) in the New Zealand region: Implications for the conservation and management of vulnerable marine ecosystems. *Evolutionary Applications*, vol. 10, No. 10, pp. 1040–1054



# 第 7F 章

# 河口和三角洲

撰稿人: Colin D. Woodroffe (召集人)、Bing Qiao、Ronaldo Christofolletti、Dana E. Hunt、Pablo Muniz和Moriaki Yasuhara。



## 主旨要点

- 人口、捕捞、航运、工程活动(包括上游河坝)以及娱乐和旅游对河口和三角洲的资源和健康构成压力。
- 河口和三角洲生境面临的多种压力因素之间的相互作用情况尚不完全清楚。
- 在为各种河口和三角洲系统确定可衡量的生态系统健康和人类福祉指数方面仍然存在重大缺口。

## 1. 导言

河口和三角洲是主要河流与海洋的交汇处, 此类系统生产力较高, 并为各种生物区系提供支持。这些生物区系的结构由盐度、营养物质和其他因素随时间变异性梯度决定。这种变异性既反映了自然驱动因素(如降水、潮汐), 也反映了人为驱动因素(如开发、污染物负荷)。河口和三角洲虽然在自然状态下通常是人口稠密、受到干扰的系统, 但一般在各种生态系统中维持着生物多样性, 其中许多生态系统是本《评估》其他各章的主题, 如红树林(第7H章)、盐沼(第7I章)、海草场(第7G章)、沙泥底质(第7A章), 以及往往面积广大的潮间带(第7A章)。河口是淡水与海洋混合的地方, 因此会接收陆源营养物质、沉积物和污染物(第10-13章), 而且往往存在入侵物种, 特别是来自压载水的入侵物种(第22章)。河口和三角洲的价值在于其固有的生物区系及其支持的商业性和自给性渔业(第15章), 以及这些地区吸引的旅游和娱乐活动。如《第一次世界海洋评估》(联合国, 2017年)所述, 2014年河口和三角洲的总经济价值估计超过6.1万亿美元。

大多数河口和三角洲具有重要的经济意义, 分布着城市和工业活动, 已在人类干预下发生转变。

这些地区日益受到全球变化的影响, 包括海平面上升、降水变化和 Related 自然危害, 如气旋和风暴潮(Renaud等人, 2013年)。大多数特大城市位于沿海, 其重工业、城市化进程和娱乐活动可能损害此类地区(Todd等人, 2019年)。《第一次评估》包含对河口和三角洲状况的初步全球综合评估。有限的数据显示, 很少有水体在定性评估中被认定为状态极好, 而其中62%的水体状况被认为较差或极差, 大多数水体质量都在下降。

本章在《第一次评估》的基础上介绍了最新情况, 重点说明了河口和三角洲为许多海洋和沿海生物提供独特生境, 并为人类提供娱乐、食物供应和水源。此类环境受到由事件驱动的短期干扰(如风暴)和长期趋势(如气候变化)(Doney等人, 2012年; Harris等人, 2018年)的影响, 这些干扰和趋势往往相互关联(例如, 风暴导致小危害洪水, 而海平面上升又加剧了这一情况)。卫星、全球观测网络和浮标等观测系统已取得进展, 这些系统旨在侦测环境条件的快速变化。但就河口和三角洲环境的优化管理而言, 监测、模拟或解释这些观测结果的能力仍未得到充分发展。

## 2. 记录显示的河口和三角洲状态变化情况

### 2.1. 2010-2020年期间环境变化情况

#### 2.1.1. 水和沉积物

由于世界各地流域内的人为活动, 如改变土地管理做法和修建水坝, 河流的水流量和沉积物输送量总体上都在持续下降(Li等人, 2018年; Day等

人, 2019年; Dunn等人, 2019年); 但陆冰和永冻土的融化也可能增加高纬度河口的淡水输入(第3章)。沉积物输入量减少, 加快了侵蚀造成的沿海湿地流失, 并对软沉积物和滤食性动物造成影响, 这一情况因采沙而更加严重(Anthony等人, 2015年); 而沉积物较多则可能遮蔽海草等初级生产

者,并导致底栖生物窒息。城市化使流入河口的峰值流量增加,基流量减少,造成盐度方面发生可能有变化的变化,并危及潮间带生态系统(Freeman等人,2019年)。

### 2.1.2. 富营养化

营养物质负荷(主要为氮和磷)仍然是河口面临的严重问题,因为河口靠近大城市,而且农业、林业和水产养殖活动不断增加(Pesce等人,2018年;Todd等人,2019年),再加上生活污水、肥料和动物粪便,导致底水缺氧(Yasuhara等人,2017年;Breitburg等人,2018年a,2018年b)。富营养化还可能产生由蓝藻和腰鞭毛虫、有时是大型藻类(Teichberg等人,2010年)形成的水华,包括有害藻华。在发达国家(如美国切萨皮克湾、日本大阪湾),由于卫生条件的改善和营养物质负荷的减少,这一情况已经得到稳定或正在部分恢复(Lefcheck等人,2018年);但在亚洲人口大国的沿海地区,由于卫生条件较差、营养物质通量增加和人口进一步增长,上述情况正在迅速恶化(Boesch,2019年)。底水缺氧可能导致鱼类大量死亡,影响当地经济(Breitburg等人,2018a,2018b;Yasuhara等人,2019年)。

### 2.1.3. 全球变化

全球变化已经在影响河口和三角洲。研究者观察到鱼类和甲壳类的分布范围向两极方向延伸(Hallett等人,2017年;Pecl等人,2017年)。更加频繁的风暴和极端天气影响盐分和沉积(Prandle和Lane,2015年;Day和Rybczyk,2019年)。未来温度上升可能导致局部灭绝,使得微生物病原体浓度和公共健康风险升高(Robins等人,2016年)。河流泛滥将加剧海平面上升,导致更大面积的沿海地区被淹(Moftakhari等人,2015年、2017年;Kumbier等人,2018年;Ikeuchi等人,2017年;Nichols等人,2019年)。到2050年,沿海城市每年因洪水而付出的代价可能大约在600亿至630亿美元之间(Hallegatte等人,2013年);预计到2200年,世界上1.46%的人口将因长期泛滥而流离失所(Desmet等人,2018年)。由于沿海挤压现象,

潮间带生态系统受到固定基础设施的阻碍,无法向内陆方向迁移,因此洪水可能导致大量生境消失(Doody,2013年;Phan等人,2015年)。

### 2.1.4. 三角洲下沉

由于相对海平面上升速率和社会经济脆弱程度较高,三角洲尤其受到人为压力的影响(Tessler等人,2015年;Hiatt等人,2019年)。人类活动、主要是开采地下水造成的大型三角洲下沉加剧了海平面上升的影响(Syvitski等人,2009;Erban等人,2014年;Auerbach等人,2015年;Brown和Nicholls,2015年;Schmidt,2015年;Minderhoud等人,2017,2019年;Wright和Wu,2019年)。保护性基础设施或许能够遏制目前的威胁,但工程解决方案在人口稠密或收入较低的国家可能不可行(Tessler等人,2016年)。

### 2.1.5. 入侵物种

许多河口和三角洲拥有大型港口,存在与船舶压载水排放有关的严重的入侵物种问题(Astudillo等人,2014年;Shalovenkov,2019年)。入侵物种可直接影响河口和三角洲资源和健康的衰退情况,危害其生态和平衡,对这两种系统的生物多样性构成重大威胁。引进入侵物种的速度一直在加快,这反映了航运的增加(Seebens等人,2017年)。总体而言,由于贸易和人口因素以及侦测此类入侵的能力状况,高收入国家的入侵物种数量约为低收入国家的30倍(Seebens等人,2018年)。在地中海等欧洲海域内观察到的引进速度一直在放缓(Korpinen等人,2019年)。

### 2.1.6. 生态系统服务的退化和修复

河口和三角洲提供了具有供应、调节、支持和文化性质的必要生态系统服务(《第一次评估》第44章)。人们通过划船、游泳、观赏野生动物、钓鱼等活动,从这些系统中获得娱乐(Whitfield,2017年)。一些生物作为基础成员发挥重要作用,创建、改造并维持生境。例如,牡蛎形成的礁石可建立生境,减少侵蚀,改善水质。但在退化河口,牡蛎受到过度捕捞、沉积物负荷和疾病以及海

洋酸度增加的影响(Janis等人, 2016年; Day和Rybczyk, 2019年)。海草、盐沼和红树林的消失以及水质退化(Reynolds等人, 2016年; Schmidt等人, 2017年)导致幼鱼多样性和丰度下降(Whitfield, 2017年)。修复工作取得成功的河口相对较少,但也可纳入天然岸线保护战略当中(Bilkovic等人, 2016年; Ducrottoy等人, 2019年)。

## 2.2. 与变化相关的因素: 驱动因素、压力、影响和反应

许多人类活动导致河口和三角洲健康恶化,生产力下降,其中包括直接影响(如破坏生境的开发活动),也包括全球气候变化造成的长期间接影响(Cavallaro等人, 2018年)。人类居住、侵入性沿海基础设施、娱乐、渔业(鱼类和贝类)、填海造地和填埋湿地(Sengupta等人, 2018年)带来的压力与日俱增,导致环境退化和敏感海洋生物消失(Buttigieg等人, 2018年)。因此,人们不断加大力度,保护生态系统,以维持其固有价值,维护人类健康,并可持续利用资源。其他人为压力,如开发用于深水航运的大型集装箱港口,也通过疏浚活动,以及利用疏浚废物养护海滩或改造岸线的现象,使河口环境发生变化(政府间气候变化专门委员会(气专委), 2019年)。

驱动因素和压力的强度和规模,或生物群落和生态系统功能的反应,仍然难以预测。温度、降雨异

常和海平面上升在短期和长期都对河口生态系统造成重大影响(Elliott和Whitfield, 2011年; McLeod等人, 2011年; Condie等人, 2012年; Turra等人, 2013年; Bernardino等人, 2015, 2016年)。生理范围的长期平均值和短期超标都会影响河口生物区系的代谢、生长和繁殖,再加上局部富营养化的影响,可能导致严重缺氧和生物体大量死亡(Gillanders等人, 2011年)。在更长的时间尺度下,捕捞活动带来的生态压力正在影响鱼类种群和生态系统(Muniz等人, 2019年)。例如,拉普拉塔河上手工和工业船队的捕捞活动保持不变,甚至略有减少,但两个最重要鱼种的渔获量已降至过去35年的最低值(Gianelli和Defeo, 2017年; García-Alonso等人, 2019年)。

虽然许多人类活动对各河口和三角洲的健康产生负面影响,但人们最近已作出努力,恢复沿岸水域的生产力,特别是通过制定营养物质和污染物管理计划、修复生态系统和关键物种,以及保护公园和海洋保护区内的河口和三角洲(Lefcheck等人, 2018年; Boesch, 2019年)。美国、中国香港等地的牡蛎礁已得到修复,因此目前在发挥保护岸线和过滤水柱的作用(Morris等人, 2019年)。其他地点的海草、盐沼或红树林在保护海岸线免受风暴和海平面上升影响,以及为幼鱼和其他生物区系提供关键生境方面可能具有类似作用。

## 3. 变化对人类社区、经济和福祉的影响

河口和三角洲具有重要的社会经济和文化意义,因为它们提供商品和服务,包括捕捞资源和生态系统进程。当地有传统社区依靠这些资源维持生计,包括自给性捕捞和旅游活动收入。因此,要了解各种变化并管理其对河口和三角洲的影响,就必须综合考虑环境、生物、文化、经济和人类学问题。

世界卫生组织倡导“一体化卫生”概念,以整合人—动物—生态系统的交互界面,因为人们已经认识到,这些要素中任何一个的变化都会影响其他

要素。污染物或入侵物种增加导致河口健康恶化,可能对人类健康构成直接威胁。人类所受影响的程度取决于社会生态因素。城市人口可能因风暴防护减弱和食用受污染鱼类而受到影响,而当地土著社区也可能因丧失文化价值、卫生问题和社会不平等而受到影响。土著居民和当地沿海社区已发展出与养护、可持续利用和管理河口相关的传统知识和技能(Breitburg等人, 2018年b)。城市化引起的河口变化可能导致依靠此类资源维持生计的社区丧失特性和文化习俗。

现在人们对河口的生态系统服务和生态系统变化引起的冲突有了更多认识(Nicholls等人, 2018年)。科学可以成为与政策相互作用的强大工具, 为地方、区域和国家各级决策提供信息, 并将其纳入全球目标, 如《2030年可持续发展议程》<sup>1</sup> (Dietz, 2013年; Howarth和Painter, 2016年)。将公众参与、包括土著人民和当地社区的参与与科学分析相结合, 可以有效传播科学知识, 实现科学社会化, 并进行科学决策。通过改进利益攸关方之间的沟通, 可以有效转移知识, 并进行适应性管理, 例如, 社会科学家可帮助各行为体之间建立信任(Fischhoff, 2013年)。公民科学是有益于环境科学和社会科学的创新领域, 可通过将土著居民和当地社区纳入科学研究当中, 将传统知识和科学知识联系起来, 并帮助发展河口综合管理。生态系统的复杂性和与其他生境的联系意味着, 政府和当地社区之间的联合管理和协作对于维护沿海生物多样性和生态系统功能至关重要(Teixeira等人, 2013年; Brondizio等人, 2016年)。

#### 4. 特定区域的主要变化和影响

河口和三角洲在世界各地分布广泛, 但没有全球范围内的统计目录, 而且这一类别涵盖了多种地貌类型。《第一次评估》指出, 河口总数可能约为4 500个。但网格化的全球数字高程模型对河口数目作出的最新估计为53 000多个(McSweeney等人, 2017年)。据估计, 间歇性封闭的半咸水湖泊和潟湖约有1 200个, 尤其分布于南部非洲和澳大利亚东部涌浪较多的海岸沿线。与持续向海洋开放的河口相比, 这些湖泊和潟湖在面对气候变化时将产生一套不同的反应, 包括开放机制改变、洪水增加以及盐水侵入地表水和地下水(Carrasco等人, 2016年)。最近的一项研究采用类似方法, 指出全世界约有11 000个三角洲; 其中25%的三角洲由于毁林导致的河流沉积物供应量增加而在近几十年出现土地净增现象, 而筑坝则使得约1 000个

河口和三角洲环境、生态系统服务和社会经济动态的变化对实现《2030年议程》的可持续发展目标产生影响。例如, 河口的社会生态冲突主要涉及土著人民和当地社区, 与贫困(目标1)、性别平等(目标5)、环境卫生(目标6)、有抵御灾害能力的城市(目标11)和安全海鲜资源(目标14)方面的有关目标相互关联。如果能够通过与《2030年议程》一致的积极行动扭转各种影响, 就可以在短时间内为社会带来一系列惠益。河口及其生物多样性和文化多样性的养护与可持续发展目标中的具体目标14.2和14.5尤为相关(这些具体目标涉及促进保护和养护沿海资源)(Neumann等人, 2017年), 还可提供增加生态旅游等其他服务。促进人类与自然接触可加强在相关生态系统中养护自然的努力。为实现这一目标, 应当与决策者和社会一道, 采取创新办法, 支持河口的适应性管理、养护和可持续利用, 这将造福人类的子孙后代(Szabo等人, 2015年)。

三角洲系统的沉积物和土地流失减少(Nienhuis等人, 2020年)。

《第一次评估》包含对选定河口状况的初步评估, 并按大陆予以分类。目前仍无足够数据改进这项评价, 或遵循本《评估》的区域特定框架研究河口和三角洲。最近的几份汇编的确提供了与此前记录情况不佳的若干区域有关的数据。例如, 关于北极河口的信息原本很少, 随着这些区域因全球变暖而可以通航, 这些河口可能会日益重要(Kosyan, 2017年)。区域汇编提供了更多关于南半球的信息, 其中包括对非洲东海岸和西印度洋河口的重点研究(Diop等人, 2016年), 以及有关巴西河口的综述(Lana和Bernardino, 2018年)。此前, 关于中国18 000公里海岸线上众多河口和三角洲的信息相对较少。这条海岸线上坐落着上海、广州等许多

<sup>1</sup> 见大会第70/1号决议。

特大城市, 这些城市极易受到海平面上升和风暴潮造成的沿海危害影响(Yin等人, 2012年; Kuang等人, 2014年; Chen等人, 2018年)。这些城市化的

大型三角洲是数以百万计人的家园, 往往具有丰富的生物多样性, 面临富营养化、污染、海岸改造、入侵物种等威胁(Lai等人, 2016年)。

## 5. 展望

根据近几十年的趋势, 随着主要在河口和三角洲持续发生的城市化现象, 沿海地区人口将会增加。这些人为压力将是继续影响此类沿海生态系统生物多样性和生境健康的主要压力。气候变化将加剧这些压力——风暴的发生频率似乎有可能增加, 海平面预计将加速上升, 对于正在下沉的大型三角洲尤其如此。虽然要保护地势低洼的大都市, 就必须升级工程基础设施, 但善治具有维持或改善生态系统状况的潜力。

可运用地貌、生态或经济视角, 从功能进程的角度研究河口和三角洲的可持续性(Mahoney和Bishop, 2018年)。变化可能增强或削弱可持续性, 但大多数变化是有害的(Day等人, 2016年)。可以预见生态系统将要承受的影响包括: 食物网因关键物种、顶级捕食者或生态系统工程师物种消失而改变; 海平面上升和填海造地造成的生境消失; 海洋物种向两极方向迁移, 以适应气候变化。因沿海挤压和水产养殖活动造成的湿地减少现象在许多河口和三角洲已经相当明显。虽然在识别入侵生物、设定相关优先事项和消灭此类生物方面已经取得巨大进展, 但入侵物种预计将继续增加。

系统持续变化产生的社会经济影响更难预测。但河口和三角洲周围人口压力增加和城市化扩大可能意味着, 将进行更多的疏浚活动, 以保持通航能力, 将出现河道淤塞、岸线侵蚀和湿地消失现象, 人们获得娱乐、渔场和清洁水的机会将减少。要想保护面积广大的居民区、工业区和农业区免受风暴潮和海平面上升的影响, 就必须对工程解决方案进行大量投资, 而此类基础设施一旦出现故障, 似乎会引发灾难。许多地区的人最终将不得不迁往内陆。即使在能够控制人口扩张压力的地方, 也需要进行大量投资, 修复关键生境。改进监测和对科学研究进行投资, 将有利于评估不断变化的生态系统服务及其对人类福祉的影响。就实现可持续利用和将养护工作扩展到保护区以外而言, 有必要开展沿海综合规划, 为此可能需要制定更加广泛的供资战略, 例如从公共来源获得资金, 并开展多部门合作。沿海管理可能需要纳入新的建筑和施工标准、生态标签、为养护工作筹资的创新经济工具, 以及生态系统服务付费, 如蓝色碳固存。

## 6. 知识和能力建设方面仍然存在的主要差距

管理河口和三角洲的土地使用情况, 使子孙后代也能享受这些地区提供的具有美学、文化和维持性质的服务, 这项工作面临重大挑战(Elliott等人, 2019年)。现有模型缺乏足够的空间和时间分辨率, 难以模拟未来的极端事件(Haigh等人, 2016年; Robins等人, 2018年), 包括来自河流和海洋两个来源的复合洪水。此类洪水导致环境退化, 包括湿地侵蚀和富营养化, 并使人们接触到有害的水媒病原体(Yin等人, 2018年)。对于人类快速干预在三角洲产生的长期影响, 了解相对较少。必须更好

地界定社会经济临界点的特征, 避免不可接受的变化。有必要获得更多证据, 以便在最能产生惠益或可能减少工程保护施工需求的地区有针对性地开展沿海湿地养护(Van Coppenolle等人, 2018年; Van Coppenolle和Temmerman, 2019年)。大型三角洲及其内部特大城市今后的复原力将取决于资源和应急战略方面的进展, 以及对利用工程所造岸线和生物岸线进行防洪的投资。建模、工程和自然科学需要与社会科学和公众宣传相结合(Bonebrake等人, 2018年)。创新技术和基于自然

的解决方案已经在帮助减少面对沿海危害的脆弱性, 但有必要发展协作科学, 使生活在河口和三角洲地区的人们掌握环境信息、可靠的短期和长期

预测结果, 以及用于验证模型的适当观测结果, 从而改进由数据驱动的沿海复原力方法(Nichols等人, 2019年)。

## 参考资料

- Anthony, Edward J., and others (2015). Linking rapid erosion of the Mekong River delta to human activities. *Scientific Reports*, vol. 5, art. 14745.
- Astudillo, Juan-Carlos, and others (2014). Status of six non-native marine species in the coastal environment of Hong Kong, 30 years after their first record. *BioInvasions Records*, vol. 3, No. 3, pp. 123–37. <https://doi.org/10.3391/bir.2014.3.3.01>.
- Auerbach, L.W., and others (2015). Flood risk of natural and embanked landscapes on the Ganges–Brahmaputra tidal delta plain. *Nature Climate Change*, vol. 5, No. 2, p. 153.
- Bernardino, Angelo Fraga, and others (2015). Predicting ecological changes on benthic estuarine assemblages through decadal climate trends along Brazilian Marine Ecoregions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 166, pp. 74–82.
- \_\_\_\_\_ (2016). Benthic estuarine communities in Brazil: moving forward to long term studies to assess climate change impacts. *Brazilian Journal of Oceanography*, vol. 64, No. SPE2, pp. 81–96.
- Bilkovic, Donna, and others (2016). The role of living shorelines as estuarine habitat conservation strategies. *Coastal Management*, vol. 44, No. 3, pp. 161–174.
- Boesch, Donald F. (2019). Barriers and bridges in abating coastal eutrophication. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 123. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00123>.
- Bonebrake, Timothy C., and others (2018). Managing consequences of climate-driven species redistribution requires integration of ecology, conservation and social science. *Biological Reviews*, vol. 93, No. 1, pp. 284–305.
- Breitburg, Denise and others (2018a). Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, vol. 359, No. 6371, eaam7240.
- \_\_\_\_\_ (2018b). *The Ocean Is Losing Its Breath: Declining Oxygen in the World's Ocean and Coastal Waters; Summary for Policy Makers*. IOC/2018/TS/137 REV. Paris.
- Brondizio, Eduardo S., and others (2016). Catalyzing action towards the sustainability of deltas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 19, pp. 182–94. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.05.001>.
- Brown, S., and R.J. Nicholls (2015). Subsidence and human influences in mega deltas: the case of the Ganges–Brahmaputra–Meghna. *Science of the Total Environment*, vol. 527, pp. 362–374.
- Buttigieg, Pier Luigi, and others (2018). Marine microbes in 4D—using time series observation to assess the dynamics of the ocean microbiome and its links to ocean health. *Current Opinion in Microbiology*, vol. 43, pp. 169–185.
- Carrasco, A. Rita, and others (2016). Coastal lagoons and rising sea level: a review. *Earth-Science Reviews*, vol. 154, pp. 356–368.
- Cavallaro, N., and others (2018). *USGCRP, 2018: Second State of the Carbon Cycle Report (SOCCR2): A Sustained Assessment Report*. Washington, D.C.: U.S. Global Change Research Program.
- Chen, Shihong, and others (2018). Assessment of tropical cyclone disaster loss in Guangdong Province based on combined model. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, vol. 9, No. 1, pp. 431–441.
- Condie, Scott A., and others (2012). Modelling ecological change over half a century in a subtropical estuary: impacts of climate change, land-use, urbanization and freshwater extraction. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 457, pp. 43–66.

- Day, John W., and John M. Rybczyk (2019). Chapter 36 – Global Change Impacts on the Future of Coastal Systems: Perverse Interactions Among Climate Change, Ecosystem Degradation, Energy Scarcity, and Population. In *Coasts and Estuaries*, Eric Wolanski and others, eds., pp. 621–39. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814003-1.00036-8>.
- Day, John W., and others (2016). Approaches to defining deltaic sustainability in the 21st century. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 183, pp. 275–291.
- \_\_\_\_\_ (2019). Chapter 9 – Delta Winners and Losers in the Anthropocene. In *Coasts and Estuaries*, Eric Wolanski, and others, eds., pp. 149–65. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814003-1.00009-5>.
- Desmet, Klaus, and others (2018). Evaluating the Economic Cost of Coastal Flooding. Working Paper 24918. National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w24918>.
- Dietz, Thomas (2013). Bringing values and deliberation to science communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, No. Supplement 3, pp. 14081–14087.
- Diop, Salif, and others (2016). *Estuaries: A Lifeline of Ecosystem Services in the Western Indian Ocean*. Springer.
- Doney, Scott C., and others (2012). Climate change impacts on marine ecosystems. *Annual Review of Marine Science*, vol. 4, No. 1, pp. 11–37. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-041911-111611>.
- Doody, J. Patrick (2013). Coastal squeeze and managed realignment in southeast England, does it tell us anything about the future? *Ocean & Coastal Management*, vol. 79, pp. 34–41.
- Ducrottoy, J-P., and others (2019). Temperate estuaries: their ecology under future environmental changes. In *Coasts and Estuaries*, pp. 577–594. Elsevier.
- Dunn, Frances E., and others (2019). Projections of declining fluvial sediment delivery to major deltas worldwide in response to climate change and anthropogenic stress. *Environmental Research Letters*, vol. 14, No. 8, 084034.
- Elliott, Michael, and Alan K. Whitfield (2011). Challenging paradigms in estuarine ecology and management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 94, No. 4, pp. 306–314.
- Elliott, Michael, and others (2019). A Synthesis: What Is the Future for Coasts, Estuaries, Deltas and Other Transitional Habitats in 2050 and Beyond? In *Coasts and Estuaries*, pp. 1–28. Elsevier.
- Erban, Laura E., and others (2014). Groundwater extraction, land subsidence, and sea level rise in the Mekong Delta, Vietnam. *Environmental Research Letters*, vol. 9, No. 8, 084010.
- Fischhoff, Baruch (2013). The sciences of science communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, No. Supplement 3, pp. 14033–14039.
- Freeman, Lauren, and others (2019). Impacts of urbanization and development on estuarine ecosystems and water quality. *Estuaries and Coasts*, vol. 42, pp. 1821–1838.
- García-Alonso, Javier, and others (2019). Río de la Plata: A Neotropical Estuarine System. In *Coasts and Estuaries*, pp. 45–56. Elsevier.
- Gianelli, Ignacio, and Omar Defeo (2017). Uruguayan fisheries under an increasingly globalized scenario: long-term landings and bioeconomic trends. *Fisheries Research*, vol. 190, pp. 53–60.
- Gillanders, Bronwyn M., and others (2011). Potential effects of climate change on Australian estuaries and fish utilising estuaries: a review. *Marine and Freshwater Research*, vol. 62, No. 9, pp. 1115–1131.
- Haigh, Ivan D., and others (2016). Spatial and temporal analysis of extreme sea level and storm surge events around the coastline of the UK. *Scientific Data*, vol. 3, art. 160107.
- Hallegatte, Stephane, and others (2013). Future flood losses in major coastal cities. *Nature Climate Change*, vol. 3, No. 9, p. 802.

- Hallett, Chris S., and others (2017). Observed and predicted impacts of climate change on the estuaries of south-western Australia, a Mediterranean climate region. *Regional Environmental Change*, vol. 18, pp. 1357–73.
- Harris, Rebecca M.B., and others (2018). Biological responses to the press and pulse of climate trends and extreme events. *Nature Climate Change*, vol. 8, No. 7, p. 579.
- Hiatt, Matthew, and others (2019). Drivers and impacts of water level fluctuations in the Mississippi River delta: Implications for delta restoration. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 224, pp. 117–137.
- Howarth, Candice, and James Painter (2016). Exploring the science-policy interface on climate change: the role of the IPCC in informing local decision-making in the UK. *Palgrave Communications*, vol. 2, No. 1, art. 16058.
- Ikeuchi, Hiroaki, and others (2017). Compound simulation of fluvial floods and storm surges in a global coupled river-coast flood model: Model development and its application to 2007 Cyclone Sidr in Bangladesh. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, vol. 9, No. 4, pp. 1847–1862.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2019). *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*.
- Janis, Samuel, and others (2016). Billion oyster project: linking public school teaching and learning to ecological restoration of New York Harbor using innovative applications of environmental and digital technologies. *International Journal of Digital Content Technology and Its Applications*, vol. 10, No. 1.
- Korpinen, Samuli, and others (2019) *Multiple pressures and their combined effects in Europe's seas*. ETC/ICM Technical Report 4/2019: European Topic Centre on Inland, Coastal and Marine waters.
- Kosyan, Ruben (2017). *The Diversity of Russian Estuaries and Lagoons Exposed to Human Influence*. Springer.
- Kuang, Cuiping, and others (2014). Numerical assessment of the impacts of potential future sea level rise on hydrodynamics of the Yangtze River Estuary, China. *Journal of Coastal Research*, vol. 30, No. 3, pp. 586–597.
- Kumbier, Kristian, and others (2018). Investigating compound flooding in an estuary using hydrodynamic modelling: a case study from the Shoalhaven River, Australia.
- Lai, Racliffe W.S., and others (2016). Hong Kong's marine environments: History, challenges and opportunities. *Regional Studies in Marine Science*, vol. 8, pp. 259–273.
- Lana, Paulo da Cunha, and Angelo F. Bernardino (2018). *Brazilian Estuaries: A Benthic Perspective*. 1st ed. Brazilian Marine Biodiversity. Springer International Publishing.
- Lefcheck, Jonathan S., and others (2018). Long-term nutrient reductions lead to the unprecedented recovery of a temperate coastal region. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, No. 14, pp. 3658–3662.
- Li, Tong, and others (2018). Driving forces and their contribution to the recent decrease in sediment flux to ocean of major rivers in China. *Science of the Total Environment*, vol. 634, pp. 534–541.
- Mahoney, Peter C., and Melanie J. Bishop (2018). Are geomorphological typologies for estuaries also useful for classifying their ecosystems? *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 28, No. 5, pp. 1200–1208.
- McLeod, Elizabeth, and others (2011). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 9, No. 10, pp. 552–560.
- McSweeney, S.L., and others (2017). Intermittently closed/open lakes and lagoons: their global distribution and boundary conditions. *Geomorphology*, vol. 292, pp. 142–152.
- Minderhoud, P.S.J., and others (2017). Impacts of 25 years of groundwater extraction on subsidence in the Mekong delta, Vietnam. *Environmental Research Letters*, vol. 12, No. 6, 064006.

- Minderhoud, P.S.J., and others (2019). Mekong delta much lower than previously assumed in sea level rise impact assessments. *Nature Communications*, vol. 10, No. 1, art. 3847. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11602-1>.
- Moftakhari, Hamed R., and others (2015). Increased nuisance flooding along the coasts of the United States due to sea level rise: past and future. *Geophysical Research Letters*, vol. 42, No. 22, pp. 9846–9852.
- Moftakhari, Hamed R., and others (2017). Cumulative hazard: The case of nuisance flooding. *Earth's Future*, vol. 5, No. 2, pp. 214–223.
- Morris, Rebecca L., and others (2019). Design options, implementation issues and evaluating success of ecologically engineered shorelines.
- Muniz, Pablo, and others (2019). Río de la Plata: Uruguay. In *World Seas: An Environmental Evaluation*, pp. 703–724. Elsevier.
- Neumann, Barbara, and others (2017). Strong sustainability in coastal areas: a conceptual interpretation of SDG 14. *Sustainability Science*, vol. 12, No. 6, pp. 1019–1035.
- Nicholls, Robert J., and others (2018). Erratum to: Ecosystem Services for Well-Being in Deltas: Integrated Assessment for Policy Analysis. In *Ecosystem Services for Well-Being in Deltas*, pp. E1–E1. Springer.
- Nichols, Charles Reid, and others (2019). Collaborative science to enhance coastal resilience and adaptation. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 404.
- Nienhuis, J. H., and others (2020). Global-scale human impact on delta morphology has led to net land area gain. *Nature*, vol. 577, No. 7791, pp. 514–18. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1905-9>.
- Pecl, Gretta T., and others (2017). Biodiversity redistribution under climate change: impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, vol. 355, No. 6332, eaai9214.
- Pesce, M., and others (2018). Modelling climate change impacts on nutrients and primary production in coastal waters. *Science of the Total Environment*, vol. 628, pp. 919–937.
- Phan, Linh K., and others (2015). Coastal mangrove squeeze in the Mekong Delta. *Journal of Coastal Research*, vol. 31, No. 2, pp. 233–243. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-14-00049.1>.
- Prandle, David, and Andrew Lane (2015). Sensitivity of estuaries to sea level rise: vulnerability indices. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 160, pp. 60–68.
- Renaud, Fabrice G., and others (2013). Tipping from the Holocene to the Anthropocene: How threatened are major world deltas? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 5, No. 6, pp. 644–654.
- Reynolds, Laura, and others (2016) Ecosystem services returned through seagrass restoration. *Restoration Ecology*, vol. 24, No. 5, pp. 583–588.
- Robins, Peter E., and others (2016). Impact of climate change on UK estuaries: A review of past trends and potential projections. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 169, pp. 119–135.
- \_\_\_\_\_ (2018). Improving estuary models by reducing uncertainties associated with river flows. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 207, pp. 63–73.
- Schmidt, Allison L., and others (2017). Regional-scale differences in eutrophication effects on eelgrass-associated (*Zostera marina*) macrofauna. *Estuaries and Coasts*, vol. 40, No. 4, pp. 1096–1112.
- Schmidt, Charles W. (2015). *Delta Subsidence: An Imminent Threat to Coastal Populations*. NLM-Export.
- Seebens, Hanno, and others (2017). No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nature Communications*, vol. 8, art. 14435.
- \_\_\_\_\_ (2018). Global rise in emerging alien species results from increased accessibility of new source pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, No. 10, pp. E2264–E2273.
- Sengupta, Dhritiraj, and others (2018). Building beyond land: an overview of coastal land reclamation in 16 global megacities. *Applied Geography*, vol. 90, pp. 229–238.

- Shalovenkov, Nickolai (2019). Alien Species Invasion: Case Study of the Black Sea. In *Coasts and Estuaries*, pp. 547–568. Elsevier.
- Syvitski, James, and others (2009) Sinking deltas due to human activities. *Nature Geoscience*, vol. 2, pp. 681–686.
- Szabo, Sylvia, and others (2015). Sustainable development goals offer new opportunities for tropical delta regions. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, vol. 57, No. 4, pp. 16–23.
- Teichberg, Mirta, and others (2010). Eutrophication and macroalgal blooms in temperate and tropical coastal waters: nutrient enrichment experiments with *Ulva* spp. *Global Change Biology*, vol. 16, No. 9, pp. 2624–37. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02108.x>.
- Teixeira, João Batista, and others (2013). Traditional ecological knowledge and the mapping of benthic marine habitats. *Journal of Environmental Management*, vol. 115, pp. 241–250.
- Tessler, Z.D., and others (2015). Profiling risk and sustainability in coastal deltas of the world. *Science*, vol. 349, No. 6248, pp. 638–643. <https://doi.org/10.1126/science.aab3574>.
- \_\_\_\_\_ (2016). A global empirical typology of anthropogenic drivers of environmental change in deltas. *Sustainability Science*, vol. 11, No. 4, pp. 525–537.
- Todd, Peter A., and others (2019). Towards an urban marine ecology: characterizing the drivers, patterns and processes of marine ecosystems in coastal cities. *Oikos*.
- Turra, Alexander, and others (2013). Global environmental changes: setting priorities for Latin American coastal habitats. *Global Change Biology*, vol. 19, No. 7, pp. 1965–1969.
- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Van Coppenolle, Rebecca, and others (2018). Contribution of mangroves and salt marshes to nature-based mitigation of coastal flood risks in major deltas of the world. *Estuaries and Coasts*, vol. 41, No. 6, pp. 1699–1711.
- Van Coppenolle, Rebecca, and Stijn Temmerman (2019). A global exploration of tidal wetland creation for nature-based flood risk mitigation in coastal cities. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 226, art. 106262.
- Whitfield, Alan K. (2017). The role of seagrass meadows, mangrove forests, salt marshes and reed beds as nursery areas and food sources for fishes in estuaries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, vol. 27, No. 1, pp. 75–110.
- Wright, Lynn Donelson, and Wei Wu (2019). Pearl River Delta and Guangzhou (Canton) China. In *Tomorrow's Coasts: Complex and Impermanent*, pp. 193–205. Springer.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2017). Combining marine macroecology and palaeoecology in understanding biodiversity: microfossils as a model. *Biological Reviews*, vol. 92, No. 1, pp. 199–215.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2019). Palaeo-records of histories of deoxygenation and its ecosystem impact. Ocean deoxygenation: Everyone's problem. IUCN.
- Yin, Jie, and others (2012). National assessment of coastal vulnerability to sea level rise for the Chinese coast. *Journal of Coastal Conservation*, vol. 16, No. 1, pp. 123–133.
- Yin, Jiabo, and others (2018). Large increase in global storm runoff extremes driven by climate and anthropogenic changes. *Nature Communications*, vol. 9, No. 1, art. 4389.

# 第 7G 章

# 海草场

撰稿人：Hugh Kirkman (召集人)、Elizabeth Sinclair和Paul Lavery。



## 主旨要点

- 海草场继续以惊人的速度减少,特别是在与人类活动冲突的地方。
- 由于气候驱动的物种分布变化,海洋生态系统被重组,一些物种预计将在2100年之前发生功能性灭绝。
- 蓝色碳固存将在缓解气候变化影响方面发挥作用。
- 成功的有关保护和恢复的长期解决方案将需要在社会、经济和环境驱动因素之间取得平衡。

## 1. 引言

海草是生活在沿岸水域的海洋开花植物。最新的全球评估发现,自1980年以来,海草以每年110平方公里的速度消失,自1879年首次记录海草区域以来,已知面积的29%已经消失(Waycott等人,2009年)。这种下降速度从1940年之前每年0.9%的中值加速至1990年以来的每年7%。海草的损失率与所报告的红树林、珊瑚礁和热带雨林的损失率不相上下,使海草场成为地球上最受威胁的生态系统之一。海草健康状况的下降是环境条件变化的结果,而环境条件变化的主要原因是沿海开发、填海造地、砍伐森林、海藻和鱼类养殖、过度捕捞和倾倒垃圾。造成海草退化的主要因素有四个:水质差;物理干扰;食物网的退化;和被海洋动物食用。

在全球范围内,自第一次世界海洋评估以来,海草场持续减少(联合国,2017年;另见Unsworth等人,2019年)。需要实施有效的管理战略,以扭转损失,加强海草场在沿海海洋生境的基础作用。要实现海草场的全球养护,需要多方面和跨学科的视角(见下文方框)。长期解决方案将需要社会、经济和环境驱动因素的平衡。现在有一些良好的实例,特别是在征求传统所有权人和托管人的意见并使其能够恢复更广泛的托管角色的情况下。土著人民有一种以整体方式与陆地和海洋发生联系

的文化,其中还包括与强大而重要的地点的联系(国家海洋办公室,2002年)。

全球环境变化对生活在离海较近或依赖海洋资源的社区有影响。海草场的丧失和减少意味着渔场和育幼区将继续丧失,沿海地区在旅游、侵蚀控制、海洋教育、渔业育幼区、清洁水和清澈度方面将变得不那么理想。全球沿海社区正在受到风暴潮、侵蚀和洪水的影响。科学清楚地表明,自然生境的保护和复原可以是对保护社区的已建基础设施方法的具有成本效益的补充(Ruckelshaus等人,2016年)。由于缺乏完整物种分布的长期数据集,海草(和许多底栖海洋物种)的气候驱动分布范围变化很难量化。气候变化带来的分布范围变化可能导致往往不可预见的严重后果,最终可能使生物多样性丧失和群落同质化(Brustolin等人,2019年)。气候变化(H.Kirkman,个人通信)导致的改变生境的物种向极地迁移和捕捞压力的共同作用可能导致生态系统复原力降低(例如Ling和Keane,2018年)。

海草丧失后恢复的具体方式尤其难以量化。O'Brien等人(2018年)论证了海草生态系统退化和恢复的四种不同情景。一旦条件改善,恢复可能会很快,但在景观尺度上缺乏海草的情况可能会持续数十年。O'Brien等人(2018年)提出了一个复原力模型框架。

## 在减少海草场损失方面面临的挑战和可能的解决方案

**挑战1: 社会承认海草的重要性。**解释海草是什么及其在沿海系统中的重要性。

**挑战2: 关于状态和条件的最新信息。**解释并记录许多海草场的状况和条件。

**挑战3: 确认局部尺度上的威胁活动,以相应采取有针对性的管理行动。**建议哪些有威胁的局部活动属可管理。

**挑战4: 平衡人类和地球的需求。**扩大对海草系统的社会经济和生态要素之间相互作用的认知。

**挑战5: 开展科学研究以支持养护行动。**利用当前备受瞩目的海草研究(粮食安全和蓝碳)纳入更广泛的研究领域。

**挑战6: 气候变化时代的养护行动。**使用对海草气候变化影响提供早期预警的指标物。创新复原技术。

资料来源: 改编自Unsworth等人, 2019年。

## 2. 社会经济后果

沿海开发正在推动全球海洋和河口生态系统的持续衰退。沿海地区旅游业以及工业和城市发展的增加将需要更谨慎和可持续的管理。许多社会生态系统依靠健康的海草场来支持多种重要的生态系统服务(Cullen-Unsworth等人, 2014年)。一个小区域或河口的海草损失似乎可以忽略不计,但对于整个海岸线来说,许多干扰因素的积累效应是需要考虑的重要事项。

海草生长在许多河口地区,那里的开发和港口往往需要进行广泛的维护疏浚。与疏浚过程中疏浚泥流遮蔽造成的损害以及沉积物扰动造成的植物窒息相比,疏浚过程中的海草被物理清除的损害较小,因为疏浚过程中海草的清除只发生在疏浚航道内。研究者已经评估了风险缓解机会,旨在减少对海草的影响(Wu等人, 2018年)。拟议的开发和其他人为变化应以谨慎预防风险的方式处理。当海草场面积将要丧失或减少时,应考虑补偿种植或重新种植。然而,不应该鼓励补偿种植,因为它们很少等同于失去的生境。此外,在许多地区,可能没有合适的区域重新种植海草,导致海草场的净损失,并且复原方面无法保证成功。

对海草系统的经济估值并不普遍(Constanza等人, 2014年),大多数估计数是对它们的低估。更以衍生物为基础的模型将生态结构和功能与所有相关的经济服务联系起来,对于准确估计其美元价值至关重要(Dewsbury等人, 2016年)。

珊瑚礁(第7D章)和红树林(第7H章)通过营养物质和生物区系的联系,在生产经济上有用的食物方面协同发挥作用。与自然过滤病原体相关的海草也增强了海洋健康。Lamb等人(2017年)发现,当海草场存在时,人类和海洋生物潜在细菌病原体的相对丰度减少了50%。对8 000多个位于海草场附近的造礁珊瑚进行的实地调查显示,与没有毗邻海草场的成对观测地点的珊瑚相比,疾病水平降低了两倍。

海草场具有重要的文化服务功能;它们在保护珍贵的水下考古和历史遗产方面发挥着极其重要的核心作用(Krause-Jensen等人, 2016年)。根茎的年龄和生长速度可以通过查证双耳瓶的年龄来确定,而这是一个被严重忽视的海草服务领域。

### 3. 区域特有风险

许多地区数据不足, 或者没有在全球范围内收集数据。

东亚海域岛屿的例子最能说明数据的匮乏。东南亚和澳大利亚的海草物种和生境类型最为多种多样, 但仍然缺乏关于海草生境的基本信息。Fortes等人(2018年)指出, 东南亚海草的已知分布、范围、物种多样性、研究和知识差距没有得到清晰的显示。他们估计, 世界海洋生态区的生物地理区域约为36 700平方公里, 但这可能是低估了, 因为一些生态区没有得到很好的体现, 而且缺乏最新信息。

东亚浅海岛屿的群落生境拥有广阔的珊瑚礁, 与海草和红树林毗邻。印度主要的海草场生长在印度和斯里兰卡之间的马纳尔湾的东南海岸和保克湾, 以及阿拉伯海的拉克沙群岛和孟加拉湾的安达曼和尼科巴群岛的泻湖中。马纳尔湾是国家海洋公园, 面积约10 500平方公里, 由21个与海岸线平行的岛屿组成。需要进行管理、测绘和监测, 为当地人民维持这个宝贵的育幼区, 供其将海草场作为渔场使用。应该在当地人中培养对海草用途和重要生态系统的认识。海草在支持印尼成为世界第二大海产品生产国方面发挥了关键作用。该国海草的危险状态将损害其对气候变化的适应能力, 并导致其宝贵生态系统服务价值的丧失(Unsworth等人, 2018年)。

### 4. 展望

全球对海草及其提供的重要生态系统服务的普遍认识正在提高。概念和数学模型正在帮助管理人员实现以科学为基础的海草管理流程。可以对海草服务进行规划, 使其成为一个驱动因素、压力、状态、影响和响应框架, 包括欧洲联盟在内的世界各地的一些海草生态系统已经采用该框架来报告环境状况(Kelble等人, 2013年)。此种框架的目标是在确定海草生态系统的特征和基本调控流程方

缅甸丹老附近约800个岛屿有珊瑚礁和红树林, 背风面有海草。尚未绘制宝贵的海草生境地图, 但生境可能因捕捞鱼类和甲壳类而被过度开发(H. Kirkman, 个人通信)。

Arias-Ortiz等人(2018年)报告称, 在2010-2011年期间的一场海洋热浪之后, 西澳大利亚州鲨鱼湾36%的海草场遭到破坏。据报道, 鲨鱼湾拥有最大的海草生态系统碳储存, 占全球海草沉积物中储存的总碳量的1.3%。

澳大利亚东部昆士兰海岸的大片海草区域因飓风及其引发的浊度和污染物径流增加而丧失。据预测, 由于气候变化, 这类气旋将变得更加强烈。由于气候变化和人类活动, 地中海的波西多尼亚海草场也在以惊人的速度减少(Telesca等人, 2015年)。

在收集何种类型的数据以及如何收集数据方面也缺乏协调, 这导致生成无法进行区域间分析的数据集。

不仅在澳大利亚和亚洲, 在全球范围内海草也在减少。在加勒比海, 随着剑叶喜盐草的入侵, 情况发生了重大变化。此外, 地中海正在热带化过程中(Hyndes等人, 2016年)。

面达成以科学为基础的共识, 而此种生态系统是可持续的, 并能够提供多样化的生态系统服务。为了实现这一目标, 有必要在研究和管理方面考虑区域、社会、政治、文化、经济和公共卫生因素, 以及相关生态变量。

监测、评估和向管理人员报告对于确定管理行动、恢复或恶化是否发生至关重要。凡是需要管理海草的地方, 都应该采用由科学家和管理人员共同

设计的分级监测方法。Neckles等人(2012年)为这种方法提供了一个概念模型。Zimmerman等人

(2015年)使用数学模型预测了海洋变暖、酸化和水质对切萨皮克湾鳗草的影响。

## 5. 知识方面仍然存在的主要差距

对澳大利亚海草知识差距的评估发现,许多研究领域都有不足之处,包括分类学和系统学、生理学、种群生物学、沉积物生物地球化学和微生物学、生态系统功能、动物群生境、威胁、修复和复原、测绘和监测以及管理工具(York等人,2017年)。在全球都存在这些知识差距,如果要有效管理系统并使其有能力提供多样化的生态系统服务,就需要消除这些差距。为了实现这一目标,有必要在研究和管理方面考虑区域、社会、政治、文化、经济和公共卫生因素,以及相关生态变量。应该考虑同时应对多个压力因素相互作用的研究项目。这些系统极其复杂,很难准确预测多压力因素实验的所有下游影响。弥合知识差距方面的进展将取决于遥感、基因组学、微传感器、计算机

建模和统计分析方面的技术进步。跨学科方法将继续扩大对海草及其环境之间复杂相互作用的认知。与海草场有关的生态系统服务(以渔场为侧重点)以及威胁其生存的破坏性活动,应激励专家提出可能的解决方案,以防止进一步的损失。预计复原工作对于减轻海草所受干扰将越来越有必要(Statton等人,2018年)。

尽管人们越来越意识到海草与人类关系的重要性,但在以社会文化—经济为主题的研究中也存在知识差距。建议的解决办法包括在不了解海草用处的社区开展更多教育,例如,关于在马尔代夫和其他旅游目的地主动清除海草的做法<sup>1</sup>以及因建设不适当的海滩基础设施(如丁坝或码头)而导致海草等有机物质过度飘积的教育。

## 6. 能力建设方面仍然存在的差距

### 6.1. 绘制地图

海草分布图的细节和清晰度有待提高。最新的全球海草分布图是近10年前绘制的。应更新该分布图,对海草场和相关生境进行更多测绘。海草场的测绘正在世界许多不同地区进行,但目前还没有将产品纳入全球地图和收集元数据的中心。该地图将用来显示海草区域的最新消长、海草多样性以及对进一步信息的需求。卫星技术也在改进,并更频繁地用于海草测绘工作。

海草场是动态系统,这增加了测绘和监测的挑战,特别是一些物种存活时间很短(拓殖种或机会种)和/或容易受到风暴破坏。Duffy等人(2019年)设想绘制一张生态系统地图,其中包括一个将生物多样性与环境地球物理变量联系起来的海草多样性观测网络。

目前还没有可以共享信息的知识库,也没有可以在生态相关的尺度上跟踪变化的知识库。这将需要海草生态学家和管理人员定义一套衡量标准和采样方法,从而产生可以跨地区共享和比较的数据。详细的测绘可以使用无人机或多边带声纳来完成。Hamana和Komatsu(2016年)使用多窄波束声纳系统探测了海草场并对其相对丰度进行了估计。Gumusay等人(2019年)回顾了利用声学系统进行海草地图绘制、监测和探测应用的文献。高质量的航空图像数据库可以监测从局部到区域的海草覆盖率变化(例如Evans等人,2018年)。然而,这些备选方案都不是针对特定物种的,因此需要进行地面实况调查。暴风雨过后、疏浚期间以及受到陆上污染和富营养化的影响时,水的清澈度也是一个问题。当大量营养物质进入海洋并被大型藻

<sup>1</sup> 可查阅[www.maldivesresilientreefs.com/campaigns/seagrass/](http://www.maldivesresilientreefs.com/campaigns/seagrass/)。

类吸收时,就会发生富营养化。大型藻类生长在海草的叶子上,会窒息海草,阻止光合作用。

## 6.2. 碳固存

海草生态系统比陆地生态系统具有更大的碳固存能力(Macreadie等人,2019年)。海草与潮汐沼泽和红树林一起,贡献了海洋沉积物中固存的碳总量(蓝碳)的大约50%,尽管它们只占海洋面积的0.2%,其单位面积的有机碳固存速率比陆地森林高一到两个数量级。海草场通过光合作用固存二氧化碳,并将大量二氧化碳储存在植物中,但更重要的是,储存在下面的沉积物中(McCleod等人,2011; Fourqurean等人,2012年)。不同物种的沉积物固存有很大差异。大型海草,如海神草种,形成几米深的沉积层,可以储存数千年(Mateo等人,1997年)。Mazarrasa等人(2015年)估计,海草沉积物中颗粒无机碳的平均累积速率为每年 $126.3 \pm 31.05$ 克/平方米。基于海草场的全球规模(177 000至600 000平方公里),全球生态系统在沉积物顶部一米处储存11至39微微克的颗粒无机碳,每年累积22至75太克的颗粒无机碳。不幸的是,茂密的草场持续受到威胁(见先前对全球损失率的估计),遭受这一损失的同时是储存在草场中的二氧化碳的排放。例如,据估计,由于澳大利亚海草的持续减少而每年向大气排放的二氧化碳多达300万吨,因土地使用变化而产生的年度二氧化碳排放量增加12-21%(Serrano等人,2019年)。此外,海草场的破坏和减少将降低二氧化碳的持续固存水平。

通过养护和复原植被繁茂的沿海生态系统,有可能避免温室气体的排放,并加强温室气体的固存,这已被许多国家认为是实现其温室气体减排政策目标的一种手段(Martin等人,2016年)。然而,要实现这一潜力,需要解决一些主要的信息差距和政策问题。Macreadie等人最近的一份综述(2019年)为未来几十年蓝碳科学的研究提供了一个全面的路线图。

## 6.3. 气候变化

不断变化的气候和海洋条件正在影响宝贵的海洋资源以及依赖这些资源的社区。气候变化对海草场的影响涉及多个主题。据预测,极端气候事件将变得更加频繁和严重(政府间气候变化专门委员会(气专委),2013年),导致生态系统发生剧烈变化,其规模可能大于逐渐改变的气候造成的变化(Wernberg等人,2016年)。应对关键海洋物种和生境进行气候脆弱性评估,以更好地了解哪些物种最脆弱,从而可能需要创新的管理战略。<sup>2</sup>随着热带物种取代温带生态系统,由气候驱动的物种分布变化引起的生态系统重新配置预计将产生深远的生态、社会和经济影响(Vergés等人,2014年)。入侵物种也可能引起物种分布范围转移,从而改变所提供的生态系统服务。例如,在过去的20年里,加勒比海出现了剑叶喜盐草,研究表明鱼类群聚发生了很大的变化,对海龟的影响也很大。非本土的矮大叶藻也改变了它拓殖的河口群落(Vergés等人,2014年)。据预测,气候变化可能会导致许多地方的风暴减少,但强度更大(Gera等人,2014年),因此,当地的扰动和水质的损失一次会持续数周到数月。这将干扰海草场,并导致管理和政策变化。虽然海草钙质附生植物的丧失可能会通过影响酸度而产生好处(有关海洋酸化的详细信息,请参阅第5章),但Alsterberg等人(2013年)预测,在高二氧化碳、高营养物质和高温度下,非钙质附生植物,如丝状藻类和硅藻,将会增加。这可能会导致附生植物群落结构发生变化,从不太适宜食用的钙质藻类转变为更适宜食用的藻类。此外,在高二氧化碳环境下,海草产生较少的阻食物质酚类物质(Arnold等人,2012年),这可能会使海草叶子更适于一些无脊椎动物和食草鱼类食用。二氧化碳的增加对海草生理机能的积极影响可能有助于缓解其他已知影响海草生长和存活的环境压力因素的负面影响,尽管温度升高和光照减少可能会抵消可用碳的增加(Collier等人,2018年)。

一些物种也可能发生分布范围转移,即温带海草物种被热带物种取代,群落结构也会发生变化。目

<sup>2</sup> 见[www.fisheries.noaa.gov/national/climate/climate-vulnerability-assessments](http://www.fisheries.noaa.gov/national/climate/climate-vulnerability-assessments)。

前,海草地理范围发生变化的证据有限,尽管目前对变暖范围边缘(如地中海和澳大利亚的鲨鱼湾)的预测表明,随着气候变暖的加速,到2100年,其大型温带海草物种将发生功能性灭绝(Hyndes等人,2016年)。

## 6.4. 复原和恢复

恢复和缓解干扰机制通常是第一道防线(而且成本更低),但在快速变化的环境中,生态复原或干预正变得越来越必要,而在海草生境已经丧失或严重退化的情况下,生态复原或干预可能是一种

更有效的管理策略(Statton等人,2018年)。复原的成功率有所提高,但仍然极其有限。复原和恢复海草场是一项重要活动,正在记录在复原成功方面取得的一些重大进展(例如:Orth等人,2017年;Wendländer等人,2019年)。虽然复原对减轻海草所受干扰的必要性越来越大,但必须强调的是,复原从来都不是百分之百的成功,而且往往成功率远远不到50%。此外,退化的海床经复原很少能提供与原先相同水平的生态系统服务。因此,依赖复原将导致全球海草的持续丧失。保护现有草场免受进一步大规模破坏将是更好的资源利用办法。

## 参考资料

- Alsterberg, Christian, and others (2013). Consumers mediate the effects of experimental ocean acidification and warming on primary producers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, No. 21, pp. 8603–8608.
- Arias-Ortiz, Ariane, and others (2018). A marine heatwave drives massive losses from the world's largest seagrass carbon stocks. *Nature Climate Change*, vol. 8, No. 4, p. 338.
- Arnold, Thomas, and others (2012). Ocean acidification and the loss of phenolic substances in marine plants. *PLoS One*, vol. 7, No. 4, e35107.
- Brustolin, Marco Colossi, and others (2019). Future ocean climate homogenizes communities across habitats through diversity loss and rise of generalist species. *Global Change Biology*, vol. 25, No. 10, pp. 3539–3548.
- Collier, Catherine J., and others (2018). Losing a winner: thermal stress and local pressures outweigh the positive effects of ocean acidification for tropical seagrasses. *New Phytologist*, vol. 219, No. 3, pp. 1005–1017.
- Constanza, Robert, and others (2014) Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, vol. 26, pp. 152–158.
- Cullen-Unsworth, L.C., and others (2014). Seagrass meadows globally as a coupled social-ecological system: Implications for human wellbeing. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 83, pp. 387–397. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.06.001>.
- Dewsbury, Bryan M., and others (2016). A review of seagrass economic valuations: Gaps and progress in valuation approaches. *Ecosystem Services*, vol. 18, pp. 68–77.
- Duffy, J. Emmett, and others (2019). Toward a coordinated global observing system for seagrasses and marine macroalgae. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 317.
- Evans, Suzanna M., and others (2018). Seagrass on the brink: decline of threatened seagrass *Posidonia australis* continues following protection. *PLoS One*, vol. 13, No. 4.
- Fortes, Miguel D., and others (2018). Seagrass in Southeast Asia: a review of status and knowledge gaps, and a road map for conservation. *Botanica Marina*, vol. 61, No. 3, pp. 269–288.
- Fourqurean, James W., and others (2012). Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience*, vol. 5, No. 7, p. 505.

- Gera, Alessandro, and others (2014). The effect of a centenary storm on the long-lived seagrass *Posidonia oceanica*. *Limnology Oceanography*, vol. 59, pp. 1910–1918.
- Gumusay, Mustafa Umit, and others (2019). A review of seagrass detection, mapping and monitoring applications using acoustic systems. *European Journal of Remote Sensing*, vol. 52, No. 1, pp. 1–29.
- Hamana, Masahiro, and Teruhisa Komatsu (2016). Real-time classification of seagrass meadows on flat bottom with bathymetric data measured by a narrow multibeam sonar system. *Remote Sensing*, vol. 8, No. 2, art. 96.
- Hyndes, Glenn A., and others (2016). Accelerating tropicalization and the transformation of temperate seagrass meadows. *Bioscience*, vol. 66, No. 11, pp. 938–948.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate, T.F. Stocker and others, eds. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- Kelble, Christopher R., and others (2013). The EBM-DPSER Conceptual Model: Integrating Ecosystem Services into the DPSIR Framework. *PLOS ONE*, vol. 8, No. 8, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070766>.
- Krause-Jensen, Dorte, and others (2016). Seagrass sedimentary deposits as security vaults and time capsules of the human past. *Ambio*, vol. 48, No. 4, pp. 325–335.
- Lamb, Joleah B., and others (2017). Seagrass ecosystems reduce exposure to bacterial pathogens of humans, fishes, and invertebrates. *Science*, vol. 355, No. 6326, pp. 731–733.
- Ling, Scott D., and John P. Keane (2018). Resurvey of the Longspined Sea Urchin (*Centrostephanus rodgersii*) and associated barren reef in Tasmania. Institute for Marine and Antarctic Studies Report. University of Tasmania, Hobart, 52 p.
- Macreadie, Peter I., and others (2019). The future of Blue Carbon science. *Nature Communications*, vol. 10, No. 1, pp. 1–13.
- Martin, A., and others (2016). Blue Carbon - Nationally Determined Contributions Inventory. Appendix to: Coastal blue carbon ecosystems. Opportunities for Nationally Determined Contributions. Published by GRID-Arendal, Norway. ISBN: 978-82-7701-161-5.
- Mateo, Miguel A., and others (1997). Dynamics of millenary organic deposits resulting from the growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 44, No. 1, pp. 103–110.
- Mazarrasa, I., and others (2015). Seagrass meadows as a globally significant carbonate reservoir. *Biogeosciences*, vol. 12, No. 16, pp. 4993–5003. <https://doi.org/10.5194/bg-12-4993-2015>.
- Mcleod, Elizabeth, and others (2011). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 9, No. 10, pp. 552–560.
- National Oceans Office (2002). *Sea Country: An Indigenous Perspective: The South-East Regional Marine Plan*. Assessment Reports.
- Neckles, Hilary A., and others (2012). Integrating scales of seagrass monitoring to meet conservation needs. *Estuaries and Coasts*, vol. 35, No. 1, pp. 23–46. <https://doi.org/10.1007/s12237-011-9410-x>.
- O'Brien, Katherine R., and others (2018). Seagrass ecosystem trajectory depends on the relative timescales of resistance, recovery and disturbance. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 134, pp. 166–176.
- Orth, Robert J., and others (2017). Submersed aquatic vegetation in Chesapeake Bay: sentinel species in a changing world. *Bioscience*, vol. 67, No. 8, pp. 698–712.

- Ruckelshaus, Mary H., and others (2016). Evaluating the benefits of green infrastructure for coastal areas: location, location, location. *Coastal Management*, vol. 44, No. 5, pp. 504–16. <https://doi.org/10.1080/08920753.2016.1208882>.
- Serrano, Oscar, and others (2019). Australian vegetated coastal ecosystems as global hotspots for climate change mitigation. *Nature Communications*, vol. 10, No. 1, pp. 1–10.
- Statton, John, and others (2018). Decline and restoration ecology of Australian seagrasses. In *Seagrasses of Australia*, pp. 665–704. Springer.
- Telesca, Luca, and others (2015). Seagrass meadows (*Posidonia oceanica*) distribution and trajectories of change. *Scientific Reports*, vol. 5, art. 12505.
- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Unsworth, Richard K.F., and others (2018). Indonesia's globally significant seagrass meadows are under widespread threat. *Science of the Total Environment*, vol. 634, pp. 279–286.
- Unsworth, Richard, K.F., and others (2019). Global challenges for seagrass conservation. *Ambio*, vol. 48, No. 8, pp. 801–815.
- Vergés, Adriana, and others (2014). The tropicalization of temperate marine ecosystems: climate-mediated changes in herbivory and community phase shifts. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 281, No. 1789, p20140846.
- Waycott, Michelle, and others (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 106, No. 30, pp. 12377–12381.
- Wendländer, Nele Svenja, and others (2019). Assessing methods for restoring seagrass (*Zostera muelleri*) in Australia's subtropical waters. *Marine and Freshwater Research*.
- Wernberg, Thomas, and others (2016). Climate-driven regime shift of a temperate marine ecosystem. *Science*, vol. 353, No. 6295, pp. 169–172.
- Wu, Paul Pao-Yen, and others (2018). Managing seagrass resilience under cumulative dredging affecting light: Predicting risk using dynamic Bayesian networks. *Journal of Applied Ecology*, vol. 55, No. 3, pp. 1339–1350.
- York, Paul H., and others (2017). Identifying knowledge gaps in seagrass research and management: an Australian perspective. *Marine Environmental Research*, vol. 127, pp. 163–172.
- Zimmerman, Richard C., and others. (2015) Predicting effects of ocean warming, acidification, and water quality on Chesapeake region eelgrass. *Limnology and Oceanography*, vol. 60, No. 5, pp.1781–1804.

# 第 7H 章

# 红树林

撰稿人：José Souto Rosa Filho (召集人)、Nahid Abdel Rahim Osman 和 Colin D. Woodroffe。



## 主旨要点

- 尽管红树林具有重要的生态和社会经济意义，尤其是作为碳汇，但它们的面积一直在逐年减少。
- 尽管在大多数地区毁林仍在继续，但各大洲的植树造林和重新种植红树林已经部分降低了红树林面积损失速度，从每年约2%降至每年不到0.4%。
- 人口密度的增加和沿海地区的无计划开发是红树林面临的主要威胁。
- 全球气候变化，如海平面和温度上升，正在导致红树林向两极扩张，并在一些地区向陆地延伸至盐沼。
- 地方行动和国际协议促进了红树林的保护，但地方、州和国家政府以及当地社区的官僚作风和缺乏承诺限制了在这方面取得成功。

## 1. 引言

红树林出现在118个国家，占据热带和亚热带区域的河口和海岸(Tomlinson, 2016年)，是有记录的73个物种和杂交物种的家園，在亚洲多样性最高和分布范围最广(Spalding, 2010年)。红树林是海洋和陆地交界处的关键生态系统，与大多数人类活动相互影响(联合国, 2017年b; Feller等人, 2017年)。

正如《第一次世界海洋评估》(联合国, 2017年a)第48章指出的那样，红树林虽然只占世界热带雨林总数的0.7%，但提供海鲜、柴火和木材，以及海岸线保护、碳输出和固存以及废物的生物修复等服务。除了产品和服务，红树林还提供文化生态系统服务，这是当地社区和主要利益攸关方生活、生计和文化认同的重要组成部分(Mitra, 2020年a)。

尽管红树林具有生态、社会经济和文化价值，但它们是地球上最受威胁的生态系统之一。红树林遭到破坏的速度是平均森林损失率的三到五倍，超过四分之一的原始红树林已经消失(联合国环境规划署(环境署), 2014年; Richards和Friess, 2016年)。尽管红树林继续退化，并已从特定区域消失，但养护举措、修复努力、自然再生和与气候变化相关的扩增已使其他地方的红树林增加(Feller等人, 2017年)。

在远离人类直接影响的地区，由于自然环境驱动因素，红树林面积发生了很大变化(Rioja-Nieto等人, 2017年; Lucas等人, 2018年)。Spalding等人

(1997年)估计全球红树林覆盖面积为181 000平方公里，但Giri等人(2011年)将这一数字向下订正为137 760平方公里，这与全球红树林观察(Bunting等人, 2018年)提供的估计值相似。

沿海地区人口密度的增加是对红树林的主要威胁，特别是无计划的城市发展、水产养殖、向农业用途的转化(如水稻种植)和对木材的过度开发(联合国, 2017年b; Ferreira和Lacerda, 2016年; Thomas等人, 2018年; Romañach等人, 2018年)。然而，在全球范围内，从20世纪末到21世纪初，红树林损失率从每年约2%下降到每年不到0.4%(Friess等人, 2019年b, 2020年)。

在过去十年中，全球范围的红树林分布数据的质量和可用性一直在提高(Hamilton和Casey, 2016年; Ferreira和Lacerda, 2016年; Thomas等人, 2018年; Romañach等人, 2018年; Saintilan等人, 2019年; Lucas等人, 2020年)，并且为了更好地理解红树林的变化，已经启动了许多国家倡议(公共和/或公私伙伴关系)(Schaeffer-Novelli等人, 2016年)。评估红树林的主要方法之一是使用卫星数据(Giri等人, 2011年; Li等人, 2013年; Duncan等人, 2017年; Jayakumar, 2019年; Lymburner等人, 2019年)。

最近，云计算平台，如谷歌地球引擎(Gorelick等人, 2017年)和Amazon Web Services(Chen等人, 2017年; Lucas等人, 2020年)的出现，通过将几

个拍字节的轨道和地理空间数据与统计分析资源相结合,使得人们能够更可靠地估计当地、区域和全球红树林覆盖面积以及连续几年的变化(Diniz等人,2019年)。

## 2. 2010-2020年间红树林状态记录在案的变化

世界范围内红树林所占的面积每年都在减少。红树林的状态因国家和区域而异(Romañach等人,2018年)。虽然大多数地区仍在继续毁林,但一些地区植树造林和重新种植红树林减缓了红树林损失的速度(Li等人,2013年;Cavanaugh等人,2014年;Ferreira和Lacerda,2016年;Friess等人,2019年b,2020年)。根据Almahasheer等人(2016年)的记录,红海中红树林的面积增加了12%。在新西兰,红树林在过去50-80年间迅速扩张,其原因是河口加速充填和潮滩垂直堆积(Horstman等人,2018年)。

在红树林分布的所有地区都记录有人类活动造成的红树林损失。红树林破坏的主要驱动因素是海岸带人口密度的增加(Branoff,2017年;Saifullah,2017年;Romañach等人,2018年)。红树林中最常见的人为活动是将红树林区域转变为水产养殖或农业用途(Thomas等人,2018年;见本《评估》第16章)。与红树林损失相关的其他因素还有伐木、侵蚀和沉积(见第13章)、制盐(Feller等人,2017年)和放牧(Ferreira和Lacerda,2016年;Thomas等人,2018年)。

红树林在一些社区不受欢迎,因为它们经常被认为是“侵占”或“低价值”物种(例如,红树林“破坏”了美丽的沙滩,使沙滩变得泥泞。新西兰红树林的破坏大多是当地社区(无论是否经过同意)造成的,原因是社区或机构缺乏对红树林价值的认识,或者担心失去政府或社区民选成员的支持。

全球气候变化也与红树林分布的变化有关(见第4章和第9章),如向极地和向陆地扩张(Cavanaugh等人,2014年;Saintilan等人,2019年),除非硬体基础设施阻止湿地的后退,湿地会因此消减,称为沿海挤压(Leo等人,2019年)。极端气候事

本章以《第一次评估》第48章中的观察为基础。红树是海生植物,在本《评估》的第6G章中述及,常见于在第7F章中讨论的河口和三角洲,并与盐沼(第7I章)和海草场(第7G章)有许多共同特征。

件会增加极端干旱造成的红树林死亡(Sippo等人,2018年),二氧化碳和氮素富集会促进其他植物的生长,从而抑制红树林幼苗的生长(McKee和Rooth,2008年;Zhang等人,2012年)。

2015年和2016年,澳大利亚卡奔塔利亚湾南部沿岸1000公里的红树林大面积死亡。该地区人烟稀少,这一事件似乎与异常漫长的严重干旱、前所未有的高温和海平面的暂时下降有关(Duke等人,2017年)。当时,澳大利亚北部的其他地区也出现了类似的顶梢枯死现象(Asbridge等人,2019年)。

### 2.1. 这一变化对海洋系统其他组成部分的影响及与后者的相互作用

#### 2.1.1. 红树林中的碳固存

红树林蓄积大量碳的能力为人所熟知(Tomlinson,2016年;Donato等人,2011,2012年;Estrada和Soares,2017年;Kauffman等人,2018年;Lagomasino等人,2019年),事实上,它们固存的碳是热带雨林的四倍(Rovai等人,2018年;Thomas等人,2018年)。最近的评估表明,全球红树林生物量在1.91到2.83拍克(Pg)之间(Hutchison等人,2014年a;Tang等人,2018年),而Simard等人(2018年)估计全球红树林碳储量为5.03拍克。在全球尺度上,其地上生物量的平均密度估计为每平方公里1.46兆克(Tang等人,2018年)。Rovai等人(2018年)预测,全球红树林土壤中的碳预算总量为2.26拍克。而2012年,全球红树林储存了4.19拍克的碳,其中巴西、印度尼西亚、马来西亚和巴布亚新几内亚占全球碳储量的50%以上(Hamilton和Friess,2018年)。

### 2.1.2. 生物多样性的丧失

红树林是世界上生产力最高的生态系统之一(Alongi, 2008年),会产生大量的杂物(落叶、树枝和其他废弃物),供各种动物使用。红树林也为无数的无脊椎动物和植物提供坚硬的附着基(气生根、树干、树枝、呼吸根和树叶)(Hogarth, 2015年; Romañach等人, 2018年)。除了对海洋生态系统做出重大贡献外,红树林还被世界各地400多种陆生哺乳动物、两栖动物和爬行动物所利用(Rog等人, 2016年),因为红树林为它们提供了免受人为干扰的避难所。全球红树林生境的减少对生物多样性产生了负面影响,对其他相关河口和沿海生态系统的自然生态系统功能产生了连锁效应,从而影响到至少三项关键的生态系统服务:可行渔业活动的数量(减少33%);提供育幼生境(减少69%);湿地提供的解毒服务(减少63%)(Worm等人, 2006年; Barbier等人, 2011年)。

### 2.1.3. 对邻近生境无脊椎动物和鱼类种群的影响

红树林较高的初级生产力和生境复杂性使其成为无脊椎动物和鱼类幼虫幼体的重要区域(Saenger等人, 2012年; Lee等人, 2014年)。一些生活在河流和近海海水或珊瑚礁中的甲壳类动物和鱼类的繁殖和(或)幼体生长需要红树林(Sheaves等人, 2012年; Bertini等人, 2014年; Hogarth, 2015年)。除了生态重要性,一些红树林甲壳类和软体动物在若干国家具有很高的经济和文化价值(Abdullah等人, 2016年; Beitzl, 2018年; Figueira等人, 2020年)。近年来,在红树林内源微生物的生

物勘探(Mitra, 2020年b)和红树林微型底栖动物初级生产(Kwon等人, 2020年)方面取得了相当大的进展。

### 2.1.4. 海岸保护的减少

红树林可以直接削弱波浪,从而增加对波浪能的阻力,因为它们的树干和根系(如呼吸根或支柱根)的密度很高。它们复杂的根系对稳定泥沙很重要,也可以减少风暴潮和海啸对内陆的影响(Marois和Mitsch, 2015年; Sheng和Zou, 2017年)。越南保护性红树林的边缘近几十年来已经丧失,最初是由于除草剂造成的落叶,随后是由于转向水产养殖和沿海开发(Phan等人, 2015年; Thinh和Hens, 2017年; Truong等人, 2017年; Fagherazzi等人, 2017年; Veettil等人, 2019年)。

### 2.1.5. 盐沼的位移

由于温度升高和海平面上升而导致的红树林向极地和向陆地扩张是以盐沼为代价的,在一些地区已经有这方面的记录(Record等人, 2013年; Saintilan等人, 2014年、2019年; Kelleway等人, 2016年; Hickey等人, 2017年; Feller等人, 2017年; Osland等人, 2017年)。在这两种湿地类型同时出现的地方,红树林继续扩张到相邻的盐沼地区(Yando等人, 2016年; Pérez等人, 2017年),这可能导致更大的碳储量以及相关动物群的变化(Smee等人, 2017年),尽管在某些情况下仍不清楚这是气候变化还是其他人为原因的结果(Boon, 2017年)。

## 3. 这些变化对人类社区、经济和福祉的影响

红树林在热带地区的社区中扮演着重要的文化和社会经济角色(Walters等人, 2008年; 环境署, 2014年)。全球红树林和潮汐沼泽提供的生态系统服务价值为每年每平方公里19.4美元(Costanza等人, 2014年)。红树林遭到破坏的后果主要但不完全与生物多样性的丧失和对鱼类、软体动物和无脊椎动物捕获量的相关影响有关,

还与海岸保护减少有关,这会影响到海岸建设和邻近海洋生境(Bertini等人, 2014年; Hogarth, 2015年; Sheng和Zou, 2017年)。

红树林面积的减少将导致红树林初级生产量以及相关动物的生物多样性和丰度的减少,从而影响到沿海和海上渔业活动。一项旨在对红树林和海洋渔业资源渔获量之间的关系进行正式和统计测试的

全球整合分析显示，红树林对世界各地各种红树林环境的渔获量有很大影响(Carrasquilla-Henau和Juanes, 2017年)。据估计，每公顷红树林生产价值0.2-12 305美元的和价值17.5-3 412美元的混合物种(Hutchison等人, 2014年b)。

研究表明，红树林能够保护沿海地区和生境(珊瑚礁和/或海草场)免受海浪、龙卷风、海啸和洪水的侵袭(Marois和Mitsch, 2015年; Sheng和Zou, 2017年; Veettil等人, 2019年)。红树林的支离破碎将显著降低它们在海岸保护中的作用(Lee等人, 2019年)。已完全长稳固的红树林边缘可以实现每100米红树林减少20%的波浪能(Mazda等人, 2006年)。红树林对沿海泛洪造成的淹没和破坏程度也有很大影响。据估计，如果所有的红树林都消失了，平均每年将有1 800万人遭受洪水，几乎增加40%，每年的财产损失将增加16%，即820亿美元(Reguero等人, 2018年)。

人们对红树林预计扩增的影响仍然知之甚少。模拟研究表明，气候变化将导致物种地理范围的变化，扩大某些物种的地理分布，增加某些地区存在的物种数量(Record等人, 2013年; Saintilan等人, 2014年、2019年; Simard等人, 2018年)。这些变化可能导致目前无红树林的沿海地区初级生产量的增加和生境的复杂性增加，这转而可能有利

于当地的生物多样性、渔业活动和海岸保护(Lee等人, 2014年)。

有关红树林碳固存的地方研究经常与有关可能反应的区域模型存在明显差异(Hayes等人, 2017年; Sasmito等人, 2020年)。在较短的时间尺度上，红树林扩张对蓝碳储存的更大贡献可能很难被察觉(Rogers等人, 2019年a)，但在较长时间尺度上，海平面上升似乎增加了沿海湿地的地下碳固存(Krauss等人, 2017年; Rogers等人, 2019年b)。红树林地区的管理并不总是基于研究成果；场区管理人员通常认为人为干扰是关键威胁，而大部分研究侧重于自然干扰，包括气候变化和海平面上升(Canty等人, 2018年)。尽管海平面上升被认为是红树林海岸线面临的主要威胁(Lovelock等人, 2015年)，越来越明显的是，在红树林下方的快速沉积至少可以部分抵消这种影响(Woodroffe等人, 2016年; Schuerch等人, 2018年)。

红树林与沿海渔业活动密切相关，与可持续发展目标14(水下生物)尤其相关。<sup>1</sup>红树林还可能通过提供生态系统服务，如渔场以及碳固存和储存，促进实现其他目标，包括目标2(零饥饿)，以及目标13(气候行动)(Friess等人, 2019年b)。其他几个目标应有利于从红树林获得直接和间接生计的当地社区，包括目标1(无贫困)、目标11(可持续城市和社区)以及目标15(陆地生物)。

## 4. 区域特有的主要变化和后果

正如前面几节所指出的，全球红树林面积一直在减少，这具有严重的经济、生态和社会影响(Lee等人, 2014年; Branoff, 2017年; Saifullah, 2017年; Romañach等人, 2018年; Mitra, 2020年a)。世界各地的红树林都受到了威胁，这在很大程度上是人为影响造成的，包括伐木、转向水产养殖和农业用途、城市化、污染和气候变化(环境署, 2014年; Ward等人, 2016年; Thomas等人, 2018年)。

Duke等人(2007年)在警告人类会迎来“没有红树林的世界”的开创性著作中预测，如果不采取任何

措施，到21世纪末，世界可能会失去红树林及其生态系统服务。然而，从那时起，在红树林的修复和造林方面作出了巨大努力，包括采取地方行动和签订国际协议(Feller等人, 2017年)。在全球范围内，从二十世纪末到二十一世纪初，红树林的损失率大幅下降(Friess等人, 2019年b)。这些结果引发了人们的猜测，即红树林保护工作可能已经从令人悲观转为较为乐观(Friess等人, 2020年)。

尽管最近红树林保护工作取得了成功，但现在就假定红树林的损失普遍减少还为时过早，因为这

<sup>1</sup> 见大会第70/1号决议。

种进展在世界各地的分布并不均匀。在东南亚的一些国家,红树林以每年0.41%至0.70%的速度遭到破坏(Friess等人,2019年b)。新的毁林前沿也开始出现在以前没有经历过重大红树林损失的地区,特别是在东南亚和西非(Friess等人,2020年)。

各种国家和国际保护政策工具帮助减少了一些国家的红树林损失或增加了红树林面积(Ferreira和Lacerda,2016年;Friess等人,2019年b,2020年)。例如,在巴西,75%的红树林在20年或更长时间内保持不变;10%的红树林在10年到20年间保持稳定;15%的红树林在10年或更短的时间内保持稳定(Diniz等人,2019年)。对多时相陆地卫星数据(1972年、2000年和2013年)的分析表明,红海红树林的覆盖面积每年增加约0.29%,从1972年到2013年的41年间总扩增幅度为12%(Almahasheer等人,2016年)。

## 5. 展望

根据现有信息,可以预测红树林面积将继续减少,因为人类活动的连续性已经导致世界大部分地区红树林的丧失(Friess等人,2020年)。在实施植树造林计划以及管理和保护措施的地区,红树林的破坏速度可能会减缓。

由于红树林遭到进一步破坏,预计河口地区的生产力将会下降,这将产生连锁效应。因此,沿海地区生物多样性的丧失可能会继续下去,包括在红树林、海草场和珊瑚礁方面。鉴于红树林作为无脊椎动物和鱼类的育幼场的作用,预计沿岸甚至离岸的鱼、甲壳类和软体动物渔获量中的鱼类种群

在一些区域,除了人工辅助的修复外,也记录有红树林的自然增长。2000年至2012年期间在东南亚被毁的红树林中,有15%以上恢复为红树林区(Friess等人,2019年b),其中部分是通过自然拓殖实现的。时断时续的红树林拓殖也增加了南美洲北海岸(Gardel等人,2011年)和新西兰泰晤士峡湾沿岸(Swales等人,2015年)的红树林面积。

气候变化,主要是温度升高、低温和冰冻事件减少以及可用水的变化(Saintilan等人,2014年;Cavanaugh等人,2014年)有利于红树林向极地扩展,澳大利亚、中国、墨西哥(太平洋海岸)、秘鲁、南非和美国(大西洋海岸)已有这方面的记录(Saintilan等人,2014年、2019年;Cavanaugh等人,2014年;Osland等人,2017年;Smee等人,2017年)。尽管红树林面积在其地理范围内的增加不太可能使全球红树林面积大幅增加,但它们可以对这些地区内的红树林面积作出重大贡献(Friess等人,2019年a)。

会减少(El-Regal和Ibrahim,2014年)。这可能会导致红树林缺失造成的经济损失进一步增加。

红树林的全部或部分(结构丧失)毁坏,无论是自然的,例如地震引起的下沉(Albert等人,2017年),还是人为的,都将削弱其海岸保护功能。红树林的丧失可能会增加龙卷风(Cavanaugh等人,2014年;Asbridge等人,2018年;Montgomery等人,2019年;Zhang等人,2020年)、海啸和洪水(Asbridge等人,2016年;Menéndez等人,2020年)造成的破坏,这增加了沿海设施的重建和维护成本,并增加了对居住在沿海地区的居民生命的威胁。

## 6. 知识和能力建设方面仍然存在的主要差距

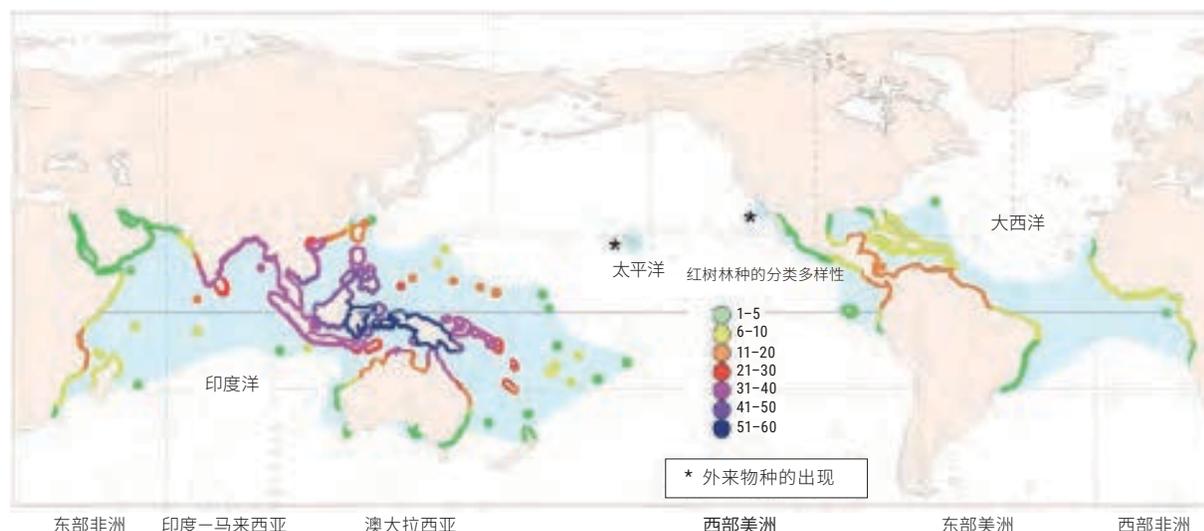
已经制定了一系列新的方法来研究红树林,包括使用陆地、空中和卫星传感器(Kamal和Phinn,2011年;Koedsin和Vaiphasa,2013年;Zhu等人,2015年;Mackenzie等人,2016年;Olagoke等人,2016

年;Duncan等人,2017年;Owers等人,2018年;Warfield和Leon,2019年;Wang等人,2020年)。然而,在全球和区域范围内仍然缺乏关于红树林状况的可靠调查,也缺乏评估红树林方法的

标准化。尽管最近有人推动弥合这些知识差距，特别是在南美和东南亚，但还需要进一步的研究，以使研究人员能够确定影响气候变化脆弱性和复原

力的过程(Ward等人, 2016年)。这一差距在最贫穷的发展中国家更加突出。

### 红树林的全球分布(蓝色阴影), 多样性显示为特定分类群(物种和名义杂交物种)的数量



资料来源：环境署，2014年。

几乎没有证明红树林和邻近沿海环境的生物多样性之间的相互联系和所涉机制的详细研究(不同的分类群组、大的时间和空间尺度)(Saunders等人, 2014年)。需要进一步研究生境(沼泽、海草和珊瑚礁)以及红树林和海洋渔业资源(沿岸和海洋)渔获量的可持续性以及它们之间的相互关系，以提高海岸管理者的能力，并使当地社区能够更有效地保护这些资源。

在前红树林地区复原退化的红树林和废弃的水产养殖池塘方面的能力建设方面仍然存在差距(Paul等人, 2017年; Worthington和Spalding, 2018年; Van Bijsterveldt等人, 2020年)。需要更广泛地采取复原红树林地区的做法; 在某些情况下, 复原工作更多地归功于经济激励, 而不是保护目标(Aheto等人, 2016年)。更广泛的修复可能会使整个热带地区的红树林更加健康。

### 参考资料

- Abdullah, Abu Nasar, and others (2016). Economic dependence on mangrove forest resources for livelihoods in the Sundarbans, Bangladesh. *Forests Policy and Economics*, vol. 64, pp. 15–24.
- Aheto, Denis Worlanyo, and others (2016). Community-based mangrove forest management: implications for local livelihoods and coastal resource conservation along the Volta estuary catchment area of Ghana. *Ocean & Coastal Management*, vol. 127, pp. 43–54.
- Albert, Simon, and others (2017). Winners and losers as mangrove, coral and seagrass ecosystems respond to sea-level rise in Solomon Islands. *Environmental Research Letters*, vol. 12, No. 9, 094009.
- Almahasheer, Hanan, and others (2016). Decadal stability of Red Sea mangroves. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 169, pp. 164–172.

- Alongi, Daniel M. (2008). Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 76, No. 1, pp. 1–13.
- Asbridge, Emma, and others (2016). Mangrove response to environmental change in Australia's Gulf of Carpentaria. *Ecology and Evolution*, vol. 6, No. 11, pp. 3523–3539.
- \_\_\_\_\_ (2018). The extent of mangrove change and potential for recovery following severe Tropical Cyclone Yasi, Hinchinbrook Island, Queensland, Australia. *Ecology and Evolution*, vol. 8, No. 21, pp. 10416–10434.
- \_\_\_\_\_ (2019). Assessing the distribution and drivers of mangrove dieback in Kakadu National Park, northern Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 228, art. 106353.
- Barbier, Edward B., and others (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, vol. 81, No. 2, pp. 169–193.
- Beitl, Christine (2018). Rights-based Approaches in Ecuador's Fishery for Mangrove Cockles. In *FAO Case Study for Tenure and User Rights in Fisheries (2018). Proceedings*.
- Bertini, Giovana, and others (2014). A test of large-scale reproductive migration in females of the amphidromous shrimp *Macrobrachium acanthurus* (Caridea: Palaemonidae) from south-eastern Brazil. *Marine and Freshwater Research*, vol. 65, No. 1, pp. 81–93.
- Boon, Paul I. (2017). Are mangroves in Victoria (south-eastern Australia) already responding to climate change? *Marine and Freshwater Research*, vol. 68, No. 12, pp. 2366–2374.
- Branoff, Benjamin L. (2017). Quantifying the influence of urban land use on mangrove biology and ecology: a meta-analysis. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 26, No. 11, pp. 1339–1356.
- Bunting, Pete, and others (2018). The global mangrove watch – a new 2010 global baseline of mangrove extent. *Remote Sensing*, vol. 10, No. 10, art. 1669.
- Canty, Steven W.J., and others (2018). Dichotomy of mangrove management: a review of research and policy in the Mesoamerican reef region. *Ocean & Coastal Management*, vol. 157, pp. 40–49.
- Carrasquilla-Henao, Mauricio, and Francis Juanes (2017). Mangroves enhance local fisheries catches: a global meta-analysis. *Fish and Fisheries*, vol. 18, No. 1, pp. 79–93.
- Cavanaugh, Kyle C., and others (2014). Poleward expansion of mangroves is a threshold response to decreased frequency of extreme cold events. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, No. 2, pp. 723–727.
- Chen, Xiuhong, and others (2017). Running climate model on a commercial cloud computing environment: a case study using Community Earth System Model (CESM) on Amazon AWS. *Computers & Geosciences*, vol. 98, pp. 21–25.
- Costanza, Robert, and others (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, vol. 26, pp. 152–158.
- Diniz, Cesar, and others (2019). Brazilian Mangrove Status: Three Decades of Satellite Data Analysis. *Remote Sensing*, vol. 11, No. 7, art. 808.
- Donato, Daniel C., and others (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, vol. 4, No. 5, pp. 293–297.
- \_\_\_\_\_ (2012). Whole-island carbon stocks in the tropical pacific: implications for mangrove conservation and upland restoration. *Journal of Environmental Management*, vol. 97, pp. 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.12.004>.
- Duke, Norman C., and others (2007). A world without mangroves? *Science*, vol. 317, pp. 41–42.
- \_\_\_\_\_ (2017). Large-scale dieback of mangroves in Australia's Gulf of Carpentaria: a severe ecosystem response, coincidental with an unusually extreme weather event. *Marine and Freshwater Research*, vol. 68, No. 10, pp. 1816–1829.

- Duncan, Clare, and others (2017). Satellite remote sensing to monitor mangrove forest resilience and resistance to sea level rise. *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 9, No. 8, pp. 1837–52. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12923>.
- El-Regal, Mohamed A. Abu, and Nesreen K. Ibrahim (2014). Role of mangroves as a nursery ground for juvenile reef fishes in the southern Egyptian Red Sea. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, vol. 40, No. 1, pp. 71–78.
- Estrada, Gustavo C.D., and Mario L.G. Soares (2017). Global patterns of aboveground carbon stock and sequestration in mangroves. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, vol. 89, No. 2, pp. 973–989.
- Fagherazzi, Sergio, and others (2017). Buried alive or washed away: the challenging life of mangroves in the Mekong Delta. *Oceanography*, vol. 30, No. 3, pp. 48–59.
- Feller, Ilka C., and others (2017). The state of the world's mangroves in the 21st century under climate change. *Hydrobiologia*, vol. 803, No. 1, pp. 1–12.
- Ferreira, Alexander Cesar, and Luiz Drude Lacerda (2016). Degradation and conservation of Brazilian mangroves, status and perspectives. *Ocean & Coastal Management*, vol. 125, pp. 38–46.
- Friess, Daniel A., and others (2019a). SDG 14: Life below Water – Impacts on Mangroves. In *Sustainable Development Goals: Their Impacts on Forests and People*, P. Katila and others, eds., pp. 445–481. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2019b). The state of the world's mangrove forests: past, present, and future. *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 44, pp. 89–115.
- \_\_\_\_\_ (2020). Mangroves give cause for conservation optimism, for now. *Current Biology*, vol. 30, No. 4, pp. R153–R154.
- Gardel, Antonie, and others (2011). Wave-formed mud bars: their morphodynamics and role in opportunistic mangrove colonization. *Journal of Coastal Research*, Special issue 64: Proceedings of the 11th International Coastal Symposium, pp. 384–387.
- Giri, Chandra, and others (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 20, No. 1, pp. 154–159.
- Gorelick, Noel, and others (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, vol. 202, pp. 18–27.
- Hamilton, Stuart E., and Daniel Casey (2016). Creation of a high spatio-temporal resolution global database of continuous mangrove forest cover for the 21st century (CGMFC-21). *Global Ecology and Biogeography*, vol. 25, No. 6, pp. 729–738.
- Hamilton, Stuart E., and Daniel A. Friess (2018). Global carbon stocks and potential emissions due to mangrove deforestation from 2000 to 2012. *Nature Climate Change*, vol. 8, No. 3, pp. 240–244.
- Hayes, Matthew A., and others (2017). Dynamics of sediment carbon stocks across intertidal wetland habitats of Moreton Bay, Australia. *Global Change Biology*, vol. 23, No. 10, pp. 4222–4234.
- Hickey, Sharyn M., and others (2017). Is climate change shifting the poleward limit of mangroves? *Estuaries and Coasts*, vol. 40, No. 5, pp. 1215–1226.
- Hogarth, Peter J. (2015). *The Biology of Mangroves and Seagrasses*. 3rd ed. Oxford University Press.
- Horstman, Erik M., and others (2018). The dynamics of expanding mangroves in New Zealand. *Threats to Mangrove Forests: Hazards, Vulnerability, and Management*, C. Makowski and C.W. Finkl, eds., pp. 23–52. Springer.
- Hutchison, James, and others (2014a). Predicting global patterns in mangrove forest biomass. *Conservation Letters*, vol. 7, No. 3, pp. 233–240.
- \_\_\_\_\_ (2014b). *The Role of Mangroves in Fisheries Enhancement*. The Nature Conservancy and Wetlands International.

- Jayakumar, K. (2019). Chapter 15 – Managing Mangrove Forests Using Open Source-Based WebGIS. In *Coastal Management*, R.R. Krishnamurthy, and others, eds., pp. 301–21. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810473-6.00016-9>.
- Kamal, Muhammad, and Stuart Phinn (2011). Hyperspectral data for mangrove species mapping: a comparison of pixel-based and object-based approach. *Remote Sensing*, vol. 3, No. 10, pp. 2222–2242.
- Kauffman, J. Boone, and others (2018). Carbon stocks of mangroves and salt marshes of the Amazon region, Brazil. *Biology Letters*, vol. 14, No. 9, 20180208. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0208>.
- Kelleway, Jeffrey J., and others (2016). Seventy years of continuous encroachment substantially increases ‘blue carbon’ capacity as mangroves replace intertidal salt marshes. *Global Change Biology*, vol. 22, No. 3, pp. 1097–1109.
- Kwon, Bong-Oh, and others (2020). Spatiotemporal variability in microphytobenthic primary production across bare intertidal flat, saltmarsh, and mangrove forest of Asia and Australia. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 151, p. 110707
- Koedsin, Werapong, and Chaichoke Vaiphasa (2013). Discrimination of tropical mangroves at the species level with EO-1 Hyperion data. *Remote Sensing*, vol. 5, No. 7, pp. 3562–3582.
- Krauss, Ken W., and others (2017). Created mangrove wetlands store belowground carbon and surface elevation change enables them to adjust to sea-level rise. *Scientific Reports*, vol. 7, No. 1, pp. 1–11.
- Lagomasino, David, and others (2019). Measuring mangrove carbon loss and gain in deltas. *Environmental Research Letters*, vol. 14, No. 2, 025002.
- Lee, Shing Yip, and others (2014). Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: a reassessment. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 23, No. 7, pp. 726–43. <https://doi.org/10.1111/geb.12155>.
- \_\_\_\_\_ (2019). Better restoration policies are needed to conserve mangrove ecosystems. *Nature Ecology & Evolution*, vol. 3, No. 6, pp. 870–872.
- Leo, Kelly L., and others (2019). Coastal habitat squeeze: a review of adaptation solutions for saltmarsh, mangrove and beach habitats. *Ocean & Coastal Management*, vol. 175, pp. 180–190.
- Li, Mingshi S., and others (2013). Change and fragmentation trends of Zhanjiang mangrove forests in southern China using multi-temporal Landsat imagery (1977–2010). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 130, pp. 111–120.
- Lovelock, Catherine E., and others (2015). The vulnerability of Indo-Pacific mangrove forests to sea-level rise. *Nature*, vol. 526, No. 7574, pp. 559–563.
- Lucas, Richard and others (2018). Historical perspectives on the mangroves of Kakadu National Park. *Marine and Freshwater Research*, vol. 69, No. 7, pp. 1047–1063.
- \_\_\_\_\_ (2020). Structural characterisation of mangrove forests achieved through combining multiple sources of remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, vol. 237, p. 111543.
- Lymburner, Leo, and others (2019). Mapping the multi-decadal mangrove dynamics of the Australian coastline. *Remote Sensing of Environment*, vol. 238, 111185.
- MacKenzie, Richard A., and others (2016). Sedimentation and belowground carbon accumulation rates in mangrove forests that differ in diversity and land use: a tale of two mangroves. *Wetlands Ecology and Management*, vol. 24, No. 2, pp. 245–261.
- Marois, Darryl E., and William J. Mitsch (2015). Coastal protection from tsunamis and cyclones provided by mangrove wetlands – a review. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, vol. 11, No. 1, pp. 71–83.
- Mazda, Yoshihiro, and others (2006). Wave reduction in a mangrove forest dominated by *Sonneratia* sp. *Wetlands Ecology and Management*, vol. 14, No. 4, pp. 365–378.

- McKee, Karen, and Jill E. Rooth (2008). Where temperate meets tropical: multi-factorial effects of elevated CO<sub>2</sub>, nitrogen enrichment, and competition on a mangrove-salt marsh community. *Global Change Biology*, vol. 14, No. 5, pp. 971–984.
- Menéndez, Pelayo, and others (2020). The global flood protection benefits of mangroves. *Scientific Reports*, vol. 10, No. 1, pp. 1–11.
- Mitra, Abhijit (2020a). Mangroves: A Natural Ecosystem of Cultural and Religious Convergence. In *Mangrove Forests in India*, pp. 337–352. Cham, Switzerland: Springer.
- \_\_\_\_\_ (2020b). Ecosystem services of mangroves: an overview. In *Mangrove Forests in India*, pp. 1–32. Cham, Switzerland: Springer.
- Montgomery, John M., and others (2019). Attenuation of storm surges by coastal mangroves. *Geophysical Research Letters*, vol. 46, No. 5, pp. 2680–2689.
- Olagoke, Adewole, and others (2016). Extended biomass allometric equations for large mangrove trees from terrestrial LiDAR data. *Tree*, vol. 30, No. 3, pp. 935–947.
- Osland, Michael J. (2017). Mangrove expansion and contraction at a poleward range limit: climate extremes and land-ocean temperature gradients. *Ecology*, vol. 98, No. 1, pp. 125–137.
- Owers, Christopher J., and others (2018). Terrestrial laser scanning to quantify above-ground biomass of structurally complex coastal wetland vegetation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 204, pp. 164–176.
- Paul, Ashis K., and others (2017). Mangrove degradation in the Sundarbans. In *Coastal Wetlands: Alteration and Remediation*, pp. 357–392. Springer.
- Pérez, Alexander, and others (2017). Changes in organic carbon accumulation driven by mangrove expansion and deforestation in a New Zealand estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 192, pp. 108–116.
- Phan, Linh K., and others (2015). Coastal mangrove squeeze in the Mekong Delta. *Journal of Coastal Research*, vol. 31, No. 2, pp. 233–243.
- Record, S., and others (2013). Projecting global mangrove species and community distributions under climate change. *Ecosphere*, vol. 4, No. 3, art. 34. <https://doi.org/10.1890/ES12-00296.1>.
- Richards, Daniel R., and Daniel A. Friess (2016). Rates and drivers of mangrove deforestation in Southeast Asia, 2000–2012. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, No. 2, pp. 344–349.
- Rioja-Nieto, Rodolfo, and others (2017). Environmental drivers of decadal change of a mangrove forest in the North coast of the Yucatan peninsula, Mexico. *Journal of Coastal Conservation*, vol. 21, No. 1, pp. 167–175.
- Rog, Stefanie M., and others (2016). More than marine: revealing the critical importance of mangrove ecosystems for terrestrial vertebrates. *Diversity and Distributions*, vol. 23, No. 2, pp. 221–230.
- Rogers, Kerrylee, and others (2019a). Mangrove dynamics and blue carbon sequestration. *Biology Letters*, vol. 15, No. 3, 20180471.
- \_\_\_\_\_ (2019b). Wetland carbon storage controlled by millennial-scale variation in relative sea-level rise. *Nature*, vol. 567, No. 7746, pp. 91–95.
- Romañach, Stephanie S., and others (2018). Conservation and restoration of mangroves: global status, perspectives, and prognosis. *Ocean & Coastal Management*, vol. 154, pp. 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.01.009>.
- Rosa Filho, José Souto, and others (2018). Benthic Estuarine Assemblages of the Brazilian North Coast (Amazonia Ecoregion). In *Brazilian Estuaries: A Benthic Perspective*, Paulo da Cunha Lana and Angelo Fraga Bernardino, eds., pp. 39–74. Cham, Switzerland: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-77779-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77779-5_2).

- Rovai, André S., and others (2018). Global controls on carbon storage in mangrove soils. *Nature Climate Change*, vol. 8, No. 6, pp. 534–538.
- Saenger, Peter, and others (2012). *A Review of Mangrove and Seagrass Ecosystems and Their Linkage to Fisheries and Fisheries Management*. Bangkok: FAO Regional Office for Asia and the Pacific.
- Saifullah, S.M. (2017). The effect of global warming (climate change) on mangroves of Indus Delta with relevance to other prevailing anthropogenic stresses a critical review. *European Academic Research*, vol. 5, pp. 2110–2138.
- Saintilan, Neil, and others (2014). Mangrove expansion and salt marsh decline at mangrove poleward limits. *Global Change Biology*, vol. 20, No. 1, pp. 147–157.
- \_\_\_\_\_ (2019). Climate change impacts on the coastal wetlands of Australia. *Wetlands*, vol. 39, No. 6, pp. 1145–1154.
- Sasmito, Sigit D., and others (2020). Mangrove blue carbon stocks and dynamics are controlled by hydrogeomorphic settings and land-use change. *Global Change Biology*, vol. 26, No. 5, pp. 3028–3039.
- Saunders, Megan I., and others (2014). Interdependency of tropical marine ecosystems in response to climate change. *Nature Climate Change*, vol. 4, No. 8, pp. 724–729.
- Schaeffer-Novelli, Yara, and others (2016). Climate changes in mangrove forests and salt marshes. *Brazilian Journal of Oceanography*, vol. 64, No. Spe2, pp. 37–52.
- Sheaves, Marcus, and others (2012). Importance of estuarine mangroves to juvenile banana prawns. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 114, pp. 208–219.
- Sheng, Y. Peter, and Ruizhi Zou (2017). Assessing the role of mangrove forest in reducing coastal inundation during major hurricanes. *Hydrobiologia*, vol. 803, No. 1, pp. 87–103.
- Simard, Marc, and others (2018). Mangrove canopy height globally related to precipitation, temperature and cyclone frequency. *Nature Geoscience*, vol. 12, No. 1, pp. 40–45.
- Sippo, James Z., and others (2018). Mangrove mortality in a changing climate: an overview. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 215, pp. 241–249.
- Smee, Delbert L., and others (2017). Mangrove expansion into salt marshes alters associated faunal communities. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 187, pp. 306–313.
- Spalding, Mark (2010). *World Atlas of Mangroves*. Routledge.
- Spalding, M.D., and others (1997). *World Mangrove Atlas*. Okinawa, Japan: The International Society for Mangrove Ecosystems.
- Swales A., and others (2015). Mangrove-forest evolution in a sediment-rich estuarine system: opportunists or agents of geomorphic change? *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 40, No. 1, pp. 1672–1687.
- Tang, Wenwu, and others (2018). Big geospatial data analytics for global mangrove biomass and carbon estimation. *Sustainability*, vol. 10, No. 2, art. 472.
- Thinh, Nguyen An, and Luc Hens (2017). A Digital Shoreline Analysis System (DSAS) applied on mangrove shoreline changes along the Giao Thuy coastal area (Nam Dinh, Vietnam) during 2005–2014. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, vol. 39, No. 1, pp. 87–96.
- Thomas, Nathan, and others (2018). Mapping mangrove extent and change: a globally applicable approach. *Remote Sensing*, vol. 10, No. 9, art. 1466.
- Tomlinson, P. Barry (2016). *The Botany of Mangroves*. 2nd ed. Cambridge University Press.
- Truong, Son Hong, and others (2017). Estuarine mangrove squeeze in the Mekong Delta, Vietnam. *Journal of Coastal Research*, vol. 33, No. 4, pp. 747–763.
- Twilley, Robert R., and others (2018). Coastal morphology explains global blue carbon distributions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 16, No. 9, pp. 503–508.

- United Nations (2017a). Chapter 48: Mangroves. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2017b). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- United Nations Environment Programme (UNEP) (2014). The Importance of Mangroves to People: A Call to Action. Hanneke van Lavieren and others, eds. Cambridge: United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre.
- Van Bijsterveldt, Celine E.J., and others (2020). How to restore mangroves for greenbelt creation along eroding coasts with abandoned aquaculture ponds. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 235, art. 106576. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106576>.
- Walters, Bradley B., and others (2008). Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: a review. *Aquatic Botany*, vol. 89, No. 2, pp. 220–236.
- Wang, Dezhi, and others (2020). Estimating aboveground biomass of the mangrove forests on northeast Hainan Island in China using an upscaling method from field plots, UAV-LiDAR data and Sentinel-2 imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 85, 101986.
- Ward, Raymond D., and others (2016). Impacts of climate change on mangrove ecosystems: a region by region overview. *Ecosystem Health and Sustainability*, vol. 2, No. 4, art. e01211.
- Warfield, Angus D., and Javier X. Leon (2019). Estimating Mangrove Forest Volume Using Terrestrial Laser Scanning and UAV-Derived Structure-from-Motion. *Drones*, vol. 3, No. 2, art. 32.
- Woodroffe, Colin D., and others (2016). Mangrove sedimentation and response to relative sea-level rise. *Annual Review of Marine Science*, vol. 8, pp. 243–266.
- Worm, Boris, and others (2006). Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, vol. 314, No. 5800, pp. 787–790.
- Worthington, Thomas, and Mark Spalding (2018). *Mangrove Restoration Potential: A Global Map Highlighting a Critical Opportunity*.
- Yando, Erik S., and others (2016). Salt marsh-mangrove ecotones: using structural gradients to investigate the effects of woody plant encroachment on plant-soil interactions and ecosystem carbon pools. *Journal of Ecology*, vol. 104, No. 4, pp. 1020–1031.
- Zhang, Caiyun, and others (2020). Modelling risk of mangroves to tropical cyclones: a case study of Hurricane Irma. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 224, pp. 108–116.
- Zhang, Yihui, and others (2012). Interactions between mangroves and exotic *Spartina* in an anthropogenically disturbed estuary in southern China. *Ecology*, vol. 93, No. 3, pp. 588–597.
- Zhu, Yuanhui, and others (2015). Retrieval of mangrove aboveground biomass at the individual species level with worldview-2 images. *Remote Sensing*, vol. 7, No. 9, pp. 12192–12214.

# 第 71 章

## 盐沼

撰稿人：Judith S. Weis (召集人)、Luis M. Pinheiro和Katherine E.A. Segarra。



## 主旨要点

- 《第一次世界海洋评估》(联合国, 2017年)将盐沼定义为经常被咸水或微咸水淹没、植被以可适应定期或偶尔被潮汐浸没的耐盐植物为主的潮间带沿海系统。
- 盐沼是众多鸟类、鱼类、软体动物和甲壳类动物(包括一些重要的商业物种)的筑巢地、育幼场和觅食地。
- 因为盐沼的初级生产量大, 分解率低, 可以固存二氧化碳, 所以是非常有效的“蓝碳”汇, 但也会产生温室气体排放。
- 尽管许多地区采取了保护措施, 但全球盐沼的面积正在减少。
- 海平面上升是最大的威胁, 沼泽必须提高海拔以跟上海平面上升的速度, 或者向内陆迁移。自《第一次评估》以来, 这已经从一个未来的问题变成了当前的现实。如果沿海开发或对沉积物供应和输送的限制使得这两种调整都变得困难, 那么盐沼就会转变成泥滩和开阔水域。
- 世界各地的许多沼泽已显示出积水的迹象, 这表明它们海拔提高的速度不够快。
- 一些证据表明, 含有某些入侵植物的沼泽可能更能跟上海平面上升的速度。

## 1. 导言

盐沼遍布除南极洲以外的各大洲(Mcownen等人, 2017年; 见下图)。与红树林所在的亚热带和热带地区相比, 盐沼在温带气候地区更为普遍。盐沼是提供重要生态系统服务的高产生态系统, 如保护海岸、防止侵蚀、营养循环、为各种鱼类和鸟类提供生境以及固存二氧化碳(Barbier等人, 2011年)。

全球盐沼的范围正在缩小, 主要原因是海平面上升以及更加频繁和更加强烈的沿海风暴(Cahoon, 2006年; Duarte等人, 2013年)。自1980年以来, 全球历史覆盖率下降了25%至50%(Crooks等人, 2011年; Duarte等人, 2008年), 原因有很多, 包括为了农业和发展进行的填埋。剩余的湿地生态系统许多出现了富营养化、积水和疾病的迹象(Short等人, 2016年)。对盐沼的影响在很大程度上取决于海平面上升的相对速度和如上文所提到的其他因素(Adam, 2002年)。由于气候变暖, 分布在低纬度地区的盐沼正在被红树林所取代(Saintilan等人, 2014年)。红树林向盐沼的扩张可能会加强风暴防护和碳储存(Doughty等人, 2016年), 但也可能导致一些动物的生境减少。

盐沼是向人类提供生态系统服务的关键沿海生态系统, 如提供食物和保护人类免受风暴涌浪和风暴波的影响, 方式是减弱洪水(通过降低海浪高度)和保护免受污染物的影响以及“蓝碳”固存。根据Macreadie等人(2013年)的说法, 全球盐沼的碳埋藏量(根据初步评估, 高达87.2-9.6太克碳/年)似乎超过了热带雨林的碳埋藏量(53太克碳/年), 尽管盐沼所占的面积要小得多(0.1-2%)。然而, 某些盐沼的温室气体排放也可以很严重, 特别是在盐度低和有机质含量高的湿地(Bartlett等人, 1987年; Poffenbarger等人, 2011年; Huertas等人, 2019年)。关于甲烷排放, 气泡介导的通量(沸腾)在潮汐变化显著的浅水区也能发挥重要作用, 即由于水压较低, 在低潮时可以促进气体释放(Duarte等人, 2007年; Baulch等人, 2011年; Call等人, 2015年; Huertas等人, 2019年)。温室气体的大气通量, 主要是甲烷和一氧化二氮, 比二氧化碳更具全球升温的潜力(Duarte等人, 2007年; Roughan等人, 2018年)。包括富营养化和盐度变化在内的人为压力源可能会增加未来的温室气体通量(Chmura等人, 2016年; Yin等人, 2015年; Roughan等人, 2018年; Doroski等人, 2019年)。

《第一次评估》指出，盐沼面临的主要威胁是填海造地、沿海开发、疏浚、海平面上升和富营养化，海平面上升被确定为盐沼面临的最大气候相关威胁。根据美国国家海洋和大气管理局(2019年)的数据，从2006年到2015年，全球海洋平均水位每年上升3.6毫米，是二十世纪大部分时间年均上升速度的2.5倍。即使温室气体排放量在未来几十年保持相对较低的水平，到本世纪末，全球平均海平面可能会比2000年的水平上升至少0.3米。Nicholls等人(1999年)预测，如果海平面上升一米，世界上46%的沿海湿地将消失。海平面上升因地区而异，与预测的全球平均幅度可能存在超过±30%的差异(Oppenheimer等人，出版中)。盐沼可能会向内陆迁移，或者因应海平面上升而升高，但这因当地条件而异，包括一些地区会出现土地沉降。土地沉降的主要原因是地下水的抽离，但冰川均衡调整、土壤压实和填土沉降也会引起土地沉降(Eggleston等人，2013年)。沿海开发可能会阻碍经过管理的海岸线重划，因为沿海开发会限制可用于重新安置的内陆地区。当海平面上升推高低水位线而高水位因为海岸线上的建筑物已经固定下来的时候，就会发生这种“沿海挤压”的现象(Doody, 2004年)。Kirwan等人(2016年)的元分析表明，沼泽的生成速度通常接近或者超过历史海平面上升速度；基于过程的模型预测在未来各种海平面高度的情况下沼泽都会继续存在。他们认为，沼泽的脆弱性往往被夸大，因为评估方法往往没有考虑到随着海平面上升加速土壤形成的反馈过程以及沼泽向内陆迁移的可能性(Rogers等人(2019年)最近的一项全球分析证实了这一现象)。淤积率提高的话，碳埋藏率也会上升，意味

着气候变化会放缓(McTigue等人，2019年)。海平面上升也可能提高碳埋藏率。Scheider等人(2018年)发现，美国切萨皮克湾的历史沼泽损失通过将高地转化为沼泽得到了弥补。Schuerch等人(2018年)强调了高地空间(“适应空间”)对沼泽迁移的重要性，沼泽迁移要求沿途不能有人造基础设施。如果沿海挤压不是问题，沼泽向内陆迁移在大多数地方会容易得多，不过可能会受到陡坡的限制。

## 盐沼的全球分布



资料来源：数据来自McOwen等人，2017年。

注：使用ArcGIS 10.4创建。

自《第一次评估》以来，海平面上升导致沼泽消失的问题已成为当前而非未来的问题。使用最近的地表海拔表和评估工具来检测与海平面上升相比的沼泽增加速度，提供了记录沼泽损失情况的数据。激光雷达和航拍等遥感技术也能显示损失的程 度，可以定期用于监测变化速率。

## 2. 2010-2020年期间环境变化说明

全球的盐沼范围正在缩小。然而，由于海平面上升的速度在各地都不相同，因此存在区域差异。Crosby等人(2016年)整合了现有数据，并发现在欧洲和美国的许多地方，当地的海平面上升速度超过了盐沼的增长速度，这表明，即使在政府间气候变化专门委员会所设想的最乐观排放情景

下，到2100年，研究的沼泽中60%的增长速度也将低于海平面上升的速度。在过去几年中观察到的世界范围内风暴涌浪的增加影响到了潮汐盐沼的水位和盐度，这进而又可能影响这些地点的温室气体排放(二氧化碳、甲烷和一氧化二氮)(Capooci等人，2019年)。

虽然海平面上升是湿地损失的主要驱动因素,但富营养化也会造成湿地损失(Deegan等人,2012年)。富营养化增加了地上生物量,减少了根系生物量,增加了微生物分解,导致植物不稳定,进而造成河岸坍塌,最终沼泽地区变成了没有植被覆盖的淤泥(另见第10章)。某些鱼类的过度捕捞导致草食沼泽蟹数量增加,它们对沼泽草的消耗导致一些地区的沼泽梢枯(Bertness等人,2014年;另见

本《评估》第15章)。水涝和干旱造成的根茎死亡则是其他地区沼泽梢枯的原因(Elmer等人,2013年)。沉积物供应不足的沼泽最容易受到海平面上升的影响(见第13章)。

沿海沼泽的损失对海洋系统的其他组成部分产生了影响。随着沼泽的减少,相关河口系统的整体生产力可能会降低。

### 3. 这些变化对人类社区、经济和福祉的影响

Narayan等人(2017年)发现美国新泽西州的潮汐湿地在飓风桑迪所过之处避免了高达6.25亿美元的洪灾损失。他们估计,因为盐沼,每年的洪灾损失减少了16%,海拔较低的地区减少幅度更大。沿海湿地有能力减少财产损失并避免产生与风暴涌浪相关的支出(Rezaie等人,2020年)。随着沼泽面积减少,沿海风暴和极端天气事件变得更加强烈和频繁,人类社区得到的保护将减少,风暴造成的损失会增加,抗灾能力会降低。鱼类种群也可能随着仔鱼和稚鱼阶段生境的缩减而减少(见关于商业渔业的第15章),导致以海产食品为生的社区收入无以为继,粮食安全遭到破坏。

盐沼的损失和退化及其提供的生态系统服务和保护的减少将影响可持续发展目标的实现,<sup>1</sup>特别是因生态系统服务和粮食供应减少而影响目标1、2和8,因对沿海地区极端天气事件的保护减弱而影响目标11,因可能固存蓝碳同时又可能排放温室气体而影响目标13,以及因对生态系统产生影响而影响目标14和15。潮汐沼泽的损失也会带来社会经济后果。所提供货品的数量和种类减少,极有可能导致渔业减产、污染物固存减少、碳储存减少和风暴减弱以及向大气排放的氮和甲烷增加。此外,供人类消费的盐沼动物体内污染物增加,以及如果盐沼不去除废水中的病原体和污染物,导致水质变差,也会对人类健康产生影响。

### 4. 特定区域的主要变化和后果

盐沼在欧洲的海岸占据了相当大的面积,且植被各异。Natura 2000自然保护区网络正在加强对大部分盐沼地区的保护(欧洲委员会,2007年)。就植被而言,北大西洋盐沼主要是盐角草和其他一年生植物以及海岸米草(Bortolus等人,2019年),而在海岸较高处的地中海物种通常更耐干燥。总的来说,地中海沿岸盐沼面临的潮汐差异最小,被认为是弱潮,而大西洋沿岸的盐沼通常经历显著的潮汐变化。一般来说,潮汐幅度较大的地区会受到海平面上升的更严重影响(Devlin等人,2017年)。

南非的盐沼包括许多很少被水覆盖、支持盐生植物群落的潮上沼泽(Adams等人,2016年)。由于波浪的作用和沉积物的高可获性,90%以上的河口都有受限的入水口,大多数在沙洲形成时会暂时关闭(Cooper,2001年)。海平面上升、风暴和波浪高度增加以及河流流量变化将影响淹没模式、盐度梯度和沉积物生物地球化学(Van Niekerk,2018年)。如果有可用的土地,盐沼会向内陆迁移(Tabot和Adams,2013年;Veldkornet等人,2015年)。海平面上升将产生更多的开放条件,特别是

<sup>1</sup> 见大会第70/1号决议。

如果河口不受波浪作用并且几乎没有沉积物可获 (Van Niekerk, 2018年)。然而, 干旱和淡水流入的减少将导致河口关闭、洪水和盐沼植物的梢枯。

中国的盐沼以本土的芦苇或互花米草为主要植被, 后者是从英国和北美引入 (Gu等人, 2018年; Wan等人, 2009年)。在1980年代至2010年代

期间, 盐沼面积减少了约59%, 主要原因是填海造地 (Gu等人, 2018年; Tian等人, 2016年)。为了遏制这一趋势, 中国实施了复原和保护盐沼的政策措施, 如建立保护区、划定生态红线和严格控制造地。这种管理策略最近才出现, 因此, 它们的有效性还有待证明 (Bai等人, 2018年)。

## 5. 展望

若要存续, 盐沼必须以与海平面上升相等的速度上升, 或者向内陆迁移。前者需要获得足够的新沉积物, 后者则需要紧靠沼泽的内陆有未开发的土地且坡度适当。预计在许多地区, 沼泽将继续损失, 其生态系统服务和生物多样性也会随着一同损失。沼泽空间范围的缩小将减少生态系统服务的提供。盐沼的损失不仅降低了它们作为碳汇的能力, 而且相关的退化和干扰也会促使碳以二氧化碳的形式释放回大气中 (Pendleton等人, 2012年) 并导致如一氧化二氮和甲烷等其他温室气体的排放。

Peteet等人 (2018年) 发现, 城市发展极大地减少了矿物质沉积物的输入, 但有机质使得垂直积累的速度一度超过海平面上升。然而, 矿物质含量的减少导致沼泽结构薄弱和边缘损坏, 他们得出的结论认为, 沼泽的存续需要添加矿物质沉积物。Borchert等人 (2018年) 进一步展示, 在沿海已经开发的城市化河口, 迁徙走廊特别重要, 因为那里没有湿地向内陆移动和适应海平面上升的空间。

Davidson等人 (2018年) 的一项元分析发现, 某些入侵植物使生物量和碳储存潜力增加了100%以上。因为像入侵的芦苇这样的植物长得更大更快, 生态系统可以储存更多的碳, 而且这种植物还可以

促进沼泽海拔的提高。Rooth和Stevenson (2000年) 发现, 芦苇的凋落量更高, 矿物质和有机沉积物的捕获率也更高。因此, 这种物种可提供对抗海平面上升的策略, 尽管沼泽中的植物多样性会减少, 动物群也会发生一些变化。这一信息还没有改变铲除芦苇的恢复政策和项目。中国 (Zhang等人, 2004年; Zuo等人, 2012年) 和南美洲 (Bortolus等人, 2015年) 的盐沼因为互花米草的入侵, 出现了新的植被区, 从而降低了湿地的损失程度。

由于沼泽是地球上生产力最高的生态系统之一, 也是许多濒危物种的家园, 因此沼泽的损失将对整体生产力、生物多样性和生态系统服务产生重大影响。如果失去了沼泽对仔鱼和无脊椎动物的育幼功能, 预计将产生重大影响。沼泽损失也将影响鸟类, 因为沼泽是重要的繁殖、觅食、越冬和迁徙中转之地 (联合国环境规划署 (环境署), 2019年)。

Raposa等人 (2016年) 制定的潮汐盐沼适应能力指数表明, 太平洋沼泽可能比大西洋沼泽更具适应能力, 主要是由于目前位于平均高水位以下的植被比例不同。这些指数提供了一种评估适应能力、为管理方提供信息和确定湿地复原优先领域的方法。

沼泽生境的减少将带来社会经济后果, 包括鱼类种群减少、风暴保护减弱、碳和污染物固存减少以及水质下降。

## 6. 知识方面仍然存在的主要差距

虽然已有一些对沼泽中二氧化碳的通量的研究 (Forbrich和Giblin, 2015年; Wei等人, 2020年), 但还需要加深对盐沼沉积物—水界面以及水—大

气界面的温室气体通量的了解。潮汐对甲烷从沉积物—水界面逃逸现象的影响已有文献记载 (Duarte等人, 2007年; Poffenbarger等人, 2011

年; Baulch等人, 2011年; Call等人, 2015年; Segarra等人, 2013年; Huertas等人, 2019年), 但是仍然不知道这些系统排放的温室气体通量的量化情况。这同样适用于一氧化二氮的排放, 实验研究表明了营养输入的影响(Bulseco等人, 2019年), 但同样, 没有长期持续测量和对所涉及的通量进行量化。未来盐沼将在全球碳和温室气体预算中起什么作用, 很大程度上是未知的, 因为它们的范围以及水文、营养和盐度机制正在发生变化(Poffenbarger等人, 2011年)。

另一个知识差距与如何提高盐沼对海平面上升的韧性有关。目前尚不知道原地保留一些芦苇的最佳技术以及这样做对加速沼泽上升的效果。在许多地区, 维持沼泽向内陆迁移的迁徙走廊很重要, 并且需要开展更多调查和展示更多政治

意愿。提高沼泽海拔的一种可行方式是“薄层沉积”, 即将潮汐溪流的沉积物喷洒到沼泽表面(Ford等人, 1999年)。其他措施可包括人工供应疏浚材料, 以达到足够高的淤积率, 使潮滩能够适应海平面上升(Mendelssohn和Kuhn, 2003年)。这些措施的长期有效性和必要的执行频率尚不清楚。当沼泽边缘受到侵蚀时, 可在边缘放置牡蛎礁、“礁球”或岩石形式的“活海岸线”, 防止进一步侵蚀(Bilkovic等人, 2017年)。与硬体的边缘或天然沼泽相比, 活海岸线更能增强沼泽对飓风的抵御能力(Smith等人, 2016年)。另一种方法是制造漂浮沼泽(Streb等人, 2019年)。然而, 由于这些方法相对较新, 它们在海平面上升的情况下能否继续有效还有待观察。

## 7. 能力建设方面仍然存在的主要差距

截至2020年, 985个沿海湿地被指定为拉姆萨尔公约地点。<sup>2</sup>这些占地近7 500万公顷的湿地因其对人类的重要价值而得到认可, 并有待以保持其生态特征并促进合理利用的方式得到管理。<sup>3</sup>自《公约》于1975年生效以来, 拉姆萨尔湿地的数量稳步增加。然而, 由于从那以后全球湿地面积明显减少, 拉姆萨尔湿地政策的实施效果值得怀疑(Finlayson, 2012年)。世界各地的科学家称, 迫切需要立即采取行动, 向更可持续的做法过渡(Ripple等人, 2017年), 并减少像湿地和盐沼这样提供生态系统服务的重要自然生境的损失(Finlayson, 2019年; Finlayson等人, 2019年)。

一些国家缺乏足够的专门知识或资源来研究和修复盐沼。在美国, 路易斯安那州拥有北美最全面的

海岸复原计划之一, 对沼泽建设的投资也最多(171亿美元), 并将利用疏浚物和沉积物移用来建设和维护沿海土地。这种投资支撑着重大复原项目高额的资金和组织成本。在世界许多地区, 这种干预超出了单个国家的能力。此外, 一些国家虽然有能, 但尚未将养护沿海湿地列为优先事项。需要在全局一级投入大量时间和资源, 加上广泛的政府意识、协议和共同承诺, 才能扭转目前在盐沼中观察到的有害趋势。海平面上升和人类发展共同威胁着全球沼泽的范围。养护和复原工作必须认识到, 湿地生境将随着海平面上升的加速不断变化。未开发的沿海土地可能在下个世纪变成沼泽; 然而, 人类发展将是这一转变过程的主要障碍。

## 参考资料

Adams, J.B., and others (2016). Distribution of macrophyte species and habitats in South African estuaries. *South African Journal of Botany*, vol. 107, pp. 5–11.

Adam, P. (2002). Saltmarshes in a time of change. *Environmental Conservation*, vol. 29, No. 1, pp. 39–61.

<sup>2</sup> 《关于特别是作为水禽栖息地的国际重要湿地公约》(联合国, 《条约汇编》, 第996卷, 第14583号)。

<sup>3</sup> <https://rsis Ramsar.org> 上可查阅地点名单。

- Bai, Y., and others (2018). Developing China's ecological redline policy using ecosystem services assessments for land use planning. *Nature Communications*, vol. 9, art. 3034 . <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05306-1>.
- Barbier, E.B., and others (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, vol. 81, No. 2, pp. 169–193.
- Bartlett, K., and others (1987). Methane emissions along a salt marsh salinity gradient. *Biogeochemistry*, vol. 4, No. 3, pp. 183–202.
- Baulch, H.M., and others (2011). Diffusive and ebullitive transport of methane and nitrous oxide from streams: are bubble-mediated fluxes important? *Journal of Geophysical Research*, vol. 116, G04028, <https://doi.org/10.1029/2011JG001656>.
- Bertness, M.D., and others (2014). Experimental predator removal causes rapid salt marsh die-off. *Ecology Letters*, vol. 17, No. 7, pp. 830–835.
- Bilkovic, D.M., and others (2017). *Living Shorelines: The Science and Management of Nature-Based Coastal Protection*. CRC Press.
- Borchert, S.M., and others (2018). Coastal wetland adaptation to sea level rise: Quantifying potential for landward migration and coastal squeeze. *Journal of Applied Ecology*, vol. 55, No. 6, pp. 2876–2887.
- Bortolus A., and others (2015). Reimagining South American coasts: unveiling the hidden invasion history of an iconic ecological engineer. *Diversity and Distributions*, vol. 21, pp. 1267–1283.
- \_\_\_\_\_ (2019). Supporting *Spartina*: interdisciplinary perspective shows *Spartina* as a distinct solid genus. *Ecology*, vol. 100, No. 11, e02863. <https://doi.org/10.1002/ecy.2863>.
- Bulsecq, A.N., and others (2019). Nitrate addition stimulates microbial decomposition of organic matter in salt marsh sediments. *Global Change Biology*, vol. 25, No. 10, pp. 3224–3241.
- Cahoon, D.R. (2006). A review of major storm impacts on coastal wetland elevations. *Estuaries and Coasts*, vol. 29, No. 6, pp. 889–898.
- Call, M., and others (2015). Spatial and temporal variability of carbon dioxide and methane fluxes over semi-diurnal and spring-neap-spring timescales in a mangrove creek. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 150, pp. 211–225. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2014.11.023>.
- Capooci, M., and others (2019). Experimental influence of storm-surge salinity on soil greenhouse gas emissions from a tidal salt marsh. *Science of the Total Environment*, vol. 686, pp. 1164–1172.
- Chmura, G.L., and others (2016). Greenhouse gas fluxes from salt marshes exposed to chronic nutrient enrichment. *PLoS One*, vol. 11, No. 2, e0149937.
- Cooper, J.A.G. (2001). Geomorphological variability among microtidal estuaries from the wave-dominated South African coast. *Geomorphology*, vol. 40, Nos. 1–2, pp. 99–122.
- Crooks, S., and others (2011). Mitigating Climate Change through Restoration and Management of Coastal Wetlands and Near-Shore Marine Ecosystems: Challenges and Opportunities. *Environment Department Papers; Marine Ecosystem Series*, No. 121.
- Crosby, S., and others (2016). Salt marsh persistence is threatened by predicted sea-level rise. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 181, pp. 93–99.
- Davidson, I.C., and others (2018). Differential effects of biological invasions on coastal blue carbon: a global review and meta-analysis. *Global Change Biology*, vol. 24, No. 11, pp. 5218–5230.
- Deegan, L.A., and others (2012). Coastal eutrophication as a driver of salt marsh loss. *Nature*, vol. 490, No. 7420, pp. 388–392.
- Devlin, A., and others (2017). Coupling of sea level and tidal range changes, with implications for future water levels. *Scientific Reports*, vol. 7, art. 17021. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17056-z>.
- Doody, J.P. (2004). “Coastal squeeze”—an historical perspective. *Journal of Coastal Conservation*, vol. 10, No. 1, pp. 129–138.

- Doroski, A.A., and others (2019). Greenhouse gas fluxes from coastal wetlands at the intersection of urban pollution and saltwater intrusion: a soil core experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 131, pp. 44–53.
- Doughty, C.L., and others (2016). Mangrove range expansion rapidly increases coastal wetland carbon storage. *Estuaries and Coasts*, vol. 39, No. 2, pp. 385–396.
- Duarte, C.M., and others (2008). The charisma of coastal ecosystems: addressing the imbalance. *Estuaries and Coasts*, vol. 31, No. 2, pp. 233–238.
- \_\_\_\_\_ (2013). The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. *Nature Climate Change*, vol. 3, No. 11, pp. 961–968.
- Duarte, H., and others (2007). High-resolution seismic imaging of gas accumulations and seepage in the sediments of the Ria de Aveiro barrier lagoon (Portugal). *Geo-Marine Letters*, vol. 27, Nos. 2–4, pp. 115–126.
- Eggleston, J., and others, 2013, Land subsidence and relative sea-level rise in the southern Chesapeake Bay region: U.S. Geological Survey Circular 1392. <http://dx.doi.org/10.3133/cir1392>.
- Elmer, W.H., and others (2013). Sudden vegetation dieback in Atlantic and Gulf Coast salt marshes. *Plant Diseases*, vol. 97, No. 4, pp. 436–445.
- European Commission (2007). *The Interpretation Manual of European Union Habitats–EUR27*. European Commission DG Environment, Brussels.
- Finlayson, C.M. (2012). Forty years of wetland conservation and wise use. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 22, No. 2, pp. 139–143.
- \_\_\_\_\_ (2019). Addressing the decline in wetland biodiversity. *The Ecological Citizen*, vol. 2, pp. 139–40.
- Finlayson, C.M., and others (2019). The second warning to humanity—providing a context for wetland management and policy. *Wetlands*, vol. 39, No. 1, pp. 1–5.
- Forbrich I., and A. Giblin (2015) Marsh-atmosphere CO<sub>2</sub> exchange in a New England salt marsh. *JGR Biosciences*, vol. 20, No. 9, pp. 1825–1838.
- Ford, M.A., and others (1999). Restoring marsh elevation in a rapidly subsiding salt marsh by thin-layer deposition of dredged material. *Ecological Engineering*, vol. 12, Nos. 3–4, pp. 189–205.
- Gu, J., and others (2018). Losses of salt marsh in China: trends, threats and management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 214, pp. 98–109.
- Huertas, I., and others (2019) Methane emissions from the salt marshes of Doñana Wetlands: spatio-temporal variability and controlling factors. *Frontiers in Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00032>.
- Kirwan, M.L., and others (2016). Overestimation of marsh vulnerability to sea level rise. *Nature Climate Change*, vol. 6, No. 3, pp. 253–260.
- Macreadie, P.I., and others (2013). Loss of ‘Blue Carbon’ from Coastal Salt Marshes Following Habitat Disturbance. *PLoS One*, vol. 8, No. 7, e69244. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069244>.
- Mcowen, C.J., and others (2017). A global map of saltmarshes. *Biodiversity Data Journal*, No. 5, e11764. Paper: <https://doi.org/10.3897/BDJ.5.e11764>; Data URL: <http://data.unep-wcmc.org/datasets/43> (v.6)
- McTigue, N., and others (2019) Sea level rise explains changing carbon accumulation rates in a salt marsh over the past two millennia. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, vol. 124, No. 10, pp. 2945–2957.
- Mendelssohn, I.A., and N.L. Kuhn (2003). Sediment subsidy: effects on soil-plant responses in a rapidly submerging coastal salt marsh. *Ecological Engineering*, vol. 21, Nos. 2–3, pp. 115–128.
- Narayan, and others (2017). The value of coastal wetlands for flood damage reduction in the northeastern USA. *Scientific Reports*, vol. 7, No. 1, pp. 1–12.

- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2019). Climate Change: Global Sea Level ([www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-sea-level](http://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-sea-level)).
- Nicholls, R.J., and others (1999). Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: regional and global analyses. *Global Environmental Change*, vol. 9, pp. S69–S87.
- Oppenheimer, M., and others (in press). Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities. In *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, H-O. Pörtner and others, eds.
- Pendleton, L., and others (2012). Estimating global “blue carbon” emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. *PLoS One*, vol. 7, No. 9.
- Peteet, D.M., and others (2018). Sediment starvation destroys New York City marshes’ resistance to sea level rise. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, No. 41, pp. 10281–10286.
- Poffenbarger, H., and others (2011). Salinity influence on methane emissions from tidal marshes. *Wetlands*, vol. 31, pp. 831–842. <https://doi.org/10.1007/s13157-011-0197-0>.
- Raposa, K.B., and others (2016). Assessing tidal marsh resilience to sea-level rise at broad geographic scales with multi-metric indices. *Biological Conservation*, vol. 204, pp. 263–275.
- Rezaie, A., and others (2020). Valuing natural habitats for enhancing coastal resilience: wetlands reduce property damage from storm surge and sea level rise. *PLoS One*, vol. 15, No. 1, pp. 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226275>.
- Ripple, William J., and others (2017). World scientists’ warning to humanity: A second notice. *BioScience*, vol. 67, No. 12, pp. 1026–1028.
- Rogers, K., and others (2019). Impacts and adaptation options for estuarine vegetation in a large city. *Landscape and Urban Planning*, vol. 182, pp. 1–11.
- Rooth, J., and J.C. Stevenson (2000). Sediment deposition patterns in *Phragmites australis* communities: Implications for coastal areas threatened by rising sea-level. *Wetlands Ecology and Management*, vol. 8, Nos. 2–3, pp. 173–183.
- Roughan, B.L., and others (2018). Nitrous oxide emissions could reduce the blue carbon value of marshes on eutrophic estuaries. *Environmental Research Letters*, vol. 13, No. 4, 044034.
- Saintilan, N., and others (2014). Mangrove expansion and salt marsh decline at mangrove poleward limits. *Global Change Biology*, vol. 20, No. 1, pp. 147–157.
- Scheider N., and others (2018). Massive upland to wetland conversion compensated for historical marsh loss in Chesapeake Bay, USA. *Estuaries and Coasts*, vol. 41, pp. 940–951.
- Schuerch, M., and others (2018) Future response of global coastal wetlands to sea level rise. *Nature*, vol. 561, pp. 231–234.
- Segarra, K., and others (2013). Seasonal variations of methane fluxes from an unvegetated tidal freshwater mudflat (Hammersmith Creek, GA). *Biogeochemistry*, vol. 115, No. 1, pp. 349–61. <https://doi.org/10.1007/s10533-013-9840-6>.
- Short, F.T., and others (2016). Impacts of climate change on submerged and emergent wetland plants. *Aquatic Botany*, vol. 135, pp. 3–17.
- Smith, C.S., and others (2016). Living shorelines enhanced the resilience of saltmarshes to Hurricane Matthew (2016). *Ecological Applications*, vol. 28, No. 4, pp. 871–877.
- Streb, C., and others (2019). Adapting floating wetland design to advance performance in urban waterfronts. *Wetland Science and Practice*, vol. 36, No. 2, pp. 106–113.
- Tabot, P.T., and J.B. Adams (2013). Ecophysiology of salt marsh plants and predicted responses to climate change in South Africa. *Ocean & Coastal Management*, vol. 80, pp. 89–99.

- Tian, B., and others (2016). Drivers, trends, and potential impacts of long-term coastal reclamation in China from 1985 to 2010. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 170, pp. 83–90.
- United Nations (2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- United Nations Environment Programme (UNEP) (2019). Biodiversity A-Z. 2019. [www.biodiversitya-z.org](http://www.biodiversitya-z.org).
- Van Niekerk, L. (2018). Approaches to detecting and assessing patterns, processes and responses to change in South African estuaries. PhD thesis. Port Elizabeth, South Africa: Nelson Mandela University.
- Veldkornet, D.A., and others (2015). Where do you draw the line? Determining the transition thresholds between estuarine salt marshes and terrestrial vegetation. *South African Journal of Botany*, vol. 101, pp. 153–159.
- Wan, S.W., and others (2009). The positive and negative effects of exotic *Spartina alterniflora* in China. *Ecological Engineering*, vol. 35, pp. 444–452.
- Wei, S., and others (2020). Effect of tidal flooding on ecosystem CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes in a salt marsh in the Yellow River Delta. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, vol. 232, 106512.
- Yin, S., and others (2015). *Spartina alterniflora* invasions impact CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes from a salt marsh in eastern China. *Ecological Engineering*, vol. 81, pp. 192–199.
- Zhang, R., and others (2004). Formation of *Spartina alterniflora* salt marshes on the coast of Jiangsu Province, China. *Ecological Engineering*, vol. 23, pp. 95–10.
- Zuo, P., and others (2012). Distribution of *Spartina* spp. along China's coast. *Ecological Engineering*, vol. 40, pp. 160–166.



# 第7章

# 大陆坡和海底峡谷

撰稿人: Lisa A. Levin (召集人)、Peter Auster、Malcolm R. Clark、Jason M. Hall-Spencer、Russell Hopcroft、Jeroen Ingels、Anna Metaxas、Bhavani E. Narayanaswamy、Joshua T. Tuhumwire (分章牵头成员)和Moriaki Yasuhara。



## 主旨要点

- 大陆坡占海洋的5.2%，五分之一以上的坡面由海底峡谷组成；它们是大陆架和深海之间的关键过渡区，不仅对碳埋藏至关重要，而且作为具有生态和经济重要性的物种生境也举足轻重。
- 陡峭的垂直水文梯度、复杂的地貌特征物和来自海底的流体通量使海底峡谷和大陆坡的動物群落尤其多种多样。
- 数百个新发现的甲烷渗漏区以及珊瑚和海绵生境增强了生物多样性，并与周围的沉积物产生新的相互作用。
- 海底峡谷可以是生物活动的热点地区，但其群落并不总是与毗邻大陆坡上的群落(后者也很高产)不同。大陆坡和海洋盆地的沉积物可以作为关于气候对生物多样性影响的历史信息储存库。
- 自然发生的最低含氧层显示，生物多样性对氧气高度敏感；低氧区的扩大会减少生物多样性；预计pH值和食物供应的下降可能会影响冷水珊瑚生态系统。
- 由于靠近海岸，大陆坡和海底峡谷因为深水石油和天然气活动、海上能源设施、海底捕捞活动和潜在矿产开采活动的扩大而受到影响，并面临越来越多的污染，包括来自陆地的垃圾和尾渣。
- 探索导致加速发现新的生态系统功能和服务，包括新的生产力和碳转移机制、育幼场以及污染物和废物转移。然而，大多数海底峡谷和大陆坡地区基本上仍未得到探索，关于物种分布范围、生态连通性、底层—中上层联系、对气候的敏感性和直接干扰等主要问题仍未得到解答，特别是在南半球以及非洲和南美洲边缘地区。
- 更好地整合气候科学、连通性研究、保护生物学和资源管理，并结合已增加的分类学和地理学专业知识，将改善促进全球对大陆坡和海底峡谷生态系统的认知和增强大陆坡和海底峡谷生态系统可持续性所需的知识、技术、分析工具和方法的分配。

## 1. 导言

大陆坡指自陆架边缘(深度约200米)往外至陡度降低的大陆隆上界的海底斜坡。总面积为1 960万平方公里，占海洋面积的5.2%(表1; Harris等人, 2014年)。《第一次世界海洋评估》(联合国, 2017年c)在第36F章(联合国, 2017年a)将其作为深海边缘的一个组成部分简要讨论了大陆坡的环境。大陆坡通常为两壁陡峭的海底峡谷横切(见联合国, 2017年b), 已知峡谷多达9 477个, 覆盖近440万平方公里(表1), 还有更多未被发现的峡谷。大陆坡还包括其他地貌和地球化学特征物, 如盆地、堤岸、陡坡、海山和甲烷渗漏区(见下图)。大陆坡和海底峡谷是浅水和深水之间的主要过渡区域, 输送(和转化)沉积物、有机物、水、生物、污染物和垃圾(Puig等人, 2014年; Leduc等人, 2018年)。大陆坡具有很高的生产力, 承担了巨大的碳

埋藏和营养循环, 因此对社会福祉具有重要意义(Levin和Sibuet, 2012年)。

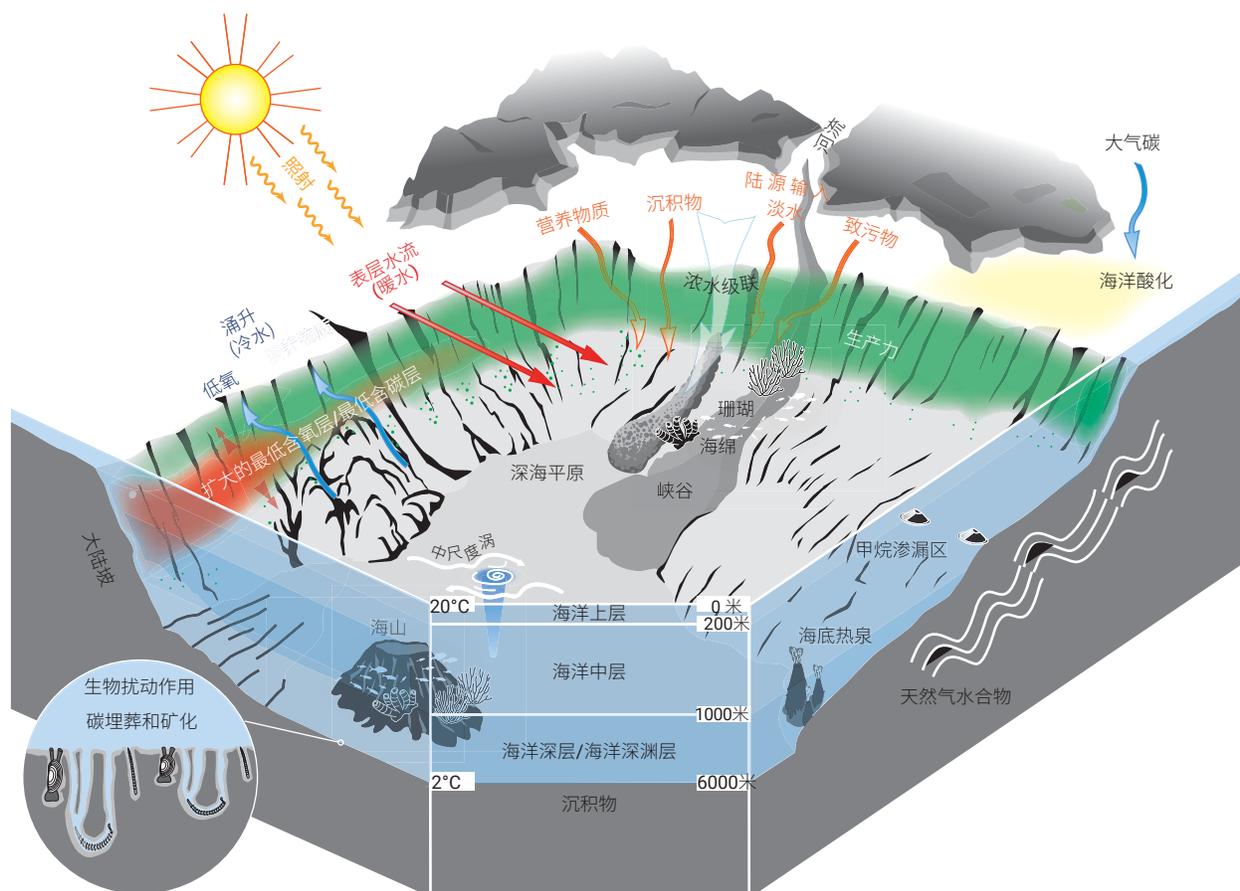
大陆坡和海底峡谷的温度、氧合作用、二氧化碳、水动力、颗粒物通量和沉积物迁移梯度(通常为垂直梯度)陡峭, 塑造了大陆坡和海底峡谷的生物群落(见下图)。来自海洋表层和陆架水域的颗粒有机碳和大型有机废物(海洋哺乳动物和鱼类尸体、木质物和藻类)通量以及来自海底内的地球化学物质(甲烷、硫化物和氢)通量, 为大陆坡和海底峡谷生态系统创造了较具异质性的能量来源。此外, 在从10米到100千米不同的尺度上大陆坡也因沉积物来源、海洋学条件、动态地质过程和生境形成物种所创造的框架有差别, 而具有更多的环境异质性(Kelly等人, 2010年)。

**表 1**  
世界海洋中大陆坡和海底峡谷的覆盖范围和数量

名目	全部大洋	北冰洋	印度洋	地中海	北大西洋	北太平洋	南大西洋	南太平洋	南冰洋
大陆坡面积 (平方千米)	19606260	913590	4189700	906590	3436150	4752240	1591830	3201000	615170
大陆坡总面积占比	100.00	7.03	5.88	30.00	7.68	5.80	3.94	3.67	3.03
海底峡谷总面积 (平方千米)	4393650	359650	760420	163040	738430	816580	291290	694790	569440
海底峡谷数量	9477	404	1590	817	1548	2085	453	2009	571
海底峡谷在 大陆坡上的占比	22.4	16.1	11.2	13.8	10.4	10.2	8.9	10.2	15.1

资料来源：Harris等人，2014年。

### 大陆坡和海底峡谷的生境特征以及来自不断变化的环境的影响



资料来源：改编自Levin和Sibuet，2012年，见<https://doi.org/10.1146/annurev-marine-120709-142714>，Andres Algeria 协助。

大陆坡和海底峡谷受气候变化的影响很大,并且因为是距离人类最近的深海环境,所以与其他深海系统相比,承受着更多来自人类活动的压力。主要的人为影响包括捕鱼、航运、有意和无意的陆地废物处理(如尾渣处理、垃圾和污染物)、有机

物负荷(如污水、营养物和工业投入物料)、石油和天然气活动以及潜在矿产开采造成的物理和生物干扰。导致变暖、氧气减少以及风暴强度和频率改变的气候变化会产生叠加在其他人为干扰上的影响。

## 2. 对大陆坡和海底峡谷的认知发展情况

### 2.1. 大陆坡的生物多样性

大陆边缘动物群按深度成带现象明显,在大陆架-大陆坡过渡区(300至500米深)内、沿大陆坡上段(1 000米深度)以及在2000至3 000米之间区域(Carney, 2005年),动物群组成发生重大变化。整个大陆坡上的水团分层有助于按深度成带和提高大型底栖生物(如Narayanaswamy等人, 2010年)、小型底栖生物(Danovaro等人, 2009年; Bianchelli等人, 2010年)、鱼类(例如Priede等人, 2010年)和巨型动物(例如Hunter等人, 2011年)的 $\beta$ 多样性,也有助于降低低氧水团中的 $\alpha$ 多样性(Sellanes等人, 2010年; Gooday等人, 2010年)。由于沉积物、生产力和水流有别(Levin等人, 2001年),大陆坡中段(1 500至2 500米)通常最具动物多样性(Rex和Rowe, 1983年; Rex和Etter, 2010年; Menot等人, 2010年)。大陆坡的动物密度最大值(例如甲壳类动物、海蛇尾、海绵)通常出现在涌升区下方、地形高区和海底峡谷的低氧水团边缘(Levin, 2003年; De Leo等人, 2010; Domke等人, 2017年),因为此处食物供应因颗粒物通量增加而得到增强。

### 2.2. 大陆坡和海底峡谷不断变化的环境条件

#### 2.2.1. 最低含氧层和海洋脱氧

在东太平洋大部分地区、北印度洋和西非近海100至1200米的深处,涌升区高产水域下方的大陆坡和海底峡谷处于自然形成的低氧水域,这种水域被称为最低含氧层(Helly和Levin, 2004年)。大陆坡的含氧情况因季节、年际和冰川—间冰期时标不同而变异巨大(Levin等人, 2015年a; Huang等

人, 2018年, 2019年)。低氧水域决定了水柱和底栖生物的组成、多样性和功能属性(Levin, 2003年),以及个体大小、生长情况、钙化和繁殖(Sato等人, 2018年),并导致大陆坡(Wishner等人, 1995年; Levin, 2003年; Gooday等人, 2009年, 2010年; Hunter等人, 2011年; Levin和Gallo, 2019年)和峡谷(De Leo等人, 2012年; Domke等人, 2017年)巨型动物和大型动物按最低含氧层的含氧梯度而明显成带状分布。大型无脊椎动物多样性(Levin和Gage, 1998年; Sperling等人, 2016年)和鱼类多样性(Gallo等人, 2020年)在氧气浓度低于7毫摩尔时急剧下降,鱼类丰度、渔获量和捕鱼作业量的模式会随着含氧情况而变化(Bertrand等人, 2011年; Keller等人, 2015年; Salvattecchi等人, 2019年; De Leo等人, 2017年)。

最低含氧层的浮游生物群落在空间和时间上也对氧合作用有强烈反应(Ekau等人, 2010年; Gilly等人, 2013年; Seibel等人, 2016年; Tutası和Escribano, 2020年),显示出明显的分带性、边缘效应、密度最大值和明显的多样性阈值(Wishner等人, 2008年, 2013年)。非常细微的氧气递减都可以在相对较小的空间尺度上引起群落组成发生巨大变化(Wishner等人, 2008年, 2018年)。然而,一些甲壳类浮游生物表现出惊人的缺氧耐受性(Seibel等人, 2016年, 2018年)。一些桡足类呈现出个体发育成长分带现象,即其在不同的生命阶段在不同的氧气水平下茁壮成长(Wishner等人, 2000年; Hidalgo等人, 2005年)。

由于气候变化,许多最低含氧层正在扩张(Stramma等人, 2008年, 2010年; Levin, 2018年)。扩张将导致预期的多样性丧失(Sperling等人, 2016

年),同时降低复原力(Levin等人,2013年)、削弱生物扰动作用(Smith等人,2000年;Levin等人,2009年;Schimmelmann等人,2016年)、从大型动物碳加工转向原生动动物碳加工(Woulds等人,2007年,2009年)并改变食物网(Sperling等人,2013年;Gallo,2018年)。在南加州湾的长期监测显示,在过去25年期间,中层鱼类幼体丰度下降(Koslow等人,2011年),深海散射层(鱼类和大型无脊椎动物)日间上下界上移(Netburn和Koslow,2015年),缺氧层上移。南加州的鱿鱼、

章鱼和螃蟹幼体的视力会因含氧量减少而受损(McCormick等人,2019年)。在东南太平洋,最低含氧层对气候多样性高度敏感,因厄尔尼诺南方涛动、秘鲁—智利潜流波动、赤道潜流和涡流,氧气有较大的季节和年际变异性(Czeschel等人,2015年;Pizarro-Koch等人,2018年;Espinoza-Morrilón等人,2019年)。多项代用指标显示,最近一次氧化作用(自1999年开始记录)已经发生,诱因是最低含氧层往深处扩张(Graco等人,2017年;Cardich等人,2019年)。

## 表2

**预期气候变化, 计为使用三个地球系统模型所制作的从现在到2081年至2100年期间200米到2 500米大陆坡、海底峡谷和冷水珊瑚深海海底分别在典型浓度路径8.5和2.6情景下所得的(最小值、最大值)平均数**

	温度(摄氏度)	pH值	溶解氧 (毫摩尔每千克)	颗粒有机碳 通量
	典型浓度路径2.6	典型浓度路径 2.6	典型浓度路径 2.6	典型浓度路径 2.6
大陆坡	+0.30 (-0.44, +2.30)	-0.06 (-0.19, -0.02)	-3.1 (-49.3, +61.7)	-0.39 (-16.0, +3.9)
海底峡谷	+0.31 (-0.27, +1.76)	-0.05 (-0.13, +0.01)	-3.54 (-44.66, +29.30)	-0.33 (-10.53, +3.53)
冷水珊瑚	+4.3 (-0.29, +1.85)	-0.07 (-0.13, 0.0)	-3.5 (-25.6, +24.7)	-0.7 (-10.5, +3.4)
	典型浓度路径 8.5	典型浓度路径 8.5	典型浓度路径 8.5	典型浓度路径 8.5
大陆坡	+0.75 (-8.4, +4.4)	-0.14 (-0.02, -0.44)	-10.2 (-67.8, +53.82)	-0.66 (-33.33, +10.3)
海底峡谷	+0.19 (-0.03, +1.14)	-0.11 (-0.35, +0.02)	-0.80 (-28.76, +10.07)	-0.80 (-28.76, +10.07)
冷水珊瑚	+0.96 (-0.42, +3.84)	-0.15 (-0.39, +0.001)	-10.6 (-59.2, +11.1)	-1.69 (-20.1, +4.6)

资料来源:改编自Bindoff, N.L.等人,2019年,表5.5。

### 2.2.2. 海洋酸化

大陆坡和海底峡谷越来越容易受到海洋酸化的影响。根据典型浓度路径8.5情景(一切照旧的气候情景),预计到2100年,大陆坡平均pH值将下降0.14个单位,海底峡谷将下降0.11个单位(表2;联合国粮食及农业组织(粮农组织),2019年;Bindoff

等人,2019年)。北大西洋特别脆弱,因为深水的形成将海洋表层的碳酸盐化学变化传播到海洋内部,而北大西洋西边边界的洋流将它们推向更远的地方;典型浓度路径8.5情景预测,到2100年,500米以下14%的大陆坡和15%的海底峡谷的pH值将下降0.3个单位(Gehlen等人,2014年)。自

然产生低氧和高二氧化碳的环境中生存的分类群可能不太容易受到海洋酸化的影响,但海洋盆地则不同。在印度洋,二氧化碳浓度升高对大型动物生物多样性的影响大于氧气浓度降低的影响,而东太平洋的情况正好相反,在东太平洋,低氧是对生物多样性趋势的更好解释(Taylor等人,2014年; Sperling等人,2016年; Sato等人,2018年)。有必要加强全球海洋酸化监测网络等监测系统,以评估大陆坡和海底峡谷海水碳酸盐系统的变化。

### 2.2.3. 食物供应

大陆坡和海底峡谷生态系统的食物供应主要来自海洋表层水的有机物通量。在各种排放情景下(南大洋和北冰洋除外),预计到2081年至2100年期间,大陆坡和海底峡谷的颗粒有机碳通量将减少,同时底栖生物量也会减少(Jones等人,2014年; Yool等人,2017年; 政府间气候变化专门委员会(气专委),2019年);然而,预计典型浓度路径2.6情景下颗粒有机碳通量的减少会比典型浓度路径8.5情景下低30%至50%(气专委,2019年;表2)。化学合成生产对大陆坡和海底峡谷食物网的总体贡献尚未量化,但是未来暖化会导致甲烷从埋藏的天然气水合物中分解出来(Biastoch等人,2011年),可能会做出更多贡献。

### 2.3. 大陆坡: 独特的古生态信息储存库

大陆坡是一个独特的环境,对于理解历史深海生物多样性的动态发展情况至关重要。沉降速度非常快的地区可以根据介形类以十年—百年时标为轴重建过去几万年的海洋学状况和生物多样性响应(Yasuhara和Cronin,2008年; Yasuhara等人,2017年; Yasuhara,2018年)。例如在北大西洋,根据过去两万年的古生态记录,温度突变影响了深海海底生物的丰度和生物多样性(Yasuhara等人,2008年,2014年,2016年; Yasuhara和Danovaro,2016年)。

## 2.4. 生境异质性

### 2.4.1. 大陆坡—海底峡谷的对比

海底峡谷被认为是异质性和生物多样性的主要来源。地中海海底峡谷和大陆坡环境中的原核和真核微生物浮游生物群落看似相似(Celussi等人,2018年; Diociaiuti等人,2019年),尽管在比萨格诺峡谷内记录到的病毒及病毒感染比毗邻大陆坡上的多(Corinaldesi等人,2019年a,2019年b)。各种中尺度过程的紧密联系和浓水级联尤其可能影响海底峡谷的生物地球化学(Chiggiato等人,2016年)、微生物(Luna等人,2016年)、有机物沉积、微生物生产和病毒活动(Rastelli等人,2018年),并且可能对支持深水珊瑚的生境特别重要(Taviani等人,2019年)。最近的比较表明,在地中海,大陆坡和海底峡谷的有孔虫目(Di Bella等人,2019年)、后生小型底栖动物(Bianchelli等人,2010年; Bianchelli和Danovaro,2019年; Carugati等人,2019年)和大型动物(Harriague等人,2019年)的生物量、密度或组成没有显著差异。相反,在新西兰,与毗邻的大陆坡相比,海底峡谷内(700至1500米深)食底泥动物(星虫动物门和海参属物种)和小型底栖生物密度更大(Rowden等人,2016年; Rosli等人,2016年),原因可能是地形复杂程度不同和海底峡谷存在更多有机物(Leduc等人,2014年,2016年; Rowden等人,2016年)。高度异质性也促进了地中海海底峡谷内(Gambi等人,2019年; Bianchelli和Danovaro,2019年; Carugati等人,2019年)和东北大西洋(Ingels和Vanreusel,2013年; Ingels等人,2011年)局部和区域多样性的增强,并且海底峡谷之间的物种演替率也高(Harriague等人,2019年)。在墨西哥湾,海洋深层出现的非造礁珊瑚(石珊瑚和八射珊瑚)提高了邻近沉积物群落的密度,还影响了群落的组成和多样性(Demopoulos等人,2014年,2016年; Bourque和Demopoulos,2018年),并且可能在生境差异的介导下,不同的底内动物群落形成了不同的珊瑚。深水珊瑚的存在使该区域的正常深度—密度和多样性模式脱钩(Wei等人,2010年)。因此,珊瑚生境的破坏可能会影

响附近的大陆坡底内动物(Bourque和Demopoulos, 2018年)。总体而言,不同生境之间的底栖动物物种组成和丰度存在区域差异(Bowden等人, 2016年; Leduc等人, 2016年),因此可能难以对海峡峡谷和大陆坡之间的差异得出一般性结论。经常能在陆架坡折和大陆坡上观察到丰度较高的浮游动物,特别是磷虾(Lu等人, 2003年; Lowe等人, 2018年)。各种过程都可以引起浮游动物和鱼类的这种聚集(Genin, 2004年),似乎海底峡谷也可极大地促进磷虾热点的形成(Santora等人, 2018年),尽管鲜有这些过程对较小浮游动物产生影响的记录。

### 2.4.2. 地貌异质性

大陆坡和海底峡谷更精细的地貌特征,包括水深、沉积物类型、声后向散射、波浪暴露和海底粗糙度,可用于确定大陆坡和海底峡谷是否是生境,并在没有取样的情况下预测底栖生物群落(Harris和Baker, 2020年; Kenchington等人, 2014年; Pierdomenico等人, 2015年, 2019年; Fanelli等人, 2018年; Huang和Zhi等人, 2018年)。现在可以使用遥控水下机器人和自动潜航器有效地对由侵蚀、沉积物迁移、沉降和大地构造不稳定性(Lastras等人, 2008年)以及生物学(Marsh等人, 2018年; Marsh等人, 2019年)形成的地貌特征物进行测绘(Marsh等人, 2018年)。地貌景观特征可以支撑空间规划、海洋保护区设计、设计研究和经济资源评估(Harris和Baker, 2020年; Ismail等人, 2015年; Hogg等人, 2016年),凸显了正在进行的、绘制整个深海海底地图的工作的意义(Mayer等人, 2018年)。海底上的或大地构造运动形成的地貌特征物与底层流的相互作用可导致矿物硬地面、地壳和结核的暴露或沉降,包括由锰铁和磷块岩形成的硬质地面、地壳和结核(Muiños等人, 2013年),并可造成大陆坡不稳定性(Teixeira等人, 2019年)。

### 2.4.3. 地球化学异质性

大陆坡和海底峡谷生态系统的生物多样性受到海底甲烷和其他富烃流体渗漏的影响(Levin, 2005

年; Egger等人, 2018年)。甲烷渗漏区是独特巨型动物群落的宿主,主要由化学自养生物组成(见第7P章)。最近气泡羽状流声学探测方法的出现揭示了渗漏区无处不在且丰度高(Riedel等人, 2018年; Skarke等人, 2014年)。可促进脱气的海洋暖化和已经变化的环流可能已经增加了大陆坡渗漏区的数量(Phrampus和Hornbach, 2012年; Johnson等人, 2015年)。新的勘探活动揭示了渗漏区通过提供化学合成食物来源(Seabrook等人, 2019年; Rathburn等人, 2009年; Goffredi等人, 2020年)、育幼生境(Treude等人, 2011年; Sen等人, 2019年)和作为附着基的硬土(碳酸盐)(Levin等人, 2015年b、2017年)并通过刺激水柱生产(D' souza等人, 2016年)来影响背景大陆坡和海底峡谷的群落(Levin等人, 2016年a)。2016)。

### 2.5. 种群连通性

通过生态连通性,即个体、物种或资源的交换,分散的种群、群落和生态系统可以继续存活或从干扰中恢复过来。在大陆坡和海底峡谷,分布不均的硬质附着基支持着深水珊瑚和海绵,这些深水珊瑚和海绵容易受到捕鱼干扰,并表现出不利于种群复原力或恢复的生活史特征,如长寿、生长缓慢和补充(Reed等人, 2007年; Huvenne等人, 2016年; Bennecke和Metaxas, 2017年)。了解繁殖潜力的空间变化(Fountain等人, 2019年)和使用流体动力学模型评估连通性模式有助于制定有效的保护战略(Kool等人, 2013年、2015年; Metaxas等人, 2019年)。最近的遗传学研究促进了对扩散距离和“源—汇”动态的认知,扩散距离和“源—汇”动态在大陆坡环境中的冷水珊瑚和海绵物种中存在区域和地貌特征层面的差别(Zeng等人, 2017年、2019年; Holland等人, 2019年),区域和局部洋流可以作为幼体扩散的路线或屏障(Dueñas等人, 2016年; Holland等人, 2019年; Zeng等人, 2019年)。

### 3. 大陆坡和海底峡谷的生态系统服务和惠益

大陆坡和海底峡谷提供的生态系统服务包括碳固存和营养循环、渔业、生物多样性支持和废物处理,此外人们对开采不可再生资源的兴趣也日益浓厚(Fernandez-Arcaya等人,2017年)。

#### 3.1. 渔业

许多深水渔业依赖外部大陆架和深海大陆坡,甚至在一些最低含氧层作业(Keller等人,2015年)。海底峡谷是具有经济价值的鱼类(D' Onghia等人,2015年)和贝类(Sardà等人,2009年)的主要摄食、产卵和补充场所。海底峡谷经常但并非总是(Ross等人,2015年)出现丰度更高、更大、成熟速度更快的鱼类,鲨鱼、康吉鳗、无须鳕和绯小鲷就是证明(Sion等人,2019年)。已经发现一些商业鱼类和贝类物种与海底峡谷和大陆坡甲烷渗漏区关系密切(Sellanes等人,2008年; Bowden等人,2013年; Grupe等人,2015年; Seabrook等人,2019年),这表明化学合成生态系统可能会给大陆边缘渔业带来贡献(Levin等人,2016年a),并促使美国太平洋渔业管理委员会将甲烷渗漏区指定为太平洋沿岸底栖鱼类的重要鱼类生境(《太平洋沿岸底栖鱼类渔业管理计划》,第28号修正案)<sup>1</sup>。

#### 3.2. 支持和规范服务

大陆坡和海底峡谷的勘探加速了人们不断发现其新的功能和服务,例如大陆坡的底栖和深水鱼类将碳从深海散射层转移到海洋更深处的作用正在显现(Trueman等人,2014年; Gallo, 2018; Vieira等人,2019年)。已发现哥斯达黎加近海大陆坡对3 000米深的章鱼和附着在巨型阿米巴虫(巨型原生动物)体内的鱼卵(Levin和Rouse, 2019年)以及智利和地中海大陆坡上和柳珊瑚田(Etnoyer和Warrenchuk, 2007年)与甲烷渗漏区有关的板鳃亚纲鱼卵卵鞘(Treude等人,2011年)具有育幼支持功能。海底峡谷内的物理过程有助于营养物质

向大陆架涌升以及将大陆架生产力从近海运输到更深的水域(Fernandez-Arcaya等人,2017年)。其他海底峡谷过程有清除和掩埋污染物和废物的作用,并通过提供躲避渔捞压力的避难所来支持生物多样性。

#### 3.3. 能源

墨西哥湾大陆坡、安哥拉和巴西近海以及其他地方的石油和天然气开采已经扩展到水深超过3 000米的地方(Merrie等人,2014年)。海底峡谷积累有机物,日益成为提取碳氢化合物的目的地。例如澳大利亚24%的海底峡谷位于油气租赁区内(Fernandez-Arcaya等人,2017年)。对一些国家来说,石油和天然气是重要的收入来源。然而,勘探、日常作业和碳氢化合物泄漏会对环境产生影响(Cordes等人,2016年)。

尽管仍处于开发的早期阶段,但风力基础设施形式的海上可再生能源最终可能会在深达1 000米的水域使用漂浮结构(Bosch等人,2018年)。

#### 3.4. 天然产品

人们对在深海勘探生物活性化合物的兴趣日益增加,尽管截至2016年,只有不到3%的已知海洋代谢物来自冷水中的生物(Soldatou和Baker, 2017年)。已发现大陆坡深海沉积物中的细菌和真菌可以提供丰富的具有抗菌、抗真菌、抗癌和细胞毒性特性的化合物(Skropeta和Wei, 2014年)。无脊椎动物,尤其是海底峡谷常见的四射珊瑚和海绵动物,也是生物发现的锁定目标(Winder等人,2011年; Leal等人,2012年; Blunt等人,2013年; Fernandez-Arcaya等人,2017年),因为深海海绵代谢物具有抗肿瘤的特性(Wright等人,2017年)。

<sup>1</sup> 可查阅[www.pcouncil.org/groundfish/fishery-management-plan/](http://www.pcouncil.org/groundfish/fishery-management-plan/)。

## 4. 人类影响

最近的一项审查确定了人类对海底峡谷的四大类影响:海底接触渔业;石油和天然气勘探和开采;来自陆地的污染物、垃圾和尾渣;以及气候压力因素(Fernandez-Arcaya等人,2017年)。这些活动会影响大陆坡,潜在矿物(如沙子和磷块岩)和天然气水合物开采也一样会影响。

如第一次评估所述,大陆坡和海底峡谷中的商业渔业仍然是深海海底生物群落主要的直接干扰来源(Pusceddu等人,2014年;Clark等人,2016年)。底拖网捕捞法对海底造成了相当大的改变,增加悬浮沉积物的浓度(Daly等人,2018年;Paradis等人,2018年a),改变沉积物的分布和特性(Martín等人,2014年a、2014年b;Paradis等人,2018年b),并在氧气压力下充当生态系统中的累积压力因素(De Leo等人,2017年;Levin和Gallo,2019年)。捕鱼活动通过丢失鱼线、渔网和陷阱笼产生垃圾和废弃物(例如Pham等人,2014年;Maldonado等人,2015年;Quattrini等人,2015年;Vieira等人,2015年;Tubau等人,2015年;Woodall等人,2015年;Lastras等人,2016年;Cau等人,2017年;Giusti等人,2019年),这些垃圾和废弃物缠绕包括冷水珊瑚在内的各种海洋物种或对它们造成物理伤害(Aymà等人,2019年)。入侵物种可以通过附着这些废弃物和垃圾或与之产生联系进行扩散,这又是一个令人关切的问题。

污染物、沉积物、碎屑有机物、塑料和其他海洋废弃物很容易从陆架水域进入海底峡谷(Salvadó等人,2017年、2019年;Tamburrino等人,2019年)和深海(Puig等人,2014年;Leduc等人,2018

年)。沉积物中有毒金属(如镉)的积累促进了微生物对金属的耐受性(Papale等人,2018年)。世界各地大陆坡的海底随处可见塑料垃圾(如包装纸、塑料袋、塑料瓶),特别是在繁忙的航线下( Gerigny等人,2019年; Mecho等人,2020年)。在从大陆坡和海底峡谷深处采样的动物中发现了微塑料,而微塑料会输移自身附着的持久性有机污染物(Woodall等人,2014年;Taylor等人,2016;Courtene-Jones等人,2017年、2019年)。在陆地上从矿石中提取金属后,会产生叫作尾渣的细颗粒废物。尾渣的处理会将砷、钴、镍、汞、铅和锌等金属以及加工废物(氰化钠、石灰)带入大陆坡和海底峡谷(Reichlet-Brushett,2012年;Ramirez-Llodra等人,2015年)。仅在2015年,就有7个国家用管道将16座矿山的尾渣排入海洋(Vare等人,2018年)。尾渣可能通过直接造成动物窒息或中毒或通过改变物种相互作用以及生物累积导致动物死亡。

为开采磷酸盐资源(墨西哥、纳米比亚、新西兰和南非近海)和海山/尖峰或弧后环境中的海底块状硫化物而兴起的大陆坡区域潜在开采对大陆坡环境带来了额外的威胁(Levin等人,2016年b)。埋藏在大陆边缘的天然气水合物(冰冻甲烷)引起了浓厚的开采兴趣(Chong等人,2016年)。天然气水合物的开采和释放可能会对大陆坡和海底峡谷产生接近或超过所记录的深水传统油气开采的环境影响(Cordes等人,2016年;Olsen等人,2016年)。大陆坡和海底峡谷的物理不稳定性是在管理这种生境中人类活动方面需要考虑的一个重要问题。

## 5. 知识方面仍然存在的主要差距

大多数海底峡谷和大陆坡仍未得到调查,特别是在南半球和发展中国家的边缘。在相关出版物中,有一半仅关注全球11个海底峡谷(Matos等人,2018年)。在《第一次评估》中查明了一些知识差距,但那些差距大部分仍然存在。其中包括难

以取样的硬质附着基(如海底峡谷)上小分类单元生物多样性的特征。此外,我们对世界各地许多大陆坡环境的物种分布范围、连通模式以及对自然、气候和其他人为干扰的适应、抵抗和复原能力和敏感程度的长期趋势仍然知之甚少。深海环境中

最大的气候诱发变化预计会发生在深海, 所在水域正是支持多产渔业或高生物多样性的广大区域(Sweetman等人, 2017年; 见表2)。

目前对海底峡谷和大陆坡生态系统的保护通常依赖于使用自然地理、地貌和海洋学代用指标以及物种群落清单来确定脆弱资源的位置, 以便进行规划和管理(例如Van den Beld等人, 2017年; Auster等人, 2020年)。有了这些知识, 则能够使用物种分布模型(例如针对深海珊瑚和海绵, 如Ross等人, 2019年; Kinlan等人, 2020年; Pearman等人, 2020年; Morato等人, 2020年), 为政策提供关于养护目标地理空间范围的信息, 并且这些知识也可为欧盟Natura 2000自然保护区网络等方案提供参照——Natura 2000方案提供了一种将海底峡谷和大陆坡地区纳入保护性管理范围的机制(Serrano等人, 2017年; Van den Beld等人, 2017年)。

关于大陆坡和海底峡谷生态系统及其资源利用的可持续管理, 需要解决关键的科学问题, 包括: 对种群连通性及其从干扰中恢复的能力的主要影响; “源—汇”动态、生态位小生境特化和物种相互作用在构建多样性结构方面的作用; 极端条件(低氧和低pH值、高硫化氢、低碳酸盐饱和状态)和高度发展的互利或促进关系(如共生、偏利共栖)是否改变物种组合规则、适应性或多样性—功能关系; 以及是否有可作替代的合适生态系统健康指标分类群或集合体(见Levin和Sibuet, 2012年, 补

充附录)。这些问题的答案将为指定生态重要或脆弱生境提供信息, 如生态或生物重要区域(生物多样性公约秘书处, 2009年)和脆弱海洋生态系统(粮农组织, 2009年)。其他关键管理问题包括: (a) 深海尾渣处理的可持续性及其相对于陆地影响的环境影响; (b) 如何将数百个新发现的渗漏区纳入人类活动管理; 以及(c) 捕鱼和气候引起的表层生产和浮游植物组成、氧化以及酸化变化将如何影响底栖鱼类(以洄游浮游生物为食)进行的底层—中上层耦合和碳转移。

由于环境偏远、广阔和多样导致的采样不足给解决这些知识差距构成了挑战。约66%的200至1 000米大陆坡海底的水深测量和72%的1 000至3 000米大陆坡海底的水深测量仍未得到测绘(Mayer等人, 2018年)。海底还有更大面积的区域从未进行过生物调查, 包括非洲和南美洲边缘的重要部分。通常, 石油和天然气行业的勘探前评估会提供深层边缘的初步特征(Pabis等人, 2019年)。需要对大陆坡和海底峡谷进行时间序列(或连续)观测, 以表征自然变异性和对气候变化的响应, 并评估对人类活动影响的敏感性, 这将需要跨部门和跨辖区的合作(Evans等人, 2019年; Garçon等人, 2019年; Levin等人, 2019年; Vieira等人, 2019年)。如下文所述, 加快知识和技术转让以及在发展中国家建立科学基础设施可大大有助于弥补差距。

## 6. 能力建设方面仍然存在的主要差距

对大部分深海而言, 缺乏分类学专业知识是推进生物多样性研究的主要障碍(Fontaine等人, 2012年; Horton等人, 2017年)。一些研究人员越来越倾向于使用DNA作为基于形态学的分类学的替代工具(Sinniger等人, 2016年), 而其他人士则认为, 有必要为物种命名, 以支持海洋保护和海洋产业的发展(Horton等人, 2017年; Glover等人, 2018年)。大陆坡和海底峡谷研究在地理上偏向于与北大西洋和北太平洋接壤的发达国家的专属经济区以及大

洋洲周围, 这反映了获取机会、财政资源和开采所涉产业利益的现实情况。这导致全球对生物多样性模式和驱动因素的了解有限, 并影响专业知识的分配, 关于大陆坡和海底峡谷的专业知识的分配主要集中在发达地区以及中国、印度, 其次是巴西和智利。这也导致促进全球对大陆坡和海底峡谷生态系统的认识所需的技术、分析工具和方法分配不均。

可以通过让发展中国家的科学家更多地参与近海观测方案(例如地转海洋学实时观测阵、全球海洋船载水文调查方案、国际海洋持续跨学科时序环境观测系统方案)、观测网络(例如全球海洋酸化观测网络、全球海洋氧气网络)和科学网络(深海观测战略、深海管理倡议、国际海底峡谷调查和科学交流网络)来寻求一些解决办法。这一目标可以部分通过培训课程、巡航机会、综合研讨会或任命他们为指导委员会成员来实现,但提供科学支持的个人指导和资金是关键因素。联合国海洋科学促进可

持续发展十年(2021-2030年)可以为弥合这种能力差距发挥催化剂作用。

部分由于高度的地貌、地球化学和环境异质性,大陆坡和海底峡谷是深海生物多样性的一大来源。深海生物多样性仍处于发现阶段,在很大程度上没有得到保护,但却越来越容易受到气候变化和大陆边缘日益增长的人类采掘活动、污染和废物处理的影响。需要改进海洋观测、生物多样性特征、分类学知识和技术转让,特别是在南半球。

## 参考资料

- Auster, P.J., and others (2020). A Scientific Basis for Designation of the Northeast Canyons and Seamounts Marine National Monument. *Frontiers in Marine Science*, vol. 7, article 566, <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00566>.
- Aymà, Anna, and others (2019). Occurrence of Living Cold-Water Corals at Large Depths Within Submarine Canyons of the Northwestern Mediterranean Sea. In *Mediterranean Cold-Water Corals: Past, Present and Future*, pp. 271–284. Springer.
- Bennecke, Swaantje, and Anna Metaxas (2017). Effectiveness of a deep-water coral conservation area: evaluation of its boundaries and changes in octocoral communities over 13 years. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 137, pp. 420–435.
- Bertrand A., and others (2011) Oxygen: a fundamental property regulating pelagic ecosystem structure in the coastal southeastern tropical Pacific. *PLoS ONE*, vol. 6, No. 12, article e29558. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029558>.
- Bianchelli, S., and others (2010). Metazoan meiofauna in deep-sea canyons and adjacent open slopes: a large-scale comparison with focus on the rare taxa. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 57, No. 3, pp. 420–433.
- Bianchelli, Silvia, and Roberto Danovaro (2019). Meiofaunal biodiversity in submarine canyons of the Mediterranean Sea: a meta-analysis. *Progress in Oceanography*, vol. 170, pp. 69–80.
- Biaostoch, A., and others. (2011). Rising Arctic Ocean temperatures cause gas hydrate destabilization and ocean acidification. *Geophysical Research Letters*, vol. 38, L08602, <https://doi.org/10.1029/2011GL047222>, 2011.
- Bindoff, N.L., and others (2019). *Changing Ocean, Marine Ecosystems, and Dependent Communities*. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, H-O. Pörtner and others, eds.
- Blunt, J., and others (2013). Natural product reports. *Natural Product Reports*, vol. 39, pp. 237–323. <https://doi.org/10.1039/C2NP20112G>.
- Bosch, Jonathan, and others (2018). Temporally explicit and spatially resolved global offshore wind energy potentials. *Energy*, vol. 163, pp. 766–781.
- Bourque, Jill R., and Amanda W.J. Demopoulos (2018). The influence of different deep-sea coral habitats on sediment macrofaunal community structure and function. *PeerJ*, vol. 6, e5276.
- Bowden, David A., and others (2013). Cold seep epifaunal communities on the Hikurangi Margin, New Zealand: composition, succession, and vulnerability to human activities. *PLoS One*, vol. 8, No. 10, e76869.

- Bowden, David A., and others (2016). Deep-sea seabed habitats: Do they support distinct mega-epifaunal communities that have different vulnerabilities to anthropogenic disturbance? *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 107, pp. 31–47.
- Cardich, J., and others (2019). Multidecadal changes in marine subsurface oxygenation off Central Peru during the last ca. 170 years. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, article 270, <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00270>.
- Carney, Robert S. (2005). Zonation of deep biota on continental margins. In *Oceanography and Marine Biology*, pp. 221–288. CRC Press.
- Carugati, L., and others (2019). Patterns and drivers of meiofaunal assemblages in the canyons Polcevera and Bisagno of the Ligurian Sea (NW Mediterranean Sea). *Progress in Oceanography*, vol. 175, pp. 81–91.
- Cau, Alessandro, and others (2017). Submarine canyons along the upper Sardinian slope (Central Western Mediterranean) as repositories for derelict fishing gears. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 123, Nos. 1–2, pp. 357–364.
- Celussi, Mauro, and others (2018). Planktonic prokaryote and protist communities in a submarine canyon system in the Ligurian Sea (NW Mediterranean). *Progress in Oceanography*, vol. 168, pp. 210–221.
- Chiggiato, Jacopo, and others (2016). Dense-water bottom currents in the Southern Adriatic Sea in spring 2012. *Marine Geology*, vol. 375, pp. 134–145.
- Chong, Rong Zheng, and others (2016). Review of natural gas hydrates as an energy resource: Prospects and challenges. *Applied Energy*, vol. 162, pp. 1633–1652.
- Clark, Malcolm R., and others (2016). The impacts of deep-sea fisheries on benthic communities: a review. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 73, No. suppl. 1, pp. i51–i69.
- Cordes, Erik E., and others (2016). Environmental impacts of the deep-water oil and gas industry: a review to guide management strategies. *Frontiers in Environmental Science*, vol. 4, art. 58.
- Corinaldesi, Cinzia, and others (2019a). High diversity of benthic bacterial and archaeal assemblages in deep-Mediterranean canyons and adjacent slopes. *Progress in Oceanography*, vol. 171, pp. 154–161.
- Corinaldesi, Cinzia, and others (2019b). High rates of viral lysis stimulate prokaryotic turnover and C recycling in bathypelagic waters of a Ligurian canyon (Mediterranean Sea). *Progress in Oceanography*, vol. 171, pp. 70–75.
- Courtene-Jones, Winnie, and others (2017). Microplastic pollution identified in deep-sea water and ingested by benthic invertebrates in the Rockall Trough, North Atlantic Ocean. *Environmental Pollution*, vol. 231, pp. 271–280.
- Courtene-Jones, Winnie, and others (2019). Consistent microplastic ingestion by deep-sea invertebrates over the last four decades (1976–2015), a study from the North East Atlantic. *Environmental Pollution*, vol. 244, pp. 503–512.
- Czeschel, Rena, and others (2015). Circulation, eddies, oxygen and nutrient changes in the eastern tropical South Pacific Ocean. *Ocean Science*, vol. 11, pp. 455–470, <https://doi.org/10.5194/os-11-455-2015>.
- Daly, Eoghan, and others (2018). Bottom trawling at Whittard Canyon: evidence for seabed modification, trawl plumes and food source heterogeneity. *Progress in Oceanography*.
- Danovaro, R., and others (2009).  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ - and  $\epsilon$ -diversity of deep-sea nematodes in canyons and open slopes of Northeast Atlantic and Mediterranean margins. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 396, pp. 197–209.
- De Leo, Fabio C., and others (2010). Submarine canyons: hotspots of benthic biomass and productivity in the deep sea. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 277, No. 1695, pp. 2783–2792.

- De Leo, Fabio C., and others (2012). The effects of submarine canyons and the oxygen minimum zone on deep-sea fish assemblages off Hawai'i. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 64, pp. 54–70.
- De Leo, Fabio C., and others (2017). Bottom trawling and oxygen minimum zone influences on continental slope benthic community structure off Vancouver Island (NE Pacific). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 137, pp. 404–419.
- Demopoulos, Amanda W.J., and others (2016). Impacts of the Deepwater Horizon oil spill on deep-sea coral-associated sediment communities. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 561, pp. 51–68.
- Demopoulos, Amanda W.J., and others (2014). Biodiversity and community composition of sediment macrofauna associated with deep-sea *Lophelia pertusa* habitats in the Gulf of Mexico. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 93, pp. 91–103.
- Di Bella, L., and others (2019). Living foraminiferal assemblages in two submarine canyons (Polcevera and Bisagno) of the Ligurian basin (Mediterranean Sea). *Progress in Oceanography*, vol. 173, pp. 114–133.
- Diociaiuti, Tommaso, and others (2019). Vertical distribution of microbial communities abundance and biomass in two NW Mediterranean Sea submarine canyons. *Progress in Oceanography*, vol. 175, pp. 14–23.
- Domke, Lia, and others (2017). Influence of an oxygen minimum zone and macroalgal enrichment on benthic megafaunal community composition in a NE Pacific submarine canyon. *Marine Ecology*, vol. 38, No. 6, pe12481.
- D'Onghia, Gianfranco, and others (2015). Exploring composition and behaviour of fish fauna by in situ observations in the Bari Canyon (Southern Adriatic Sea, Central Mediterranean). *Marine Ecology*, vol. 36, No. 3, pp. 541–556.
- D'souza, N.A., and others (2016). Elevated surface chlorophyll associated with natural oil seeps in the Gulf of Mexico. *Nature Geoscience*, vol. 9, No. 3, p. 215.
- Dueñas, Luisa F., and others (2016). The Antarctic Circumpolar Current as a diversification trigger for deep-sea octocorals. *BMC Evolutionary Biology*, vol. 16, No. 1, art. 2.
- Egger, Matthias, and others (2018). Global diffusive fluxes of methane in marine sediments. *Nature Geoscience*, vol. 11, No. 6, p. 421.
- Ekau, Werner, and others (2010). Impacts of hypoxia on the structure and processes in pelagic communities (zooplankton, macro-invertebrates and fish). *Biogeosciences*, vol. 7, No. 5, pp. 1669–1699.
- Espinoza-Morriberón, D., and others. (2017). Impacts of El Niño events on the Peruvian upwelling system productivity. *Journal of Geophysical Research Oceans*, vol. 122, pp. 5423–5444, <https://doi.org/10.1002/2016JC012439>.
- Etnoyer, Peter, and Jon Warrenchuk (2007). A catshark nursery in a deep gorgonian field in the Mississippi Canyon, Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science*, vol. 81, No. 3, pp. 553–559.
- Evans, Karen, and others (2019). The Global Integrated World Ocean Assessment: Linking Observations to Science and Policy Across Multiple Scales. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 298.
- Fanelli, Emanuela, and others (2018). Deep-sea mobile megafauna of Mediterranean submarine canyons and open slopes: analysis of spatial and bathymetric gradients. *Progress in Oceanography*, vol. 168, pp. 23–34.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2009). *International Guidelines for the Management of Deep-Sea Fisheries in the High-Seas*. Rome.
- \_\_\_\_\_ (2019). *Deep-Ocean Climate Change Impacts on Habitat, Fish and Fisheries*. Fisheries and Aquaculture Technical Paper 638. Rome.
- Fernandez-Arcaya, Ulla, and others (2017). Ecological role of submarine canyons and need for canyon conservation: a review. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 5.

- Fontaine, Benoît, and others (2012). 21 years of shelf life between discovery and description of new species. *Current Biology*, vol. 22, No. 22, pp. R943–R944.
- Fountain, Christopher Tyler, and others (2019). Individual and Population Level Variation in the Reproductive Potential of Deep-Sea Corals From Different Regions Within the Gulf of Maine. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 172.
- Gallo, Natalya D. (2018). Influence of ocean deoxygenation on demersal fish communities: lessons from upwelling margins and oxygen minimum zones. PhD Thesis, UC San Diego.
- Gallo, Natalya D., and others (2020). Dissolved oxygen and temperature best predict of deep-sea fish community structure in the Gulf of California with implications for climate change. In *Marine Ecology Progress Series*, vol. 637, pp.159–180.
- Gambi, Cristina, and others (2019). Biodiversity and distribution of meiofauna in the Gioia, Petrace and Dohrn Canyons (Tyrrhenian Sea). *Progress in Oceanography*, vol. 171, pp. 162–174.
- Garçon, Véronique, and others (2019). Multidisciplinary Observing in the World Ocean's Oxygen Minimum Zone regions: from climate to fish – the VOICE initiative. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 722.
- Gehlen, M., and others (2014). Projected pH reductions by 2100 might put deep North Atlantic biodiversity at risk. *Biogeosciences*, vol. 11, No. 23, pp. 6955–6967. <https://doi.org/10.5194/bg-11-6955-2014>.
- Genin, Amatzia (2004). Bio-physical coupling in the formation of zooplankton and fish aggregations over abrupt topographies. *Journal of Marine Systems*, vol. 50, No. 1, pp. 3–20. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2003.10.008>.
- Gerigny, O., and others (2019) Seafloor litter from the continental shelf and canyons in French Mediterranean water: distribution, typologies and trends. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 146, pp. 653–666. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.07.030>.
- Gilly, William F., and others (2013). Oceanographic and biological effects of shoaling of the oxygen minimum zone. *Annual Review of Marine Science*, vol. 5, pp. 393–420.
- Giusti, M., and others (2019). Coral forests and Derelict Fishing Gears in submarine canyon systems of the Ligurian Sea. *Progress in Oceanography*, vol. 178, art. 102186.
- Glover, Adrian G., and others (2018). Point of View: Managing a sustainable deep-sea 'blue economy' requires knowledge of what actually lives there. *ELife*, vol. 7, e41319.
- Goffredi, S.K., and others (2020). Methanotrophic bacterial symbionts fuel dense populations of deep-sea feather duster worms (Sabellida, Annelida) and extend the spatial influence of methane seepage. *Science Advances*, vol. 6, No. 14.
- Gooday, A.J., and others (2009). Faunal responses to oxygen gradients on the Pakistan margin: a comparison of foraminiferans, macrofauna and megafauna. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 56, Nos. 6–7, pp. 488–502.
- Gooday, A.J., and others (2010). Habitat heterogeneity and its influence on benthic biodiversity in oxygen minimum zones. *Marine Ecology*, vol. 31, No. 1, pp. 125–147.
- Graco M., and others. (2017). The OMZ and nutrients features as a signature of interannual and low frequency variability off the Peruvian upwelling system. *Biogeosciences*, vol. 14, pp. 4601–4617. <https://doi.org/10.5194/bg-14-4601-2017>.
- Grupe, Benjamin M., and others (2015). Methane seep ecosystem functions and services from a recently discovered southern California seep. *Marine Ecology*, vol. 36, pp. 91–108.
- Harriague, Anabella Covazzi, and others (2019). Macrofaunal assemblages in canyon and adjacent slope of the NW and Central Mediterranean systems. *Progress in Oceanography*, vol. 171, pp. 38–48.
- Harris, Peter, and others (2014). Geomorphology of the oceans. *Marine Geology*, vol. 352. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.01.011>.

- Harris, Peter T., and Elaine K. Baker (2020). GeoHab atlas of seafloor geomorphic features and benthic habitats—synthesis and lessons learned. In *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat*, pp. 969–990. Elsevier.
- Helly, John J., and Lisa A. Levin (2004). Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 51, No. 9, pp. 1159–1168.
- Hidalgo, Pamela, and others (2005). Ontogenetic vertical distribution and diel migration of the copepod *Eucalanus inermis* in the oxygen minimum zone off northern Chile (20–21° S). *Journal of Plankton Research*, vol. 27, pp. 519–529.
- Hogg, Oliver T., and others (2016). Landscape mapping at sub-Antarctic South Georgia provides a protocol for underpinning large-scale marine protected areas. *Scientific Reports*, vol. 6, art. 33163.
- Holland, L.P., and others (2019). *Genetic connectivity of deep-sea corals in the New Zealand region*. New Zealand Aquatic Environment & Biodiversity Report No. 245, Wellington.
- Horton, Tammy, and others (2017). Improving nomenclatural consistency: a decade of experience in the World Register of Marine Species. *European Journal of Taxonomy*, No. 389.
- Huang, Huai-Hsuan May, and others (2018). Benthic biotic response to climate changes over the last 700,000 years in a deep marginal sea: impacts of deoxygenation and the Mid-Brunhes Event. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, vol. 33, No. 7, pp. 766–777.
- Huang, Huai-Hsuan May, and others (2019). Deep-sea ostracod faunal dynamics in a marginal sea: biotic response to oxygen variability and mid-Pleistocene global changes. *Paleobiology*, vol. 45, No. 1, pp. 85–97.
- Huang, Zhi, and others (2018). A conceptual surrogacy framework to evaluate the habitat potential of submarine canyons. *Progress in Oceanography*, vol. 169, pp. 199–213. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.11.007>.
- Hunter, William R., and others (2011). Epi-benthic megafaunal zonation across an oxygen minimum zone at the Indian continental margin. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 58, No. 6, pp. 699–710.
- Huvenne, V.A.I., and others (2016). Effectiveness of a deep-sea cold-water coral Marine Protected Area, following eight years of fisheries closure. *Biological Conservation*, vol. 200, pp. 60–69.
- Huvenne, V.A.I., and others (2018). ROVs and AUVs. In *Submarine Geomorphology*, pp. 93–108. Springer.
- Ingels, Jeroen, and others (2009). Nematode diversity and its relation to the quantity and quality of sedimentary organic matter in the deep Nazaré Canyon, Western Iberian Margin. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 56, No. 9, pp. 1521–1539.
- Ingels, Jeroen, and others (2011). Structural and functional diversity of Nematoda in relation with environmental variables in the Setúbal and Cascais canyons, Western Iberian Margin. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 58, Nos. 23–24, pp. 2354–2368.
- Ingels, Jeroen, and Ann Vanreusel (2013). The importance of different spatial scales in determining structural and functional characteristics of deep-sea infauna communities. *Biogeosciences*, vol. 10, No. 7, pp. 4547–4563.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2019). Summary for Policymakers. In *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, H-O. Pörtner and others, eds.
- Ismail, Khaira, and others (2015). Objective automated classification technique for marine landscape mapping in submarine canyons. *Marine Geology*, vol. 362, pp. 17–32.
- Johnson, H. Paul, and others (2015). Analysis of bubble plume distributions to evaluate methane hydrate decomposition on the continental slope. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol. 16, No. 11, pp. 3825–3839.

- Jones, Daniel O.B., and others (2014). Global reductions in seafloor biomass in response to climate change. *Global Change Biology*, vol. 20, No. 6, pp. 1861–1872.
- Keller, Aimee A., and others (2015). Occurrence of demersal fishes in relation to near-bottom oxygen levels within the California Current large marine ecosystem. *Fisheries Oceanography*, vol. 24, No. 2, pp. 162–176.
- Kelly, Noreen E., and others (2010). Biodiversity of the deep-sea continental margin bordering the Gulf of Maine (NW Atlantic): relationships among sub-regions and to shelf systems. *PLoS One*, vol. 5, No. 11, e13832.
- Kenchington, E.L., and others (2014). Limited depth zonation among bathyal epibenthic megafauna of the Gully submarine canyon, northwest Atlantic. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 104, pp. 67–82.
- Kinlan, B.P., and others (2020). Predictive modeling of suitable habitat for deep-sea corals offshore the Northeast United States. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 158, <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2020.103229>.
- Kool, Johnathan T., and others (2015). Simulated larval connectivity among Australia's southwest submarine canyons. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 539, pp. 77–91.
- Kool, Johnathan T., and others (2013). Population connectivity: recent advances and new perspectives. *Landscape Ecology*, vol. 28, No. 2, pp. 165–185.
- Koslow, J. Anthony, and others (2011). Impact of declining intermediate-water oxygen on deepwater fishes in the California Current. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 436, pp. 207–218.
- Lastras, G., and others (2008). Geomorphology and sedimentary features in the Central Portuguese submarine canyons, Western Iberian margin. *Geomorphology*, vol. 103, No. 3, pp. 310–329.
- Lastras, G., and others (2016). Cold-Water Corals and Anthropogenic Impacts in La Fonera Submarine Canyon Head, Northwestern Mediterranean Sea. *PLoS One*, vol. 11, No. 5, pp. 1–36. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155729>.
- Leal, M.C., and others (2012). Trends in the discovery of new marine natural products from invertebrates over the last two decades – where and what are we bioprospecting. *PLoS One*, vol. 7, No. 1, art. e30580, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030580>.
- Leduc, Daniel, and others (2014). Unusually high food availability in Kaikoura Canyon linked to distinct deep-sea nematode community. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 104, pp. 310–318.
- Leduc, Daniel, and others (2016). Limited differences among habitats in deep-sea macro-infaunal communities off New Zealand: implications for their vulnerability to anthropogenic disturbance. *Marine Ecology*, vol. 37, No. 4, pp. 845–866.
- Leduc, Daniel, and others (2018). *Quantifying the Transfer of Terrestrial Organic Matter into Two Contrasting New Zealand Submarine Canyon Systems Using Bulk and Compound-Specific Stable Isotopes*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24107.08482>.
- Levin, Lisa A. (2003). Oxygen minimum zone benthos: Adaptation and community response to hypoxia. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, vol. 41, pp. 1–45.
- \_\_\_\_\_ (2005). Ecology of cold seep sediments: interactions of fauna with flow, chemistry and microbes. In *Oceanography and Marine Biology*, pp. 11–56. CRC Press.
- \_\_\_\_\_ (2018). Manifestation, drivers, and emergence of open ocean deoxygenation. *Annual Review of Marine Science*, vol. 10, pp. 229–260.
- Levin, Lisa A., and Greg Rouse (2019). Giant Protists (Xenophyophores) Function as Fish Nurseries. *Ecology*. <https://doi.org/10.1002/ecy.2933>.

- Levin, Lisa A., and John D. Gage (1998). Relationships between oxygen, organic matter and the diversity of bathyal macrofauna. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 45, No. 1–3, pp. 129–163.
- Levin, Lisa A., and Myriam Sibuet (2012). Understanding continental margin biodiversity: a new imperative. *Annual Review of Marine Science*, vol. 4, pp. 79–112.
- Levin, Lisa A., and Natalya D. Gallo (2019). Chapter 8.5: Continental margin benthic and demersal biota. In *Ocean Deoxygenation – Everyone’s Problem: Causes, Impacts, Consequences and Solutions*, D. Laffoley and J.M. Baxter, eds. Gland: IUCN.
- Levin, Lisa A., and others (2001). Environmental influences on regional deep-sea species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 32, No. 1, pp. 51–93.
- Levin, Lisa A., and others (2009). Oxygen and organic matter thresholds for benthic faunal activity on the Pakistan margin oxygen minimum zone (700–1100 m). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 56, Nos. 6–7, pp. 449–471.
- Levin, Lisa A., and others (2013). Macrofaunal colonization across the Indian Margin oxygen minimum zone. *Biogeosciences*, vol. 10, pp. 7161–77.
- Levin, Lisa A., and others (2015a). Biodiversity on the rocks: macrofauna inhabiting authigenic carbonate at Costa Rica methane seeps. *PLoS One*, vol. 10, No. 7, e0131080.
- Levin, Lisa A., and others (2015b). Comparative biogeochemistry-ecosystem-human interactions on dynamic continental margins. *Journal of Marine Systems*, vol. 141, pp. 3–17.
- Levin, Lisa A., and others (2016a). Defining “serious harm” to the marine environment in the context of deep-seabed mining. *Marine Policy*, vol. 74, pp. 245–259.
- Levin, Lisa A., and others (2016b). Hydrothermal vents and methane seeps: rethinking the sphere of influence. *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 72.
- Levin, Lisa A., and others (2017). Methane seepage effects on biodiversity and biological traits of macrofauna inhabiting authigenic carbonates. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 137, pp. 26–41.
- Levin, Lisa A., and others (2019). Global observing needs in the deep ocean. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 241. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00241>.
- Lo Iacono, Claudio, and others (2019). 15 Habitat Mapping of Cold-Water Corals in the Mediterranean Sea. In *Mediterranean Cold-Water Corals: Past, Present and Future: Understanding the Deep-Sea Realms of Coral*, Covadonga Orejas and Carlos Jiménez, eds., pp. 157–171. Cham, Switzerland: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-91608-8\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91608-8_15).
- Lowe, Michael R., and others (2018). Drivers of euphausiid distribution and abundance in the Northeast U.S. Shelf Large Marine Ecosystem. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 75, No. 4, pp. 1280–95. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsx247>.
- Lu, Beiwei, and others (2003). Cross-shore separation of adult and juvenile euphausiids in a shelf-break alongshore current. *Progress in Oceanography*, vol. 57, No. 3, pp. 381–404. [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(03\)00107-1](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(03)00107-1).
- Luna, Gian Marco, and others (2016). Dense water plumes modulate richness and productivity of deep sea microbes. *Environmental Microbiology*, vol. 18, No. 12, pp. 4537–4548.
- Maldonado, Manuel, and others (2015). Aggregated clumps of lithistid sponges: a singular, reef-like bathyal habitat with relevant paleontological connections. *PloS One*, vol. 10, No. 5, e0125378.
- Marsh, Leigh, and others (2018). Geomorphological evidence of large vertebrates interacting with the seafloor at abyssal depths in a region designated for deep-sea mining. *Royal Society Open Science*, vol. 5, No.8, 180286.
- Martín, Jacobo, and others (2014a). Impact of bottom trawling on deep-sea sediment properties along the flanks of a submarine canyon. *PloS One*, vol. 9, No. 8, e104536.

- Martín, Jacobo, and others (2014b). Trawling-induced daily sediment resuspension in the flank of a Mediterranean submarine canyon. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 104, pp. 174–183.
- Matos, F.L., and others (2018). Canyons pride and prejudice: Exploring the submarine canyon research landscape, a history of geographic and thematic bias. *Progress in Oceanography*, vol. 169, pp. 6–19.
- Mayer, Larry, and others (2018). The Nippon Foundation–GEBCO seabed 2030 project: The quest to see the world’s oceans completely mapped by 2030. *Geosciences*, vol. 8, No. 2, art. 63.
- McCormick, Lillian R., and others (2019). Vision is highly sensitive to oxygen availability in marine invertebrate larvae. *Journal of Experimental Biology*, vol. 222, No. 10, jeb200899.
- Mecho, A., and others (2020). Deep-sea litter in the Gulf of Cadiz (Northeastern Atlantic, Spain). *Marine Pollution Bulletin*, vol. 153, 110969. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110969>.
- Menot, Lenaick, and others (2010). New perceptions of continental margin biodiversity. *Life in the World’s Oceans: Diversity, Distribution, and Abundance, Edited by: McIntyre, AD79–103*.
- Merrie, Andrew, and others (2014). An ocean of surprises – trends in human use, unexpected dynamics and governance challenges in areas beyond national jurisdiction. *Global Environmental Change*, vol. 27, pp. 19–31.
- Metaxas, Anna, and others (2019). Hydrodynamic connectivity of habitats of deep-water corals in Corsair Canyon, Northwest Atlantic: a case for cross-boundary conservation. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 159.
- Morato, Telmo, and others. (2020). Climate-induced changes in the suitable habitat of cold-water corals and commercially important deep-sea fishes in the North Atlantic. *Global Change Biology*, vol. 26, pp. 2181–2202. <https://doi.org/10.1111/gcb.14996>.
- Muiños, Susana Bolhão, and others (2013). Deep-sea Fe-Mn Crusts from the Northeast Atlantic Ocean: Composition and Resource Considerations. *Marine Georesources & Geotechnology*, vol. 31, No. 1, pp. 40–70. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2012.661215>.
- Narayanaswamy, Bhavani E., and others (2010). Deep-water macrofaunal diversity in the Faroe-Shetland region (NE Atlantic): a margin subject to an unusual thermal regime. *Marine Ecology*, vol. 31, No. 1, pp. 237–246.
- Netburn, Amanda N., and J. Anthony Koslow (2015). Dissolved oxygen as a constraint on daytime deep scattering layer depth in the southern California current ecosystem. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 104, pp. 149–158.
- Olsen, B.R., and others (2016). Environmental challenges related to offshore mining and gas hydrate extraction. *Miljødirektoratet. Rapport M-532*.
- Pabis, Krzysztof, and others (2019). Natural and anthropogenic factors influencing abundance of the benthic macrofauna along the shelf and slope of the Gulf of Guinea, a large marine ecosystem off West Africa. *Oceanologia*.
- Papale, Maria, and others (2018). Heavy-metal resistant microorganisms in sediments from submarine canyons and the adjacent continental slope in the northeastern Ligurian margin (Western Mediterranean Sea). *Progress in Oceanography*, vol. 168, pp. 155–168.
- Paradis, Sarah, and others (2018a). Enhancement of sedimentation rates in the Foix Canyon after the renewal of trawling fleets in the early XXIst century. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 132, pp. 51–59.
- Paradis, Sarah, and others (2018b). Spatial distribution of sedimentation-rate increases in Blanes Canyon caused by technification of bottom trawling fleet. *Progress in Oceanography*, vol. 169, pp. 241–252.
- Pearman, T.R.R., and others (2020). Improving the predictive capability of benthic species distribution models by incorporating oceanographic data – towards holistic ecological modelling of a submarine canyon. *Progress in Oceanography*, vol. 184, art. 102338.

- Pham, Christopher K., and others (2014). Marine litter distribution and density in European seas, from the shelves to deep basins. *PLoS One*, vol. 9, No. 4, e95839.
- Phrampus, Benjamin J., and Matthew J. Hornbach (2012). Recent changes to the Gulf Stream causing widespread gas hydrate destabilization. *Nature*, vol. 490, No. 7421, p. 527.
- Pierdomenico, M. and others (2019). Megafauna distribution along active submarine canyons of the central Mediterranean: relationships with environmental variables. *Progress in Oceanography*, vol. 171, pp. 49–69.
- Pierdomenico, M. and others (2015). Sedimentary facies, geomorphic features and habitat distribution at the Hudson Canyon head from AUV multibeam data. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 121, pp. 112–125.
- Pizarro-Koch, M., and others (2018). Seasonal variability of the southern tip of the Oxygen Minimum Zone in the Eastern South Pacific (30°–38°S): A modeling study. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 124, pp. 8574–8604. <https://doi.org/10.1029/2019JC015201>.
- Priede, Imants G., and others (2010). Deep-sea demersal fish species richness in the Porcupine Seabight, NE Atlantic Ocean: global and regional patterns. *Marine Ecology*, vol. 31, No. 1, pp. 247–260.
- Puig, Pere, and others (2014). Contemporary sediment-transport processes in submarine canyons. *Annual Review of Marine Science*, vol. 6, pp. 53–77.
- Pusceddu, Antonio, and others (2014). Chronic and intensive bottom trawling impairs deep-sea biodiversity and ecosystem functioning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, No. 24, pp. 8861–8866.
- Quattrini, Andrea M., and others (2015). Exploration of the canyon-incised continental margin of the northeastern United States reveals dynamic habitats and diverse communities. *PLoS One*, vol. 10, No. 10, e0139904.
- Ramirez-Llodra, Eva, and others (2015). Submarine and deep-sea mine tailing placements: a review of current practices, environmental issues, natural analogs and knowledge gaps in Norway and internationally. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 97, No. 1, pp. 13–35. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.062>.
- Rastelli, Eugenio, and others (2018). Rapid response of benthic deep-sea microbes (viruses and prokaryotes) to an intense dense shelf water cascading event in a submarine canyon of the NW Mediterranean Sea. *Progress in Oceanography*, vol. 168, pp. 35–42.
- Rathburn, A.E., and others (2009). Geological and biological heterogeneity of the Aleutian margin (1965–4822 m). *Progress in Oceanography*, vol. 80, Nos. 1–2, pp. 22–50.
- Reed, John K., and others (2007). Impacts of bottom trawling on a deep-water *Oculina* coral ecosystem off Florida. *Bulletin of Marine Science*, vol. 81, No. 3, pp. 481–496.
- Reichelt-Brushett, Amanda (2012). Risk assessment and ecotoxicology: limitations and recommendations for ocean disposal of mine waste in the coral triangle. *Oceanography*, vol. 25, No. 4, pp. 40–51.
- Rex, Michael A., and Gilbert T. Rowe (1983). Geographic patterns of species diversity in the deep-sea benthos. In *The Sea*, pp. 453–472. New York: Wiley.
- Rex, Michael A., and Ron J. Etter (2010). *Deep-Sea Biodiversity: Pattern and Scale*. Cambridge: Harvard University Press.
- Riedel, Michael, and others (2018). Distributed natural gas venting offshore along the Cascadia margin. *Nature Communications*, vol. 9, No. 1, pp. 1–14.
- Rosli, Norliana, and others (2016). Differences in meiofauna communities with sediment depth are greater than habitat effects on the New Zealand continental margin: implications for vulnerability to anthropogenic disturbance. *PeerJ*, vol. 4, e2154.

- Ross, Rebecca E., and others (2019). Combining distribution and dispersal models to identify a particularly vulnerable marine ecosystem. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 574. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00574>.
- Ross, Steve W., and others (2015). Demersal fish distribution and habitat use within and near Baltimore and Norfolk Canyons, US middle Atlantic slope. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 103, pp. 137–154.
- Rowden, Ashley A., and others (2016). Habitat differences in deep-sea megafaunal communities off New Zealand: implications for vulnerability to anthropogenic disturbance and management. *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 241.
- Salvadó, Joan A., and others (2017). Transfer of lipid molecules and polycyclic aromatic hydrocarbons to open marine waters by dense water cascading events. *Progress in Oceanography*, vol. 159, pp. 178–194.
- Salvadó, Joan A., and others (2019). Influence of deep water formation by open-sea convection on the transport of low hydrophobicity organic pollutants in the NW Mediterranean Sea. *Science of the Total Environment*, vol. 647, pp. 597–605.
- Salvatteci, Renato, and others (2019). Fish debris in sediments from the last 25 kyr in the Humboldt Current reveal the role of productivity and oxygen on small pelagic fishes. *Progress in Oceanography*, vol. 176, art. 102114. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2019.05.006>.
- Santora, Jarrod A., and others (2018). Submarine canyons represent an essential habitat network for krill hotspots in a Large Marine Ecosystem. *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, art. 7579. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25742-9>.
- Sardà, F., and others (2009). Relationship between environment and the occurrence of the deep-water rose shrimp *Aristeus antennatus* (Risso, 1816) in the Blanes submarine canyon (NW Mediterranean). *Progress in Oceanography*, vol. 82, No. 4, pp. 227–238.
- Sato, Kirk N., and others (2018). Response of sea urchin fitness traits to environmental gradients across the southern California oxygen minimum zone. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 258.
- Schimmelmann, Arndt, and others (2016). Varves in marine sediments: a review. *Earth-Science Reviews*, vol. 159, pp. 215–246.
- Seabrook, Sarah, and others (2019). Flipping for Food: The use of a methane seep by Tanner Crabs (*Chionoecetes tanneri*). *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 43.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2009). COP 12 Decision XII/22. Marine and coastal biodiversity: ecologically or biologically significant marine areas (EBSAs). [www.cbd.int/decision/cop/?id=13385](http://www.cbd.int/decision/cop/?id=13385).
- Seibel, Brad A., and others (2016). Hypoxia tolerance and metabolic suppression in oxygen minimum zone euphausiids: implications for ocean deoxygenation and biogeochemical cycles. *Integrative and Comparative Biology*, vol. 56, No. 4, pp. 510–523.
- Seibel, Brad A., and others (2018). Metabolic suppression in the pelagic crab, *Pleuroncodes planipes*, in oxygen minimum zones. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, vol. 224, pp. 88–97.
- Sellanes, Javier, and others (2010). Diversity patterns along and across the Chilean margin: a continental slope encompassing oxygen gradients and methane seep benthic habitats. *Marine Ecology*, vol. 31, No. 1, pp. 111–124.
- Sellanes, Javier, and others (2008). Megafauna community structure and trophic relationships at the recently discovered Concepción Methane Seep Area, Chile, 36 S. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 65, No. 7, pp. 1102–1111.
- Sen, Arunima, and others (2019). Atypical biological features of a new cold seep site on the Lofoten-Vesterrålen continental margin (northern Norway). *Scientific Reports*, vol. 9, No. 1, art. 1762.

- Serrano, A., and others (2017). Deep-sea benthic habitats modeling and mapping in a NE Atlantic seamount (Galicia Bank) *Deep-sea Research Part 1*, vol. 126, pp. 115–127
- Sinniger, Frédéric, and others (2016). Worldwide analysis of sedimentary DNA reveals major gaps in taxonomic knowledge of deep-sea benthos. *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 92.
- Sion, Letizia, and others (2019). Does the Bari Canyon (Central Mediterranean) influence the fish distribution and abundance? *Progress in Oceanography*, vol. 170, pp. 81–92.
- Skarke, Adam, and others (2014). Widespread methane leakage from the sea floor on the northern US Atlantic margin. *Nature Geoscience*, vol. 7, No. 9, p. 657.
- Skropeta, D., and L. Wei (2014). Recent advances in deep-sea natural products. *Natural Product Reports*, vol. 31, pp. 999–1025. <https://doi.org/10.1039/C3NP70118B>.
- Smith, Craig R., and others (2000). Variations in bioturbation across the oxygen minimum zone in the northwest Arabian Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 47, Nos. 1–2, pp. 227–257.
- Soldatou, Sylvia, and Bill J. Baker (2017). Cold-water marine natural products, 2006 to 2016. *Natural Product Reports*, vol. 34, pp. 585–626. <https://doi.org/10.1039/C6NP00127K>.
- Sperling, Erik A., and others (2013). Oxygen, ecology, and the Cambrian radiation of animals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, No. 33, pp. 13446–13451.
- Sperling, Erik A., and others (2016). Biodiversity response to natural gradients of multiple stressors on continental margins. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 283, No. 1829, 20160637.
- Stramma, Lothar, and others (2008). Expanding oxygen-minimum zones in the tropical oceans. *Science*, vol. 320, No. 5876, pp. 655–658.
- Stramma, Lothar, and others (2010). Ocean oxygen minima expansions and their biological impacts. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 57, No. 4, pp. 587–595.
- Sweetman, Andrew K., and others (2017). Major impacts of climate change on deep-sea benthic ecosystems. *Elementa: Science of the Anthropocene*, vol. 5, No. 4.
- Tamburrino, Stella, and others (2019). Pathways of inorganic and organic contaminants from land to deep sea: the case study of the Gulf of Cagliari (W Tyrrhenian Sea). *Science of the Total Environment*, vol. 647, pp. 334–341.
- Taviani, Marco, and others (2019). U/Th dating records of cold-water coral colonization in submarine canyons and adjacent sectors of the southern Adriatic Sea since the Last Glacial Maximum. *Progress in Oceanography*, vol. 175.
- Taylor, M.L., and others (2016). Plastic microfibre ingestion by deep-sea organisms. *Scientific Reports*, vol. 6, art. 33997.
- Taylor, J.R., and others (2014). Physiological effects of environmental acidification in the deep-sea urchin *Strongylocentrotus fragilis*. *Biogeosciences*, vol. 11, No. 5, pp. 1413–1423.
- Teixeira, Manuel, and others (2019). Interaction of along slope and downslope processes in the Alentejo Margin (SW Iberia) – Implications on slope stability. *Marine Geology*, vol. 410, pp. 88–108. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2018.12.011>.
- Treude, Tina, and others (2011). Elasmobranch egg capsules associated with modern and ancient cold seeps: a nursery for marine deep-water predators. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 437, pp. 175–181.
- Trueman, C.N., and others (2014). Trophic interactions of fish communities at midwater depths enhance long-term carbon storage and benthic production on continental slopes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 281, No. 1787, 20140669.

- Tubau, Xavier, and others (2015). Marine litter on the floor of deep submarine canyons of the Northwestern Mediterranean Sea: the role of hydrodynamic processes. *Progress in Oceanography*, vol. 134, pp. 379–403.
- Tutasi, Pritha, and Ruben Escribano (2020). Zooplankton diel vertical migration and downward C flux into the oxygen minimum zone in the highly productive upwelling region off northern Chile. *Biogeosciences*, vol. 17, pp. 455–473.
- United Nations (2017a). Chapter 36F: Open ocean deep sea. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2017b). Chapter 51: Biological communities on seamounts and other submarine features potentially threatened by disturbance. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2017c). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Van den Beld, I.M., and others (2017). Cold-water coral habitats in submarine canyons of the Bay of Biscay. *Frontiers in Marine Science*, vol. 7, art. 118, <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00118>.
- Vare, Lindsay L., and others (2018). Scientific considerations for the assessment and management of mine tailings disposal in the deep sea. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 17.
- Vieira, Rui P., and others (2015). Lost fishing gear and litter at Gorringe Bank (NE Atlantic). *Journal of Sea Research*, vol. 100, pp. 91–98.
- Vieira, Rui P., and others (2019). Deep-water fisheries along the British Isles continental slopes: status, ecosystem effects and future perspectives. *Journal of Fish Biology*.
- Wei, Chih-Lin, and others (2010). Bathymetric zonation of deep-sea macrofauna in relation to export of surface phytoplankton production. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 399, pp. 1–14.
- Winder, Priscilla L., and others (2011). Natural Products from the Lithistida: A Review of the Literature since 2000. *Marine Drugs*, vol. 9, pp. 2643–2682; <https://doi.org/10.3390/md9122643>.
- Wishner, Karen F., and others (1995). Pelagic and benthic ecology of the lower interface of the Eastern Tropical Pacific oxygen minimum zone. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 42, No. 1, pp. 93–115.
- Wishner, Karen F., and others (2008). Vertical zonation and distributions of calanoid copepods through the lower oxycline of the Arabian Sea oxygen minimum zone. *Progress in Oceanography*, vol. 78, No. 2, pp. 163–191.
- Wishner, Karen F., and others (2013). Zooplankton in the eastern tropical north Pacific: boundary effects of oxygen minimum zone expansion. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 79, pp. 122–140.
- Wishner, Karen F., and others (2018). Ocean deoxygenation and zooplankton: Very small oxygen differences matter. *Science Advances*, vol. 4, No. 12, eaau5180.
- Wishner, Karen F., and others (2000). Living in suboxia: ecology of an Arabian Sea oxygen minimum zone copepod. *Limnology and Oceanography*, vol. 45, No. 7, pp. 1576–1593.
- Woodall, Lucy C., and others (2014). The deep sea is a major sink for microplastic debris. *Royal Society Open Science*, vol. 1, No. 4, 140317.
- Woodall, Lucy C., and others (2015). Deep-sea litter: a comparison of seamounts, banks and a ridge in the Atlantic and Indian Oceans reveals both environmental and anthropogenic factors impact accumulation and composition. *Frontiers in Marine Science*, vol. 2, art. 3.
- Woulds, Clare, and others (2007). Oxygen as a control on sea floor biological communities and their roles in sedimentary carbon cycling. *Limnology and Oceanography*, vol. 52, No. 4, pp. 1698–1709.

- Woulds, Clare, and others (2009). The short-term fate of organic carbon in marine sediments: comparing the Pakistan margin to other regions. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 56, Nos. 6–7, pp. 393–402.
- Wright, Amy E., and others (2017). Analogues of the potent antitumor compound Leiodermatolide from a deep-water sponge of the genus *Leiodermatium*. *Journal of Natural Products*, vol. 80, pp. 735–73, <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.6b01140>.
- Yasuhara, Moriaki (2018). Marine biodiversity in space and time: what tiny fossils tell. *Métode Science Studies Journal-Annual Review*, No. 9.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2008). Abrupt climate change and collapse of deep-sea ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 105, No. 5, pp. 1556–1560.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2014). Response of deep-sea biodiversity to abrupt deglacial and Holocene climate changes in the North Atlantic Ocean. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 23, No. 9, pp. 957–967.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2016). Biodiversity–ecosystem functioning relationships in long-term time series and palaeoecological records: deep sea as a test bed. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 371, No. 1694, 20150282.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2017). Combining marine macroecology and palaeoecology in understanding biodiversity: microfossils as a model. *Biological Reviews*, vol. 92, No. 1, pp. 199–215.
- Yasuhara, Moriaki, and Thomas M. Cronin (2008). Climatic influences on deep-sea ostracode (Crustacea) diversity for the last three million years. *Ecology*, vol. 89, No. sp. 11, pp. S53–S65.
- Yasuhara, Moriaki, and Roberto Danovaro (2016). Temperature impacts on deep-sea biodiversity. *Biological Reviews*, vol. 91, No. 2, pp. 275–287.
- Yool, Andrew, and others (2017). Big in the benthos: Future change of seafloor community biomass in a global, body size-resolved model. *Global Change Biology*, vol. 23, No. 9, pp. 3554–3566.
- Zeng, Cong and others (2017). Population genetic structure and connectivity of deep-sea stony corals (Order Scleractinia) in the New Zealand region: Implications for the conservation and management of vulnerable marine ecosystems. *Evolutionary Applications*, vol. 10, No. 10, pp. 1040–1054.
- Zeng, Cong and others (2019). The use of spatially explicit genetic variation data from four deep-sea sponges to inform the protection of Vulnerable Marine Ecosystems. *Scientific Reports*, vol. 9, No. 1, art. 5482.

# 第 7K 章

# 高纬度海冰

撰稿人: Grant R. Bigg (召集人)、Maurizio Azzaro、Karen Evans (分章牵头成员)、Huw Griffiths和Moriaki Yasuhara。



## 主旨要点

- 由于气候变化, 高纬度海冰生境的海冰范围减少很快, 但这种减少在不同区域有差异。
- 由于北极海冰生境和南极冰架的丧失, 中上层和底栖物种的活动范围得以扩展到新开放的水域环境。
- 然而, 总的来说, 许多依附冰的物种数量在减少, 空间分布范围可能也在缩小, 特别是在北极。
- 北极海冰范围的减少为包括捕鱼、航行和碳氢化合物勘探在内的一系列人类活动提供了更多机会, 对多个可持续发展目标<sup>1</sup>产生了积极影响。
- 然而, 鉴于预计到本世纪晚些时候北极才会季节性无冰, 上述许多活动在一段时间内仍将极其有限。
- 然而, 海冰缩小将减少当地社区为生计而狩猎的机会。

## 1. 引言

本分章载有对《第一次世界海洋评估》(联合国, 2017年a)第46章的更新。本分章还扩大了对高纬度海冰环境的讨论范围, 纳入了对与冰山和冰架相关的生境的讨论。本分章与本评估第6章中许多分章的高纬度生物多样性内容重叠, 但本分章的重点是海冰生境的利用以及这些生境内生物之间的相互作用。此外, 由于高纬度冰本质上既是沿海生境又是开阔洋生境, 它与第7章所述的其他几种生境(例如底栖生境、开阔洋生境和沿海相关生境)相互作用。

在《第一次评估》(联合国, 2017年b)中讨论的高纬度冰生境基线状态在大规模快速变化。在某种程度上, 变化程度是生境自身导致的, 生境随季节变化发生大的波动: 盛夏时海冰覆盖面积很小, 冬末海冰覆盖面积达到最大。然而, 海冰生境平均值本身正在发生巨大变化, 北极的冰面范围、冰层厚度和平均冰期都在迅速下降。在南大洋, 海冰生境的变化不那么显著, 尽管南极半岛的多个冰架在过去

几十年里已经坍塌(Vaughan等人, 2013年)。伴随着生境的这些变化, 相关生态系统作出了反应(联合国, 2017年b)。已发现, 如北极熊、独角鲸、海豹和各种海鸟等已适应海冰生境的标志性海洋和陆地物种数量减少, 地理分布范围缩小。海冰藻类被确认在这些生境的初级生产中发挥主要作用; 开阔洋环境的扩大导致藻华现象增多。这两个变化都意味着高纬度食物链的基础发生了变化。总体而言, 开阔洋环境扩大正导致开阔洋物种的数量和地理分布范围随之增加。在南大洋, 尚不确定海冰生境的变化是否影响到关键物种, 特别是磷虾种群。

在国际极地年(2007-2008年)期间在了解海洋生物极地科学方面取得的重大进展(Robinson, 2009年; Stoddart, 2010年)为《第一次评估》提供了新的信息, 而《第二次世界海洋评估》可利用的知识进展源于比较有限的几项举措。

## 2. 2010-2020年之间的环境变化介绍

自《第一次评估》以来, 高纬度冰生境最重要的环境变化是过去已有变化的延续(图一; 另见本《评估》第5章)。在知识、能力和确定趋势方面

取得的最大进展大部分来自国家和国际方案, 例如北极气候研究多学科漂流计划和南极环流探索, 以及多国的北极理事会和南极海洋生物资源

<sup>1</sup> 见大会第70/1号决议。

保护委员会等长期存在的国际组织。涵盖海冰生境的北极变化年度和定期汇总资料由各国发布, 例如美国国家海洋和大气管理局的北极报告卡(Richter-Menger等人, 2019年)和加拿大渔业及海洋部的2019年北冰洋状况报告(Niemi等人, 2019年), 或由国际委员会发布, 例如, 国际北极科学委员会的《北极科学状况报告》(2020年)和南极研究科学委员会(2020年)。更多的全球汇总, 同样包括海冰生境的变化, 由美国气象学会发布(Blunden和Arndt, 2019年)。北极理事会编制了跨度25年的泛北极冰冻圈变化汇总(《北极监测和评估方案》, 2017年)和生物多样性变化汇总(保护北极植物群和动物群方案, 2017年)。

## 2.1. 海冰生境

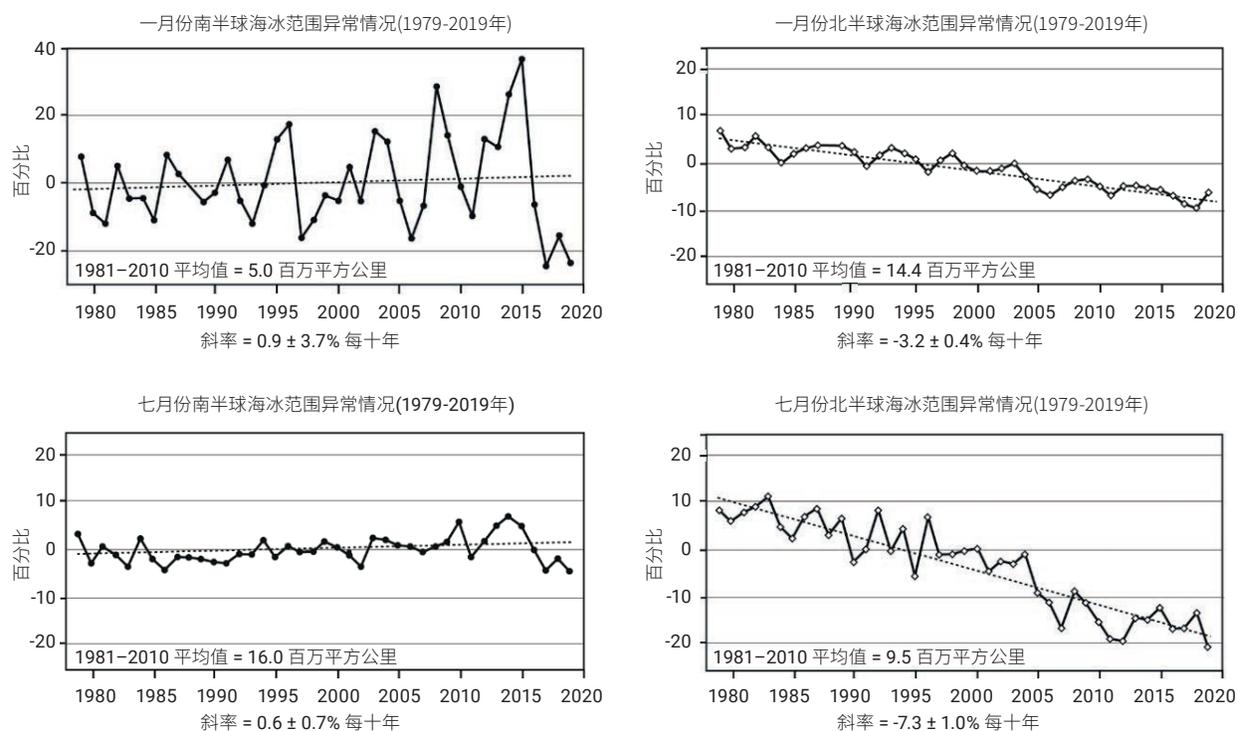
在北极, 夏季和冬季的海冰范围均出现持续的长期减少(另见第5章)。夏季北极海冰范围已经达到

了新的、缩减的平均位置, 尽管这可能具有暂时性(Vaughan等人, 2013年)。海冰厚度也达到新的低值, 因为2007年后大量多年冰消融, 并在此后几年中保持减少的趋势(Serreze和Meier, 2019年)。值得注意的是, 虽然北极海冰普遍减少, 但北极太平洋部分的海冰消融速度比北极其他部分, 包括加拿大北极群岛, 快得多(见第5章图十)。

在南大洋, 尽管存在很大的年际变化, 这一现象《第一次评估》曾指出过, 但夏季或冬季的海冰范围基本上没有长期变化(图一; 另见第5章)。然而, 从2017年到2019年, 1月(最低)水平一直低于自1979年有卫星记录以来记录的水平, 特别是在威德尔海和阿蒙森海的常规冰盖地区。这可能是最近南大洋海洋变暖导致的(Meehl等人, 2019年)。

图一

### 1979年卫星图像问世以来, 南北半球极地夏季和冬季的海冰范围趋势



资料来源: Fetterer等人, 2017年; 国家冰雪数据中心海冰指数, 可查阅[https://nsidc.org/data/seaiice\\_index/compare\\_trends](https://nsidc.org/data/seaiice_index/compare_trends), 提供北极和南极海冰范围和趋势的每日和每月更新。

注: 标出了每个面板中趋势线的斜率。北半球趋势的斜率为0.01, 显著水平具有统计学意义, 而南半球趋势则没有。

自然环境迅速变化的性质,加上极地海洋相对难以进入,意味着研究的重点是气候变化情景(另见第5章),特别是在营养系统的底部,而不是查明历史变化。对海冰卤水群落的有限研究表明,到目前为止,与二氧化碳浓度增加或pH值降低有关的变化还没有发生(McMinn等人,2017年)。然而,海冰下的浮游植物产量却高得出人意料(Arrigo等人,2012年)。这种变化可能通过向较低营养级增加颗粒有机碳食物供应,对底栖生物和海洋上层生物产生积极影响(Oxtoby等人,2017年;Yasuhara等人,2012年;Xu等人,2018年)。已发现在楚科奇大陆架东北部,来自海冰内的硅藻维持冬季冰下的生产(Koch等人,2020年)。

北冰洋海冰减少对海洋哺乳动物和海鸟种群的影响因物种而异,并取决于具体物种对海冰生境的依赖程度。虽然象牙鸥(*Pagophila eburnea*)已被确认利用北极边缘冰带和附近的开阔海域,但Gilg等人(2016年)发现,大约80%的海鸟物种在日益罕见的高密集度海冰中觅食。对海冰生境的不同利用可能表明它们在不断变化气候下的适应能力。北极海冰减少导致白令海海鸟数量总体减少约10%(Renner等人,2016年)。有一些证据表明,随着猎物生境的变化,诸如白鲸(*Delphinapterus leucas*)等物种正在利用扩大的海洋生境(Hauser等人,2018年),并普遍对环境变化表现出灵活的摄食反应(O' Corry-Crowe等人,2016年)。相比之下,海冰的缩减导致哈德逊湾的环斑海豹(*Pusa hispida*)数量下降(Ferguson等人,2017年),这些海豹在斯瓦尔巴群岛的分布范围也缩小了,导致与北极顶级捕食者北极熊(*Ursus maritimus*)在这些岛屿的活动重叠范围大幅减少。因此,人们观察到北极熊越来越多地以地面筑巢的鸟类(Hamilton等人,2017年)和鲸鱼尸体(Pagano等人,2020年)为食,随之而来的是能量消耗增加。在南极,已证明快速变暖导致磷虾(*Euphausia superba*)种群向南迁移,密度下降,但个体长度增加(Atkinson等人,2019年)。Hückstädt等人(2020年)提出,这可能会对依赖磷虾的物种产生负面影响,比如食蟹海豹(*Lobodon carcinophaga*)。

## 2.2. 冰架和冰山生境

冰架和冰山的海冰生境延伸至海面以下数百米,这意味着此类生境的海洋特征与海冰生境迥异,无论是在对周围海洋的影响方面,还是在此类生境在水上和水下冰面提供的生境类型方面。冰架提供了稳定的繁殖平台,动物在边缘厚度可承受的地方可以直接进入海洋,多年来,如帝企鹅依赖冰架繁殖的物种一直在利用冰架(Wienecke, 2012年;Fretwell等人,2014年)。冰架的水上冰面为微生物席提供了生存环境,特别是在存在风蚀沉积物或冰山夹带沉积物的地方(Mueller等人,2006年),从而提供了生物体远距离输移机制(Cefarelli等人,2016年)。然而,正是冰架下的黑暗环境提供了令人惊讶的多样化生境。其中大多数是底栖生物的生境,冰架带来的物质可以为底栖生物提供营养(Hawes等人,2018年),产生微生物活动(Vick-Majors等人,2016年),或产生小型底栖动物中一系列物种(Pawlowski等人,2005年;Ingole和Singh, 2010年)。一些生物体更直接地利用水下的冰架表面;包括沿冰面觅食的博氏南冰藤(Gutt, 2002年),以及利用冰面作为支撑附着基的南极冰海葵(Daly等人,2013年;Murray等人,2016年)。北极和南极冰架破裂导致这种独特黑暗环境的区域性丧失,但相当程度的生物多样性已经扩散到新接触到表面所输入物质的区域,导致碳排放大幅减少(Barnes等人,2018年)。

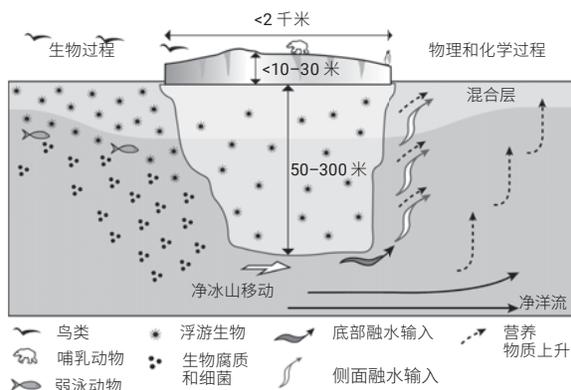
冰山大小不一,有的是从冰架崩解出的自由浮动冰裂(尤其在南极,但不限于南极),也有的是从潮水冰川裂冰末端脱落的几十米大的冰块。因此,作为生态系统,冰山对海洋的贡献差异很大。在一种极端情况下,冰山实际上成为自由移动的冰架,有能力在南北两极成为重要的海鸟筑巢和觅食平台(Ruhl等人,2011年;Joiris, 2018年)。在北极,在各种大小的冰山上和附近发现了大量象牙鸥(Nachtsheim等人,2016年)和三趾鸥(*Rissa tridactyla*; Joiris, 2018年)。有人推测,南极过去巨大冰山的移动可能通过海冰迁移促进了阿德利企鹅(*Pygoscelis adeliae*)的分布(Shepherd等人,2005年)。如此巨大的冰山也可能对生态系统产生负面影响。如果一座巨大的冰山长时间搁浅,

离开已有的企鹅群落，该冰山及其导致的坚冰扩散可能会阻碍企鹅个体通行，使其无法进入觅食地，导致雏鸟死亡率升高(Kooyman等人，2007年；Wilson等人，2016年)。此外，大型冰山的搁浅和对海底沉积物的扫刮是一种物理干扰，对底栖生物有严重影响(Kaiser等人，2013年；Yasuhara等人，2007年)。在冰山通行频繁的地区，如沿南极和格陵兰海岸线的大片区域(Bigg, 2015年)，每年都可能有多达30%的海床受到干扰，该地区多达三分之二的海底动物被杀死(Barnes, 2017年)。由于生态系统需要长达数年才能恢复，上述破坏可能导致该地区作为碳库的能力在短期内显著丧失，特别是在浅海(Barnes等人，2018年)。

冰山融化使冰里或冰上的营养物质和微量元素进入水中，创造出独特、多产的局部生态系统(Smith等人，2007年；Smith等人，2013年)。融化过程及其伴随的相对新鲜的羽流涌升，有助于将营养物质输入到表层水中(图二)，其叶绿素浓度可能是背景浓度的4-10倍。与之相关的是，在冰山附近，细菌群体增加，而且其群落构成与附近未受干扰的水域中的不同(Kaufmann等人，2011年；Dinasquet等人，2017年)。在更远的地方，冰山周围营养物质增加(Helly等人，2011年)，并且冰川融化释放了冰川碎屑中的铁(Raiswell等人，2008年；De Jong等人，2015年)和硅(Hawkings等人，2017年)导致浮游植物数量增加(Vernet等人，2011年)，对碳固存产生潜在影响(Cefarelli等人，2016年；Duprat等人，2016年)。

冰架的衰亡(例如，Fettweis等人，2017年；Rignot等人，2019年)预计将导致冰山数量增加；但缺少北极和南极全面、长期的冰山估计数。纽芬兰附近冰山的记录(Bigg等人，2014年)和南大洋66度以北中小型冰山的卫星记录(Tournadre等人，2016年)都表明冰山数量在增加。在南极，从冰架上崩裂巨型冰山(长度超过18公里)尽管具有间断性，但也在一定程度证明了最近冰山数量增加(图三；南极冰山跟踪数据库)，体积变大。

**图二**  
北极/南极冰山上和冰山周围的生态系统



资料来源：Bigg, 2015年。经允许转载。

**图三**  
每年南极巨型冰山崩裂活动的数量



资料来源：见Budge和Long, 2017年；南极冰山追踪数据库，可查阅[www.scp.byu.edu/data/iceberg](http://www.scp.byu.edu/data/iceberg)。

注：巨型冰山一边的长度大于18公里，但在时标上没有一致的面积/体积估计数。

近年来, 南北半球冰山可能的增加有可能已导致产量增加和对沿海洋底生态系统的影响增大, 但

目前几乎没有证据, 而有关冰山流动影响的信息主要来自南大洋。

### 3. 经济及社会影响

从历史上看, 高纬度海冰生境人类活动较少, 主要是北极及其周边的土著居民。由于全球变暖, 生境持续萎缩, 并且人类对极地地区的利用扩大, 正在迅速改变生境对人类的意义, 并带来相关的经济和社会后果。虽然海冰的减少增加了跨洋航运和海床碳氢化合物资源勘探的机会, 但迄今为止增加利用北极的主要驱动力是渔业(Eguíluz等人, 2016年)。更多的开阔洋物种可以向北迁移到现在的无冰水域, 这增加了捕鱼机会, 尽管依赖海冰生境的鱼类, 如北鳕, 可能会变得不那么常见(Christiansen, 2017年)。目前北极很少有禁止捕鱼或其他勘探活动的海洋保护区(Harris等人, 2018年), 尽管2018年10月签署了一项禁止在北极捕鱼的国际协定, 一旦10个国家批准该协定, 将在未来十年或更长时间内限制北极渔业活动的扩大(欧盟委员会, 2019年)。然而, 截至2020年6月, 只有8个国家批准该协定。该倡议与可持续发展目标14直接相关。

北极冰川融化以及相关的一度冻结的海岸线解冻造成海平面上升, 其直接影响在影响社区和产业, 但也为它们提供了许多机会(Richter-Menge等人, 2019年)。负面影响包括沿海冰上公路消失、洪水水位上升、筑巢区域和海岸沿线沿海沉积物迁移发生变化、为生计而狩猎的范围缩小、之前吸收的污染物释放, 甚至一些沿海社区消失。潜在的经济机遇包括为大洋捕鱼活动、海洋运输和新航道开辟新区域, 增加了可再生能源设施建设的机会, 并增加了勘探碳氢化合物的机会。然而, 这些机会有可能增加与活动相关的风险, 例如, 溢油等灾难造成生境污染(Cappello等人, 2014年)。值得注意的是, 包裹在海冰中的石油不易降解(Loftus等人, 2020年)。

随着俄罗斯联邦以北的无冰穿行北极航线(北海航线)可用时间增加, 使用这些航线的船只数量也增加了, 2013年有70多艘船只使用北海航线航行。然而, 使用这条航线船只的数量(如果不是吨位)近年来有所减少, 自2014年以来不超过40艘(北方海航道信息办公室, 2019年; 高北物流中心信息办公室, 无日期)。

北极的石油和天然气活动多种多样。加拿大最近扩大了在加拿大北极专属经济区发放新钻探许可证的禁令, 在2021年底之前禁止进行所有海上油气活动(Vigliotti, 2019年)。在美国的北极水域, 2016年出台的类似钻探禁令在2017年被取消, 但在2019年恢复。禁令的未来仍取决于司法申诉的结果(Gilmer, 2020年)。近年来, 俄罗斯联邦北极西部水域的钻探活动有限, 但由于经济原因和所受到的制裁, 扩大钻探活动的计划被搁置, 尽管最近的报告显示, 钻探活动可能会在2020年或2021年恢复(Staalesen, 2019年)。

在北极海冰生境观察到的大多数变化对实现可持续发展目标的作用好坏参半, 碳氢化合物勘探提供了更多获得能源的机会(目标7), 航运、旅游业和渔业的增加促进了地方经济活动(目标8)。然而, 这些活动可能会造成进一步的气候变化和排放(目标13)以及相关污染(目标12和14), 从而不利于创造一个生物多样性丰富的可持续环境(目标14)。

南极的一些渔场, 例如磷虾渔场, 位于南大西洋和威德尔海的沿岸水体, 那里的海冰已出现减少的迹象。然而, 这些减少对更广泛的生态系统及相关渔场的更广泛影响尚不清楚。福克兰(马尔维纳斯)群岛周围高原的碳氢化合物勘探已经开始(MacAulay, 2015年), 尽管对相关环境风险的评估才刚刚开始, 而且该地区位于南极治理体系之外(Bigg等人, 2018年)。<sup>2</sup>鉴于磷虾作为不断增长的

<sup>2</sup> 阿根廷政府与大不列颠及北爱尔兰联合王国政府在福克兰(马尔维纳斯)群岛的主权问题上存在争端。

水产养殖业的食物来源非常重要,该物种的长期管理战略开始在受南极海洋生物资源保护委员会保护的区域实施(南极海洋生物资源保护委员会(南极海生委),2019年)。在某些特定地点设立海洋保护区可能有助于解决一些管理问题,这将需要

## 4. 展望

极地海冰生境的前景与《第一次评估》时非常相似。北极海冰预计将继续消退和变薄,二十一世纪内极有可能出现季节性无冰的北极,尽管仍很不确定这一关键环境事件何时会发生(Serreze和Meier,2019年)。南极海冰尽管目前稳定,但预计将在本世纪内减少(Naughton等人,2018年),主要原因是海洋暖化。海洋暖化预计将影响南极冰架,到本世纪末,南极冰架水下部分的融化将达到41%-129%(Naughton等人,2018年),冰山崩裂随之增加。北极持续变暖预计将导致格陵兰冰盖加速融化(Barry,2017年),并可能导致产生的冰山增加,虽然可能是间歇性的。

海冰和冰架的减少将继续为海洋中上层物种和底栖物种的扩大创造机会,这些物种将受益于更广阔、更好的觅食条件(Christiansen,2017年),同时威胁鱼类(特别是北鳕(*Boreogadus saida*))(见Christiansen,2017年))种群和海洋哺乳动物种群(联合国,2017年a)靠捕食依赖海冰物种生存的能力。许多研究表明,随着生物多样性的减少和种群减少,海冰藻类将变得容易受到气候变化的影响(Hardge等人,2017年;Kiko等人,2017年)。另一方面,在北冰洋更薄、更易形成冰间水道、被雪覆盖的海冰下,藻华可能会变得更广泛,至少在初夏即营养限制发生之前(Assmy等人,2017年;另见本《评估》第6A章)。这种变化可能会对碳出口输出

## 5. 知识和能力建设方面仍然存在的主要差距

人们由于无法到达高纬度地区,因此对冰生境的认知仍相对较少。海冰环境是本分章所讨论的海洋冰生境中研究得最充分的,但即使对海冰,也尚

南极条约体系,特别是南极海洋生物资源保护委员会作出更多改变。罗斯海海洋保护区已于2016年建立,委员会成员正就其他一些拟议的海洋保护区,如威德尔海和南极东部以及南极半岛附近的保护区,进行审议。

产生更广泛的影响,季节性海冰区将转变为碳汇(Abelmann等人,2015年;Rapp等人,2018年)。海冰减少也可能减少对北冰洋的塑料输入,因为海冰目前含有的微塑料比北冰洋本身高几个数量级(见本《评估》第12章和Kanhai等人,2020年)。在南大洋,海冰迄今几乎没有表现出长期趋势,众所周知,在海冰年际变化最大的地点,个体的专门化最低(McMullin等人,2017年),这表明在未来气候更加多变的情况下仍有适应的余地。

北极向航行、捕鱼和海底及更深层资源的勘探开放,将对高纬度海冰生态系统产生重大影响(Harris等人,2018年),也将严重影响依赖高纬度海冰生境生存的人口,其中包括土著人口。它也会对实现若干可持续发展目标产生影响。然而,尽管2017年8月第一艘船在没有破冰船伴随的情况下驶过北方海航道(《高北新闻》,2018年),但在可预见的未来,货运很可能仍需要破冰船伴随,除非货船是“冰级”船(Kiiski等人,2018年)。因此,北极航线可能在几十年内仍将处于次要地位。限制使用这类新航线的其他因素包括:增加航运对北极海洋哺乳动物的潜在负面影响(Hauser等人,2018年),会不适宜地促进非本土物种转移,并且船舶废气可能对北极气候产生复杂的辐射反馈(Stephenson等人,2018年),后者可能减缓无冰期延长的趋势。

未进行全面的食物网研究。许多食物网研究只是关注其中一个方面。(Dickinson等人,2016年)。总体而言,对于冰生境立体性质(Bluhm等人,2018

年)、冰中物种的范围和数量及其时空多变性的认知仍然非常有限(Christiansen, 2017年)。数据缺乏的现象还波及此类生境存亡对周围海洋和碳固存的影响(Barnes, 2017年)。

同样, 由于很难接近冰架、冰川附近的海洋区域(Zappalà等人, 2017年), 尤其是冰川下的水下环

境, 因此很少能获得有关冰生境的新信息。已有许多分析来自遥感, 该趋势将继续, 新的卫星系统有望彻底改变对生境的第一手了解。必须确保普遍可以随时获取观测平台产生的新数据, 以弥补目前的知识和能力差距。

## 参考资料

- Abelmann, Andrea, and others (2015). The seasonal sea-ice zone in the glacial Southern Ocean as a carbon sink. *Nature Communications*, vol. 6, art. 8136.
- Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP) (2017). Snow, water, ice and permafrost in the Arctic. Summary for Policy-makers. <https://swipa.amap.no>.
- Arrigo, Kevin R., and others (2012). Massive phytoplankton blooms under Arctic sea ice. *Science*, vol. 336, No. 6087, pp. 1408–1408.
- Assmy, Philipp, and others (2017). Leads in Arctic pack ice enable early phytoplankton blooms below snow-covered sea ice. *Scientific Reports*, vol. 7, art. 40850.
- Atkinson, Angus, and others (2019). Krill (*Euphausia superba*) distribution contracts southward during rapid regional warming. *Nature Climate Change*, vol. 9, No. 2, pp. 142–147.
- Barnes, David K.A. (2017). Polar zoobenthos blue carbon storage increases with sea ice losses, because across-shelf growth gains from longer algal blooms outweigh ice scour mortality in the shallows. *Global Change Biology*, vol. 23, No. 12, pp. 5083–5091.
- Barnes, David K.A., and others (2018). Icebergs, sea ice, blue carbon and Antarctic climate feedbacks. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 376, No. 2122, 20170176.
- Barry, Roger G. (2017). The Arctic cryosphere in the twenty-first century. *Geographical Review*, vol. 107, No. 1, pp. 69–88.
- Bigg, Grant R. (2015). *Icebergs: Their Science and Links to Global Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bigg, Grant R., and others (2018). A model for assessing iceberg hazard. *Natural Hazards*, vol. 92, No. 2, pp. 1113–1136.
- Bigg, Grant R., and others (2014). A century of variation in the dependence of Greenland iceberg calving on ice sheet surface mass balance and regional climate change. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 470, No. 2166, 20130662.
- Bluhm, Bodil A., and others (2018). Sea ice meiofauna distribution on local to pan-Arctic scales. *Ecology and Evolution*, vol. 8, No. 4, pp. 2350–2364.
- Blunden, Jessica, and Derek S. Arndt, eds. (2019). State of the Climate in 2018. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 100, No. 9, pp. Si–S305.
- Budge, Jeffrey S., and David G. Long (2017). A comprehensive Database for Antarctic iceberg tracking using scatterometer data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations*, vol. 11, No. 2, <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2784186>.
- Cappello, Simone, and others (2014). STRANgE, integrated physical–biological–mechanical system for recovery in of the “oil spill” in Antarctic environment. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, vol. 13, No. 4, pp. 369–375.

- Cefarelli, Adrián O., and others (2016). Diatoms (Bacillariophyceae) associated with free-drifting Antarctic icebergs: taxonomy and distribution. *Polar Biology*, vol. 39, No.3 , pp. 443–459.
- Centre for High North Logistics Information Office (n.d.). “Northern Sea Route transit statistics”. Available at <http://arctic-lio.com/category/statistics>.
- Christiansen, Jørgen S. (2017). No future for Euro-Arctic ocean fishes? *Marine Ecology Progress Series*, vol. 575, pp. 217–227.
- Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources (CCAMLR) (2019). CCAMLR: Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources website. 2019. [www.ccamlr.org](http://www.ccamlr.org).
- Conservation of Arctic Flora and Fauna Programme (CAFF) (2017). State of the Arctic Marine Biodiversity Report. [www.arcticbiodiversity.is/marine](http://www.arcticbiodiversity.is/marine).
- Daly, Marymegan, and others (2013). *Edwardsiella andrillae*, a new species of sea anemone from Antarctic Ice. *PLoS One*, vol. 8, No. 12, e83476.
- De Jong, J.T.M. and others (2015). Sources and fluxes of dissolved iron in the Bellingshausen Sea (West Antarctica): The importance of sea ice, icebergs and the continental margin. *Marine Chemistry*, vol. 177, pp. 518–535.
- Dickinson, Iain, and others (2016). Microbes and the Arctic Ocean. In *Their World: A Diversity of Microbial Environments*, pp. 341–381.
- Dinasquet, Julie, and others (2017). Mixing of water masses caused by a drifting iceberg affects bacterial activity, community composition and substrate utilization capability in the Southern Ocean. *Environmental Microbiology*, vol. 19, No. 6, pp. 2453–2467.
- Duprat, Luis P.A.M., and others (2016). Enhanced Southern Ocean marine productivity due to fertilization by giant icebergs. *Nature Geoscience*, vol. 9, No. 3, p. 219.
- Eguíluz, Victor M., and others (2016). A quantitative assessment of Arctic shipping in 2010–2014. *Scientific Reports*, vol. 6, art. 30682.
- European Commission (2019). EU and Arctic partners enter historic agreement to prevent unregulated fishing in high seas. Fisheries – European Commission. 2019. [https://ec.europa.eu/fisheries/eu-and-arctic-partners-enter-historic-agreement-prevent-unregulated-fishing-high-seas\\_en](https://ec.europa.eu/fisheries/eu-and-arctic-partners-enter-historic-agreement-prevent-unregulated-fishing-high-seas_en).
- Ferguson, Steven H., and others (2017). Demographic, ecological, and physiological responses of ringed seals to an abrupt decline in sea ice availability. *PeerJ*, vol. 5, e2957.
- Fetterer, Florence, and others (2017). *Sea Ice Index, Version 3*. Boulder, Colorado: NSIDC: National Snow and Ice Data Center. <https://nsidc.org/data/G02135/versions/3>.
- Fettweis, Xavier, and others (2017). Reconstructions of the 1900–2015 Greenland ice sheet surface mass balance using the regional climate MAR model. *The Cryosphere*, vol. 11, pp. 1015–1033.
- Fretwell, Peter T., and others (2014). Emperor penguins breeding on iceshelves. *PLoS One*, vol. 9, No.1, e85285.
- Gilg, Olivier, and others (2016). Living on the edge of a shrinking habitat: the ivory gull, *Pagophila eburnea*, an endangered sea-ice specialist. *Biology Letters*, vol. 12, No. 11, 20160277.
- Gilmer, Ellen M. (2020). Judges weigh Trump’s bid to reopen parts of Arctic to drilling. <https://news.bloomberglaw.com/environment-and-energy/judges-weigh-trumps-bid-to-reopen-parts-of-arctic-to-drilling>.
- Gutt, Julian (2002). The Antarctic ice shelf: an extreme habitat for notothenioid fish. *Polar Biology*, vol. 25, No. 4, pp. 320–322.
- Hamilton, Charmain D., and others (2017). An Arctic predator-prey system in flux: climate change impacts on coastal space use by polar bears and ringed seals. *Journal of Animal Ecology*, vol. 86, No. 5, pp. 1054–1064.

- Hardge, Kristin, and others (2017). The importance of sea ice for exchange of habitat-specific protist communities in the Central Arctic Ocean. *Journal of Marine Systems*, vol. 165, pp. 124–138.
- Harris, Peter T., and others (2018). Arctic marine conservation is not prepared for the coming melt. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 75, No. 1, pp. 61–71.
- Hauser, Donna D.W., and others (2018). Vulnerability of Arctic marine mammals to vessel traffic in the increasingly ice-free Northwest Passage and Northern Sea Route. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, No. 29, pp. 7617–7622.
- Hawes, I., and others (2018). The “Dirty Ice” of the McMurdo Ice Shelf: analogues for biological oases during the Cryogenian. *Geobiology*, vol. 16, No. 4, pp. 369–377.
- Hawkings, Jon R., and others (2017). Ice sheets as a missing source of silica to the polar oceans. *Nature Communications*, vol. 8, art. 14198.
- Helly, John J., and others (2011). Cooling, dilution and mixing of ocean water by free-drifting icebergs in the Weddell Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 58, No. 11–12, pp. 1346–1363.
- High North News (2018). The Northern Sea Route is alive and well. [www.highnorthnews.com/en/op-ed-northern-sea-route-alive-and-well](http://www.highnorthnews.com/en/op-ed-northern-sea-route-alive-and-well).
- Hückstädt, Luis A., and others (2020). Projected shifts in the foraging habitat of crabeater seals along the Antarctic Peninsula. *Nature Climate Change*, vol. 10, No. 5, pp. 472–477.
- International Arctic Science Committee (2020). State of Arctic Science Report, 2020. International Arctic Science Committee. pp. 1–26.
- Ingole, B.S., and Ravail Singh (2010). Biodiversity and community structure of freeliving marine nematodes from the Larsemann Ice Shelf, East Antarctica. *Current Science*, vol. 99, No. 10, pp. 1413–1419.
- Joiris, Claude R. (2018). Hotspots of kittiwakes *Rissa tridactyla* on icebergs off southwest Greenland in autumn. *Polar Biology*, vol. 41, No. 11, pp. 2375–2378.
- Kaiser, Stefanie, and others (2013). Patterns, processes and vulnerability of Southern Ocean benthos: a decadal leap in knowledge and understanding. *Marine Biology*, vol. 160, No. 9, pp. 2295–2317.
- Kanhai, La Daana K., and others (2020). Microplastics in sea ice and seawater beneath ice floes. *Scientific Reports*, vol. 10, No. 11, art. 5004.
- Kaufmann, Ronald S., and others (2011). Composition and structure of macrozooplankton and micronekton communities in the vicinity of free-drifting Antarctic icebergs. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 58, Nos. 11–12, pp. 1469–1484.
- Kiiski, Tuomas, and others (2018). Long-term dynamics of shipping and icebreaker capacity along the Northern Sea Route. *Maritime Economics & Logistics*, vol. 20, No. 3, pp. 375–399.
- Kiko, Rainer, and others (2017). Colonization of newly forming Arctic sea ice by meiofauna: a case study for the future Arctic? *Polar Biology*, vol. 40, No. 6, pp. 1277–1288.
- Koch, Chelsea Wegner, and others (2020). Seasonal and latitudinal variations in sea ice algae deposition in the Northern Bering and Chukchi Seas determined by algal biomarkers. *PLoS One*, vol. 15, No. 4. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231178>.
- Kooyman, Gerald L., and others (2007). Effects of giant icebergs on two emperor penguin colonies in the Ross Sea, Antarctica. *Antarctic Science*, vol. 19, No. 1, pp. 31–38.
- Loftus, Synnove, and others (2020). Biodegradation of weathered crude oil in seawater with frazil ice. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 154. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111090>.
- MacAulay, F. (2015). Sea Lion Field discovery and appraisal: a turning point for the North Falkland Basin. *Petroleum Geoscience*, vol. 21, Nos. 2–3, pp. 111–124.
- McMinn, Andrew, and others (2017). Effects of CO<sub>2</sub> concentration on a late summer surface sea ice community. *Marine Biology*, vol. 164, No. 4, art. 87.

- McMullin, Rebecca M., and others (2017). Trophic position of Antarctic ice fishes reflects food web structure along a gradient in sea ice persistence. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 564, pp. 87–98.
- Meehl, Gerald A., and others (2019). Sustained ocean changes contributed to sudden Antarctic sea ice retreat in late 2016. *Nature Communications*, vol. 10, No. 1, art. 14.
- Mueller, Derek R., and others (2006). Environmental gradients, fragmented habitats, and microbiota of a northern ice shelf cryoecosystem, Ellesmere Island, Canada. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, vol. 38, No. 4, pp. 593–607.
- Murray, Alison E., and others (2016). Microbiome composition and diversity of the ice-dwelling sea anemone, *Edwardsiella andrillae*. *Integrative and Comparative Biology*, vol. 56, No. 4, pp. 542–555.
- Nachtsheim, Dominik A., and others (2016). A gravel-covered iceberg provides an offshore breeding site for ivory gulls *Pagophila eburnea* off Northeast Greenland. *Polar Biology*, vol. 39, No. 4, pp. 755–758.
- Naughten, Kaitlin A., and others (2018). Future projections of Antarctic ice shelf melting based on CMIP5 scenarios. *Journal of Climate*, vol. 31, No. 13, pp. 5243–5261.
- Niemi, Andrea, and others (2019). State of Canada's Arctic Seas. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 3344, pp. xv–189.
- Northern Sea Route Information Office, 2019 (<https://arctic-lia.com>).
- O'Corry-Crowe, Greg, and others (2016). Genetic profiling links changing sea-ice to shifting beluga whale migration patterns. *Biology Letters*, vol. 12, No. 11, 20160404.
- Oxtoby, L.E., and others (2017). Resource partitioning between Pacific walrus and bearded seals in the Alaska Arctic and sub-Arctic. *Oecologia*, vol. 184, No. 2, pp. 385–398.
- Pagano, Anthony M., and others (2020). The seasonal energetic landscape of an apex marine carnivore, the polar bear. *Ecology*, vol. 101, No. 3, e02959.
- Pawlowski, Jan, and others (2005). Allogromiid foraminifera and gromiids from under the Ross Ice Shelf: morphological and molecular diversity. *Polar Biology*, vol. 28, No. 7, pp. 514–522.
- Raiswell, Rob, and others (2008). Bioavailable iron in the Southern Ocean: the significance of the iceberg conveyor belt. *Geochemical Transactions*, vol. 9, No. 1, No. 7.
- Rapp, Josephine Z., and others (2018). Effects of ice-algal aggregate export on the connectivity of bacterial communities in the central Arctic Ocean. *Frontiers in Microbiology*, vol. 9, art. 1035.
- Renner, Martin, and others (2016). Timing of ice retreat alters seabird abundances and distributions in the southeast Bering Sea. *Biology Letters*, vol. 12, No. 9, 20160276.
- Richter-Menge, Jackie, and others, eds. (2019). *Arctic Report Card*. <https://arctic.noaa.gov/Report-Card>.
- Rignot, Eric, and others (2019). Four decades of Antarctic Ice Sheet mass balance from 1979–2017. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 116, No. 4, pp. 1095–1103.
- Robinson, Sharon A. (2009). Introduction: Climate change biology at the ends of the Earth-International Polar year special issue. *Global Change Biology*, vol. 15, No. 7, pp. 1615–1617.
- Ruhl, Henry A., and others (2011). Seabird aggregation around free-drifting icebergs in the northwest Weddell and Scotia Seas. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 58, Nos. 11–12, pp. 1497–1504.
- Scientific Committee for Antarctic Research (2020). Scientific Committee for Antarctic Research website. [www.scar.org](http://www.scar.org).
- Serreze, Mark C., and Walter N. Meier (2019). The Arctic's sea ice cover: trends, variability, predictability, and comparisons to the Antarctic. *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 1436, No. 1, pp. 36–53.
- Shepherd, L.D., and others (2005). Microevolution and mega-icebergs in the Antarctic. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 102, No. 46, pp. 16717–16722.

- Smith, Kenneth L., and others (2013). Icebergs as unique Lagrangian ecosystems in polar seas. *Annual Review of Marine Science*, vol. 5, pp. 269–287.
- Smith, Kenneth L., and others (2007). Free-drifting icebergs: hot spots of chemical and biological enrichment in the Weddell Sea. *Science*, vol. 317, No. 5837, pp. 478–482.
- Staalesen, Atle (2019). Russia's biggest oil company announces more offshore Arctic drilling. *Arctic Today*. [www.arctictoday.com/russias-biggest-oil-company-announces-more-offshore-arctic-drilling](http://www.arctictoday.com/russias-biggest-oil-company-announces-more-offshore-arctic-drilling).
- Stephenson, Scott R., and others (2018). Climatic responses to future trans-Arctic shipping. *Geophysical Research Letters*, vol. 45, No. 18, pp. 9898–9908.
- Stoddart, Michael (2010). Antarctic biology in the 21st century – advances in, and beyond the international polar year 2007–2008. *Polar Science*, vol. 4, No. 2, pp. 97–101.
- Tournadre, J., and others (2016). Antarctic icebergs distributions 1992–2014. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 121, No. 1, pp. 327–349.
- United Nations (2017a). Chapter 46: High-latitude ice and the biodiversity dependent on it. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2017b). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Vaughan, David G., and others (2013). Observations: cryosphere. *Climate Change*, vol. 2103, pp. 317–382.
- Vernet, M., and others (2011). Impacts on phytoplankton dynamics by free-drifting icebergs in the NW Weddell Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 58, No.11–12, pp. 1422–1435.
- Vick-Majors, Trista J., and others (2016). Biogeochemistry and microbial diversity in the marine cavity beneath the McMurdo Ice Shelf, Antarctica. *Limnology and Oceanography*, vol. 61, No. 2, pp. 572–586.
- Vigliotti, Marco (2019). Trudeau government expands moratorium on oil and gas work in Arctic waters. <https://ipolitics.ca/2019/08/08/trudeau-government-expands-moratorium-on-oil-and-gas-work-in-arctic-waters>.
- Wienecke, Barbara (2012). Emperor penguins at the West Ice Shelf. *Polar Biology*, vol. 35, No. 9, pp. 1289–1296.
- Wilson, Kerry-Jayne, and others (2016). The impact of the giant iceberg B09B on population size and breeding success of Adélie penguins in Commonwealth Bay, Antarctica. *Antarctic Science*, vol. 28, No. 3, pp. 187–193.
- Xu, Zhiqiang, and others (2018). Inter-annual variation of the summer zooplankton community in the Chukchi Sea: spatial heterogeneity during a decade of rapid ice decline. *Polar Biology*, vol. 41, No. 9, pp. 1827–1843.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2007). Modern benthic ostracodes from Lutzow-Holm Bay, East Antarctica: paleoceanographic, paleobiogeographic, and evolutionary significance. *Micropaleontology*, vol. 53, No. 6, pp. 469–496.
- \_\_\_\_\_ (2012). Patterns and controlling factors of species diversity in the Arctic Ocean. *Journal of Biogeography*, vol. 39, No. 11, pp. 2081–2088.
- Zappalà, G., and others (2017). New Advanced Technology Devices for Operational Oceanography in Extreme Conditions. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, vol. 12, No. 1, pp. 61–70.



# 第 7L 章

## 海山和尖礁

撰稿人：Malcolm R. Clark (召集人)、Angelo F. Bernardino、J. Murray Roberts、Bhavani E. Narayanaswamy、Paul Snelgrove 和 Joshua T. Tuhumwire (分章牵头成员)。



## 主旨要点

- 海山和尖礁是全球海洋常见的地物。
- 近年来, 采样工作有所增加, 但只对一小部分海山进行了详细采样。
- 采样工作有限, 加上海山之间环境差异很大, 限制了对生物多样性的知识。
- 捕鱼, 特别是底拖网捕捞法是目前对海山生态系统的最大威胁, 而海洋废弃物或垃圾、气候变化和潜在的海底采矿也令人担忧。然而, 保护海山的举措正在增加。
- 最近对深海海山的时间序列研究表明, 在15-20年的时间里, 石珊瑚群落的恢复即使发生了, 也非常有限。

## 1. 引言

海山、海丘和尖礁, 在本分章中统称为海山, 是水下火山, 高出海底数百至数千米。因数据来源和使用的算法不同, 对海山数量的估计也各不相同, 有人估计有数万座海山和10万多个海丘(Yesson等人, 2011年; Harris等人, 2014年), 有人推算有超过10万座海山以及2 500万个海丘和尖礁(Wessel等人, 2010年)。海山共覆盖了多达20%的深海海底(Yesson等人, 2011年)。

三个重要特征将海山与周围深海生境分开(Clark, 2009年): 海山的地形提供了各种深度, 可供不同的群落所用; 海山典型的硬岩表面与覆盖大部分海底的细小松散沉积物迥然不同; 海山的物理结构可以改变当地的水文和水流, 集中物种和生产力。这些因素可能会导致海山的底栖生物群落比邻近斜坡或深海平原生境更加丰富和多样化。

与深度有关的环境参数, 以及海底类型和特征, 极大地影响海山物种的构成(Clark等人, 2010年)。海山提供重要的生态系统服务, 经常有鱼类在此聚集, 有大量的商业活动。自1990年代以来, 主要海山物种的年上岸量一直在10万吨上下波动, 主要是五棘鲷、金眼鲷、高的鲷和橙鲷(Clark等人, 2007年; Watson等人, 2007年)。

## 2. 2010-2020年之间的知识变化介绍

在过去五年中, 多个国家或国际研究项目得出了大量有关海山环境的生态信息。在第5节中对这些信息作了简要描述, 下文则是对其中主要的生态学成

果进行了综合, 并参考了对海山生态学的一份综述(Rogers, 2018年)。

围绕海山发展出几种“生态范式”, 其中将海山作为具有生物多样性和地方特异性的独特环境和热点地区。然而, 许多海山并非高度孤立存在的(Rowden等人, 2010年a), 而且大多数没有很高的地方特异性。海山与其他深海生境共享许多物种(Howell等人, 2010年; Narayanaswamy等人, 2013年), 尽管海山地形和物理动态的变异性可以导致快速的物种演替以及不同的群落或丰度特征(Schlacher等人, 2014年)。

《第一次世界海洋评估》(联合国, 2017年a)第51章及其第34、35和36F章的部分内容借鉴了多项海山评估(例如Pitcher等人, 2007年; Clark等人, 2010年; Staudigel等人, 2010年)和海洋生物普查方案的结论(例如Rowden等人, 2010年a; Stocks等人, 2012年; Clark等人, 2012年)。然而, 有限的采样限制了对海山的认识。在Seamounts Online (Stocks, 2010年)和海山生态系统评估框架数据库(Kvile等人, 2014年)中, 有数据的海山大约有700座, 但只有大约300座被详细调查, 很少有位于近赤道纬度或山顶深度超过2 000米的海山。因此, 海山生态系统的结构、功能和连通性在很大程度上仍属未知(Clark等人, 2012年)。

虽然海山很少存在于稳定状态的洋流中(Lavelle和Mohn, 2010年), 但可能存在水柱的环流夹带和均质化现象(Meredith等人, 2015年)。内波的形成可以使营养物质涌升, 提高海山顶部的初级生产力(Turnewitsch等人, 2016年; Read和Pollard, 2017年)。然而, 初级生产力的提高可能具有暂时性(例如Lemos等人, 2018年), 很少会增加浮游动物的丰度。海山上的浮游动物群落反映周围大洋水域情况(例如Carmo等人, 2013年; Denda和Christiansen, 2014年; Denda等人, 2017年), 但海山地形对迁徙中浮游动物和弱泳生物的阻挡会增加鱼虾对这些动物和生物的捕食(例如Nishida等人, 2016年; Preciado等人, 2017年; Letessier等人, 2017年)。

山顶较浅的海山可以支持大型藻类, 最近在北大西洋(Ramos等人, 2016年; Stefanoudis等人, 2019年)和东北太平洋(Du Preez等人, 2016年)发现大型藻类森林。在西南大西洋(Meirelles等人, 2015年)、西北大西洋(Stefanoudis等人, 2019年)和西南太平洋(Clark等人, 2017年)的海山和洋脊上发现了大量红藻球床。这类藻类在中光层生态系统的碳酸盐预算中可能很重要。Pereira-Filho等人(2012年)估计, 巴西近海维多利亚—特林达迪海山系4座海山的红藻球年产碳酸盐 $1.5 \times 10^3$ 吉吨。

通过对与物理化学条件有关的物种分布进行建模, 提高了对海山群落的知识。尤其针对在海山上可能非常丰富的深海珊瑚(例如Rowden等人, 2010年b; Tracey等人, 2011年)建模表明主要的环境变量包括方解石和(或)霰石饱和深度、

地形、温度、盐度、氧气水平和颗粒有机碳(例如Davies和Guinotte, 2011年; Yesson等人, 2012年, 2017年; Anderson等人, 2016年a)。然而, 模型可能表现不佳, 这取决于环境数据的分辨率(Anderson等人, 2016b; Rowden等人, 2017年)。霰石新数据也将影响这些模型, 例如在西北太平洋海山上发现霰石饱和条件很差的石珊瑚礁, 即属于这种情况(Baco和其他人, 2017年)。环境参数也可能以不同方式影响物种更替和物种丰度(Victorero等人, 2018年)。

海山之间的连通机制是最近研究的焦点。海山可以作为跨越大片区域的“垫脚石”, 但没有一致的模式(Rowden等人, 2010年a)。造礁石珊瑚(*Solenosmilia variabilis*)和深水叶片珊瑚(*Desmophyllum dianthus*)在南半球同样分布广泛, 但深水叶片珊瑚在广大区域(数千公里)具有相似的遗传结构, 这与石珊瑚在近距离(数十公里)单个海山之间存在变异(Miller和Gunasekera, 2017年)形成鲜明对比。后一种“招揽同类”种群的机制也出现在双壳软体动物身上(Beeston等人, 2018年)。连通性的空间模式因物种而异(例如Zeng等人, 2017年), 甚至同一属内的物种间也有此种差异(Pante等人, 2015年)。洋流可以为幼虫扩散提供路径或屏障(Dueñas等人, 2016年; Holland等人, 2019年)。

这项研究凸显了海山之间在环境因素和动物群落方面的变异性, 由于此种变异性, 难以就海山的生态得出概括性结论, 这样凸显了跨越各种海山自然和地理特征进行采样的重要性(Clark等人, 2012年)。

### 3. 对经济和社会变化的描述

个体渔业可以追溯到16世纪, 即使在今天, 靠近海洋岛屿的小规模渔业对就业也很重要, 估计年捕获量(主要是金枪鱼)在15万至25万吨之间(Da Silva和Pinho, 2007年)。自1990年代中期以来, 金眼鲷和橙鲷等鱼种的深海底鱼捕捞量总体下降(Clark等人, 2007年; Watson等人, 2007

年; Pitcher等人, 2010年), 降至目前每年10万吨以下的水平。除了鱼类, 海山上的小型无脊椎动物渔业的捕捞对象还包括南大西洋和南印度洋的龙虾、东北大西洋的深海红蟹(Rogers, 2018年)。

海山上有铁锰结壳, 其中含有具有商业潜力的钴、镍和稀土元素(Hein等人, 2013年)。与国际海底管

理局签订的结壳勘探合同有5份: 4份关于西北太平洋的海山, 另一份关于巴西附近的里奥格兰德海隆。<sup>1</sup>目前尚未进行深海矿物开采, 但采矿作业可能对海山生态系统产生重大影响(例如Levin等人, 2016年; Miller等人, 2018年)。因此, 海管局正在制定规章, 以在潜在的勘探与环境保护之间实现平衡。

垃圾和塑料废弃物是日益令人担忧的问题。丢失的鱼线、渔网和罐子(例如Maldonado等人, 2015年; Vieira等人, 2015年; Woodall等人, 2015年)会缠绕或伤害与海山相关的物种。在南印度洋海山的动物样本中以及沉积物中都发现了微塑料(Woodall等人, 2014年; Taylor等人, 2016年)。还有人担心, 入侵物种可能会通过这些废弃物和垃圾传播。

## 4. 近年来对具体区域的主要研究

### 4.1. 北冰洋

在北极水域的海山上进行的工作很少。然而, 2017年, 在Schultz Massif海山上发现了高密度、多样的海绵体, 这可能与出现更温暖、富氧和富含食物的洋流有关(Jones等人, 2018年)。

### 4.2. 北大西洋

最近的研究主要集中在东北大西洋的海山上。来自Anton Dohrn海山的数据揭示了13个群落生境, 其中10个符合脆弱海洋生态系统的标准(Davies等人, 2015年)。2012年首次对Hebrides Terrace海山进行了调查, 查明了冷水珊瑚生境(Henry等人, 2014年)和里氏深海鳕产卵地点(Henry等人, 2016年)。欧洲联盟地图集方案已经完成了对鲍迪奇海山(百慕大)和Formigas海山(亚速尔群岛)的调查, 并报告了在Tropic海山有大面积海绵体、八放珊瑚、孔葵珊瑚礁、巨型阿米巴虫和海百合

从捕捞或潜在采矿活动中恢复, 包括恢复经济或社会价值, 可能会非常缓慢。海山渔业可能移除许多底栖动物, 导致生物多样性和丰度下降(Clark等人, 2015年)。夏威夷一天皇海山链中的海山仍有零星少量渔获(如Bensch等人, 2008年), 新西兰和塔斯马尼亚附近的几个小型橙鲷渔业公司已重新开业(联合国粮食及农业组织(粮农组织), 2018年)。然而, 海底生境可能需要数十年才能恢复。新西兰离岸水域的时间序列调查显示, 在拖网捕捞停止15年后, 石珊瑚群落几乎没有变化的迹象(Clark等人, 2019年), 尽管塔斯马尼亚附近一些海山上的海葵和小珊瑚可能有所增加(Clark等人, 2010年)。北太平洋最近的一项调查显示, 1970年代拖网捕捞的伤害可能有一些恢复(Baco等人, 2019年), 但日本对以前捕捞珍贵珊瑚的一座海山的研究表明, 没有恢复的迹象(Bruckner, 2014)。

礁(Ramiro-Sánchez等人, 2019年)。Tropic海山拥有大片具有潜在采矿价值的铁锰结壳(Murton等人, 2017年)。

### 4.3. 南大西洋

最近与矿产、石油和天然气勘探相关的工作推进了对维多利亚—特林达迪海山系和里奥格兰德海隆的物理化学描述(Bernardino和Sumida, 2017年; Montserrat等人, 2019年)。海山与附近的大陆斜坡共享物种池, 但不同地区在结构上有不同的附着基(O'Hara等人, 2010年; Bernardino等人, 2016年; Almada和Bernardino, 2017年), 这表明底栖动物和中上层动物具有高度多样性(Perez等人, 2018年)。

联合王国还对圣赫勒拿、阿森松和特里斯坦—达库尼亚及其岛屿附近的海山进行了调查。<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 可查阅[www.isa.org/jm/deep-seabed-minerals-contractors](http://www.isa.org/jm/deep-seabed-minerals-contractors)。

<sup>2</sup> 见[www.bas.ac.uk/project/protecting-marine-ecosystems-in-the-south-atlantic/](http://www.bas.ac.uk/project/protecting-marine-ecosystems-in-the-south-atlantic/)。

#### 4.4. 印度洋

印度洋区域海山的研究仍然很少，尽管近年来对西南印度洋脊和马达加斯加海岭上的几座海山进行了调查(Rogers, 2016年)。调查发现了横跨洋脊的独特微生物和浮游植物群落(Djuhuus等人, 2017年; Sonnekus等人, 2017年)、不同海山之间高度多样的头足类动物(Laptikhovskiy等人, 2017年)和底栖动物。

#### 4.5. 北太平洋

美国一直活跃在北太平洋和中太平洋，2015年、2016年和2017年发起活动，包括对帕帕哈瑙莫夸基亚国家海洋保护区(包括夏威夷—天皇海山链)的海山和洋脊绘制地图并进行遥控水下机器人潜水，活动围绕太平洋中部的一些美国岛屿，向南延伸到萨摩亚、托克劳和库克群岛。对音乐家海山链的海山进行了18次潜水。大多数海山只进行了一次遥控水下机器人潜水，但揭示了多样化和丰富的海底深海珊瑚和海绵体群落(Kennedy等人, 2019年)。2019年，在阿拉斯加湾的4座海山上开展了进一步的遥控水下机器人潜水、抽取岩心和拖网作业。

中国研究人员对西北太平洋的海山进行了多次调查，包括卡罗琳海山、雅浦海山和麦哲伦海山。

拥有西北太平洋钴结壳勘探许可证的深海矿产承包商也在进行更多调查工作。承包商(大洋协会(中国)、韩国海洋科学技术院(韩国)、俄罗斯联邦、日本石油天然气和金属国有公司(日本))在2017年和2018年对11座海山进行了采样，在海绵体、珊瑚

和棘皮动物的海底群落中发现了许多新物种(例如Wang等人, 2016年; Dong等人, 2017年)。对克拉里昂—克利珀顿断裂区的深海丘陵和海山也进行了一些采样。

在加拿大北太平洋，加拿大渔业及海洋部对几座海山进行了基线定性。2018年，该国部署了一个自主监测阵列来收集德尔伍德海山的环境数据，并部署了水听器探测鲸鱼。通过摄影调查，建立了30个潜在的长期监测点。该国正在为SGaan Kinghlas-Bowie海山和其他太平洋海山制定一项科学计划。

#### 4.6. 南太平洋

研究重点是调查底栖生物群落是否从底拖网捕捞法的影响中恢复。2015年在新西兰附近海域(Clark等人, 2019年)、2018年在塔斯马尼亚附近海域完成了更多时间序列调查。<sup>3</sup>最初的石质珊瑚礁在某些海山上的底拖网捕捞停止后的15-20年间几乎没有恢复。

最近的海山调查地点包括加拉帕戈斯群岛(厄瓜多尔)附近深至3 000米(2015年、2016年)，以及纳斯卡—德斯温特德海洋公园(智利)(2016年)和澳大利亚(Nanson等人, 2018年)。

#### 4.7. 南大洋

近年来，在南极水域对一些海山和洋脊进行了采样。新西兰的调查包括2018年的“长洋脊”(太平洋—南极洋脊的一部分)和2019年的Scott海山链。

发展十年下调查更多海山的举措，可以补充正在进行的针对当地生物多样性或渔业影响问题的国家研究。2017年，欧洲联盟、巴西和南非签署了《贝伦声明》，这是一个泛大西洋框架，为

### 5. 展望

在过去的十年里，已经进行了重要的研究。全球海山项目<sup>4</sup>规划的未来国际举措、新成立的与大洋中脊有关的海山和岛屿问题国际大洋中脊协会工作组，以及在联合国海洋科学促进可持续

<sup>3</sup> 见<https://ecos.csiro.au/deep-sea-life/>。

<sup>4</sup> 可查阅<https://osf.io/xtg5c/>。

iAtlantic (2019-2023年)<sup>5</sup>提供资金, 将通过该框架在大西洋进行多次海山调查。

可能即将在海山上进行的深海采矿是一种威胁, 但国际海底管理局要求提供大量基线环境数据, 才能在国家管辖范围以外区域进行勘探, 这将在未来10年增加若干地区对海山的认识。

未来十年的气候变化影响很难预测, 但Rogers (2015年)和Sweetman等人(2017年)的研究表明, 气候变化仍是对海山群落的主要威胁: 温度上升, 氧气浓度下降, 霰石饱和水平线变浅。一些海山动物, 如冷水珊瑚, 容易受到水团特征变化的影响(例如Guinotte等人, 2006年; Matos等人, 2017年; Hebbeln等人, 2019年), 而半深海的重大变化(Sweetman等人, 2017年)包括支持生产性渔业或高生物多样性的海山。然而, 由于海山覆盖的深度

范围更大, 它们可能比周围的海底更不容易受到海洋酸化变化的影响, 并充当临时避难所(Tittensor等人, 2010年)。

在全球范围内, 海山保护可能会加强, 补充北大西洋、西南太平洋和东北太平洋的国家保护努力(Morato等人, 2010年)以及最近停止加拿大和智利西海岸、北大西洋(Natura 2000)和整个夏威夷水域捕鱼活动的措施。旅游业资金也可能增加未来的海山保护(Ison等人, 2021年)。国际海底管理局通过的一项区域环境管理计划保护东太平洋的一些海山地区, 不允许可能的海底采矿。区域渔业管理组织可能会将越来越多的海山认定为脆弱海洋生态系统(粮农组织, 2009年), 许多海山被归类为具有生态或生物意义的区域(生物多样性公约秘书处, 2009年)。

## 6. 知识方面仍然存在的主要差距

《第一次评估》(联合国, 2017年b)中确定的知识差距大部分仍存在: 迄今被抽样调查的海山数量有限(有一定进展); 开发了预测性的生境适宜性模型, 但尚未进行测试(有一定进展); 对海山生态系统的中上水层部分知之甚少(尤其是较深的半深海)(在很大程度上现在情况仍是如此); 需要评估多种压力因素, 包括对生境的干扰、污染物、气候变化、酸化和缺氧, 需要综合考虑(仍然存在重大差距); 对迄今设立的禁渔区的有效性认识有限(有一定进展)。

现有若干全球和国家海山数据集, 包括Seamount Catalog (主要是地质学)、SeamountsOnline (生物学)<sup>6</sup>; 海山生态系统评价框架(生态学); 新西兰海山数据集(Rowden等人, 2008年); 亚速尔群岛海山数据集(Morato等人, 2008年)和南太平洋西部海山数据集(Allain等人, 2008年)。然而, 自《第一次评估》以来, 没有根据被抽样调查的海山对这些数据集进行广泛更新。迫切需要海山调查和抽样工作登记册更新版。

鉴于在全球范围被调查的海山如此之少, 在对海山的生物多样性规模和模式及其对气候变化和人类活动的韧性的科学认识方面仍然存在重大差距(Clark等人, 2012年)。收集此类基线数据需要一整套不同的工具, 包括遥感、直接取样和目视调查(见Clark等人, 2016年)。对海山动物进行准确一致的分类识别是许多深海生境的共同问题。为了提高跨多学科采样的一致性, 制定了通用海洋调查和采样迭代规程(Woodall等人, 2018年)。新的技术, 如物种识别人工智能、eDNA、海洋景观遗传方法和深海Argo浮标, 可能会得到广泛应用, 这些技术对于提高对海山环境的了解是必要的。需要进行更多时间序列研究, 以探讨受影响海山群落的长期韧性和恢复潜力, 并为其未来的管理提供信息。

<sup>5</sup> 可查阅[www.iatlantic.eu/](http://www.iatlantic.eu/)。

<sup>6</sup> 可查阅<https://earthref.org/SC/>。

## 7. 能力建设方面仍然存在的主要差距

海山环境可以在深海生态系统中发挥重要作用。深海调查必须包括海山，以增进对其生态系统结构和功能的认识，以此作为人类活动的先决条件。然而，在深海生境的科学能力方面存在能力差距，此类生境偏远且未被开发，总体上显示，即使在发达的工业化国家，也存在巨大的能力和信息差距。在

所有国家，都有分布在当前或拟议的工业活动重叠地区的海山，例如西太平洋的渔业、加勒比和非洲的海上石油和天然气开发，以及西北和西南太平洋和印度洋的海山和洋脊地区潜在的深海采矿。发展中国家与发达国家之间需要进行大量的协作和合作，以建设科学和管理能力。

### 参考资料

- Allain, Valérie, and others (2008). Enhanced seamount location database for the western and central Pacific Ocean: screening and cross-checking of 20 existing datasets. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 55, No. 8, pp. 1035–1047.
- Almada, Gustavo Vaz de Mello Baez, and Angelo Fraga Bernardino (2017). Conservation of deep-sea ecosystems within offshore oil fields on the Brazilian margin, SW Atlantic. *Biological Conservation*, vol. 206, pp. 92–101.
- Anderson, Owen F., and others (2016a). Field validation of habitat suitability models for vulnerable marine ecosystems in the South Pacific Ocean: implications for the use of broad-scale models in fisheries management. *Ocean & Coastal Management*, vol. 120, pp. 110–126.
- Anderson, Owen F., and others (2016b). Habitat suitability models for predicting the occurrence of vulnerable marine ecosystems in the seas around New Zealand. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 115, pp. 265–292.
- Baco, Amy R., and others (2017). Defying dissolution: discovery of deep-sea scleractinian coral reefs in the North Pacific. *Scientific Reports*, vol. 7, No.1, art. 5436.
- Baco, Amy R., and others (2019). Amid fields of rubble, scars, and lost gear, signs of recovery observed on seamounts on 30- to 40-year time scales. *Science Advances*, vol. 5, No. 8, eaaw4513.
- Beeston, Mark A., and others (2018). Hydrological features above a Southern Ocean seamount inhibit larval dispersal and promote speciation: evidence from the bathyal mytilid *Dacrydium alleni* sp. nov. (Mytilidae: Bivalvia). *Polar Biology*, vol. 41, No. 7, pp. 1493–1504.
- Bensch, Alexis, and others (2008). *Worldwide Review of Bottom Fisheries in the High Seas*. vol. 522. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Bernardino, Angelo F., and Paulo Y.G. Sumida (2017). Deep risks from offshore development. *Science*, vol. 358, No. 6361, pp. 312–312.
- Bernardino, Angelo Fraga, and others (2016). Bathymetric and regional changes in benthic macrofaunal assemblages on the deep Eastern Brazilian margin, SW Atlantic. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 111, pp. 110–120.
- Bruckner, A.W. (2014). Advances in management of precious corals in the family Corallidae: are new measures adequate? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 7, pp. 1–8.
- Carmo, Vanda, and others (2013). Variability of zooplankton communities at Condor seamount and surrounding areas, Azores (NE Atlantic). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 98, pp. 63–74.
- Clark, Malcolm R. (2009). Deep-sea seamount fisheries: a review of global status and future prospects. *Latin American Journal of Aquatic Research*, vol. 37, No. 3, pp. 501–512.

- Clark, Malcolm R., and others (2007). Large-scale distant-water trawl fisheries on seamounts. *Seamounts: Ecology, Fisheries, and Conservation*, vol. 12, pp. 361–399.
- Clark, Malcolm R., and others (2010). The ecology of seamounts: structure, function, and human impacts. *Annual Review of Marine Science*, vol. 2, pp. 253–278.
- Clark, Malcolm R., and others (2012). Science priorities for seamounts: research links to conservation and management. *PLoS One*, vol. 7, No. 1, e29232.
- Clark, Malcolm R., and others (2015). The impacts of deep-sea fisheries on benthic communities: a review. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 73, No. suppl. 1, pp. i51–i69.
- Clark, Malcolm R., and others (2016). *Biological Sampling in the Deep Sea*. Oxford: Wiley-Blackwell.
- Clark, Malcolm R., and others (2017). Biodiversity of the Kermadec Islands and offshore waters of the Kermadec Ridge: report of a coastal, marine mammal and deep-sea survey (TAN1612). *New Zealand Aquatic Environment and Biodiversity Report*, No. 179, pp. 95.
- Clark, Malcolm R., and others (2019). Little evidence of benthic community resilience to bottom trawling on seamounts after 15 years. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, p. 63.
- Da Silva, Helder Marques, and Mário Rui Pinho (2007). Small-scale fishing on seamounts. In *Seamounts: Ecology Fisheries and Conservation, Fisheries and Aquatic Resource Series, Blackwell Scientific*, T.J. Pitcher and others, eds., pp. 335–360. Fish and Aquatic Resources Series. Oxford: Blackwell Science.
- Davies, Andrew J., and John M. Guinotte (2011). Global habitat suitability for framework-forming cold-water corals. *PLoS One*, vol. 6, No. 4, e18483.
- Davies, Jaime S., and others (2015). Benthic assemblages of the Anton Dohrn Seamount (NE Atlantic): defining deep-sea biotopes to support habitat mapping and management efforts with a focus on vulnerable marine ecosystems. *PLoS One*, vol. 10, No. 5, e0124815.
- Denda, A., and Bernd Christiansen (2014). Zooplankton distribution patterns at two seamounts in the subtropical and tropical NE Atlantic. *Marine Ecology*, vol. 35, No. 2, pp. 159–179.
- Denda, A., and others (2017). Microzooplankton and meroplanktonic larvae at two seamounts in the subtropical and tropical NE Atlantic. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, vol. 97, No. 1, pp. 1–27.
- Djurhuus, A., and others (2017). The spatial distribution of particulate organic carbon and microorganisms on seamounts of the South West Indian Ridge. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 136, pp. 73–84.
- Dong, Dong, and others (2017). Three squat lobsters (Crustacea: Decapoda: Anomura) from tropical West Pacific seamounts, with description of a new species of *Uroptychus* Henderson, 1888. *Zootaxa*, vol. 4311, No. 3, pp. 389–398.
- Du Preez, Cherisse, and others (2016). The structure and distribution of benthic communities on a shallow seamount (Cobb Seamount, Northeast Pacific Ocean). *PLoS One*, vol. 11, No. 10, e0165513.
- Dueñas, Luisa F., and others (2016). The Antarctic Circumpolar Current as a diversification trigger for deep-sea octocorals. *BMC Evolutionary Biology*, vol. 16, No. 1, art. 2.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2009). *International Guidelines for the Management of Deep-Sea Fisheries in the High-Seas*. 42. Rome.
- \_\_\_\_\_ (2018). *Global Review of Orange Roughy (Hoplostethus Atlanticus), Their Fisheries, Biology and Management*. Geoffrey Tingley and Matthew Dunn, eds. FAO Fisheries and Technical Paper 622. Rome.
- Guinotte, John M., and others (2006). Will human-induced changes in seawater chemistry alter the distribution of deep-sea scleractinian corals? *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 4, No. 3, pp. 141–146.

- Harris, Peter, and others (2014). Geomorphology of the oceans. *Marine Geology*, vol. 352, pp. 4–24. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.01.011>.
- Hebbeln, Dierk, and others (2019). The fate of cold-water corals in a changing world: a geological perspective. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 119.
- Hein, James R., and others (2013). Deep-ocean mineral deposits as a source of critical metals for high- and green-technology applications: comparison with land-based resources. *Ore Geology Reviews*, vol. 51, pp. 1–14.
- Henry, L.-A., and others (2016). Seamount egg-laying grounds of the deep-water skate *Bathyraja richardsoni*. *Journal of Fish Biology*, vol. 89, No. 2, pp. 1473–1481.
- Henry, Lea-Anne, and others (2014). Environmental variability and biodiversity of megabenthos on the Hebrides Terrace Seamount (Northeast Atlantic). *Scientific Reports*, vol. 4, art. 5589.
- Holland, L.P., and others (2019). *Genetic connectivity of deep-sea corals in the New Zealand region*. New Zealand Aquatic Environment & Biodiversity Report No. 245. Wellington.
- Howell, Kerry L., and others (2010). Mounting evidence: near-slope seamounts are faunally indistinct from an adjacent bank. *Marine Ecology*, vol. 31, pp. 52–62.
- Ison, S., and others (2021). Tourist preferences for seamount conservation in the Galapagos Marine Reserve. *Frontiers in Marine Science*.
- Jones, E.M., and others (2018). Oceanographic setting and short-timescale environmental variability at an Arctic seamount sponge ground. *Deep Sea Research I*, vol. 138, pp. 98–113.
- Kennedy, Brian R.C., and others (2019). The unknown and the unexplored: insights into the Pacific Deep-Sea following NOAA CAPSTONE expeditions. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 21.
- Kvile, Kristina Ø., and others (2014). A global assessment of seamount ecosystems knowledge using an ecosystem evaluation framework. *Biological Conservation*, vol. 173, pp. 108–120.
- Laptikhovsky, V., and others (2017). Cephalopods of the Southwest Indian Ocean Ridge: a hotspot of biological diversity and absence of endemism. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 136, pp. 98–107.
- Lavelle, J. William, and Christian Mohn (2010). Motion, commotion, and biophysical connections at deep ocean seamounts. *Oceanography*, vol. 23, No. 1, pp. 90–103.
- Lemos, A.T., and others (2018). Annual phytoplankton blooming using satellite-derived chlorophyll-a data around the Vitória-Trindade Chain, Southeastern Brazil. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 136, pp. 62–71.
- Letessier, Tom B., and others (2017). Seamount influences on mid-water shrimps (Decapoda) and gnathophausiids (Lophogastridea) of the South-West Indian Ridge. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 136, pp. 85–97.
- Levin, Lisa A., and others (2016). Defining “serious harm” to the marine environment in the context of deep-seabed mining. *Marine Policy*, vol. 74, pp. 245–259.
- Maldonado, Manuel, and others (2015). Aggregated clumps of lithistid sponges: a singular, reef-like bathyal habitat with relevant paleontological connections. *PloS One*, vol. 10, No. 5, e0125378.
- Matos, Lélia, and others (2017). Coral mound development at the Campeche cold-water coral province, southern Gulf of Mexico: implications of Antarctic Intermediate Water increased influence during interglacials. *Marine Geology*, vol. 392, pp. 53–65.
- Meirelles, Pedro M., and others (2015). Baseline assessment of mesophotic reefs of the Vitória-Trindade seamount chain based on water quality, microbial diversity, benthic cover and fish biomass data. *PloS One*, vol. 10, No. 6, e0130084.
- Meredith, Michael P., and others (2015). Circulation, retention, and mixing of waters within the Weddell-Scotia Confluence, Southern Ocean: the role of stratified Taylor columns. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 120, No. 1, pp. 547–562.

- Miller, Karen J., and Rasanthi M. Gunasekera (2017). A comparison of genetic connectivity in two deep sea corals to examine whether seamounts are isolated islands or stepping stones for dispersal. *Scientific Reports*, vol. 7, art. 46103.
- Miller, Kathryn A., and others (2018). An overview of seabed mining including the current state of development, environmental impacts, and knowledge gaps. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 418.
- Montserrat, Francesc, and others (2019). Deep-sea mining on the Rio Grande Rise (Southwestern Atlantic): a review on environmental baseline, ecosystem services and potential impacts. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 145, pp. 31–58.
- Morato, Telmo, and others (2008). Evidence of a seamount effect on aggregating visitors. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 357, pp. 23–32.
- Morato, Telmo, and others (2010). Can we protect seamounts for research? A call for conservation. *Oceanography*, vol. 23, No. 1, pp. 190–199.
- Murton, B.J., and others (2017). Detailed description of FeMn crusts at Tropic Seamount. *Proceedings of the American Geophysical Union, Fall Meeting 2017*, abstract #OS34A-05. Washington, D.C.: American Geophysical Union.
- Nanson, R., and others (2018). An eco-narrative of Gifford Marine Park: Temperate East marine region. *Report to the National Environmental Science Programme, Marine Biodiversity Hub*. Geoscience Australia.
- Narayanaswamy, Bhavani E., and others (2013). First observations of megafaunal communities inhabiting George Bligh Bank, northeast Atlantic. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 92, pp. 79–86.
- Nishida, K., and others (2016). Prey use by three deep-sea fishes in the Emperor Seamount waters, North Pacific Ocean, as revealed by stomach contents and stable isotope analyses. *Environmental Biology of Fishes*, vol. 99, No. 4, pp. 335–349.
- O’Hara, Timothy D., and others (2010). Environmental predictors and turnover of biota along a seamount chain. *Marine Ecology*, vol. 31, pp. 84–94.
- Pante, Eric, and others (2015). An inter-ocean comparison of coral endemism on seamounts: the case of *Chrysogorgia*. *Journal of Biogeography*, vol. 42, No. 10, pp. 1907–1918.
- Pereira-Filho, Guilherme H., and others (2012). Extensive rhodolith beds cover the summits of southwestern Atlantic Ocean seamounts. *Journal of Coastal Research*, vol. 28, No. 1, pp. 261–269.
- Perez, Jose Angel Alvarez, and others (2018). Benthopelagic megafauna assemblages of the Rio Grande Rise (SW Atlantic). *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 134, pp. 1–11.
- Pitcher, Tony J., and others (2007). *Seamounts: Ecology, Fisheries & Conservation*. Oxford: Blackwell.
- Pitcher, Tony J., and others (2010). Seamount fisheries: do they have a future? *Oceanography*, vol. 23, No. 1, pp. 134–144.
- Preciado, Izaskun, and others (2017). Food web functioning of the benthopelagic community in a deep-sea seamount based on diet and stable isotope analyses. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 137, pp. 56–68.
- Ramiro-Sánchez, Berta, and others (2019). Characterization and mapping of a deep-sea sponge ground on the Tropic Seamount (northeast tropical Atlantic): implications for spatial management in the high seas. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 278.
- Ramos, Manuela, and others (2016). Patterns in megabenthic assemblages on a seamount summit (Ormonde Peak, Gorringer Bank, Northeast Atlantic). *Marine Ecology*, vol. 37, No. 5, pp. 1057–1072.
- Read, Jane, and Raymond Pollard (2017). An introduction to the physical oceanography of six seamounts in the southwest Indian Ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 136, pp. 44–58.

- Rogers, A. (2016). Pelagic ecology of the South West Indian Ocean Ridge seamounts: introduction and overview. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 136, pp. 1–4.
- \_\_\_\_\_ (2018). The biology of seamounts: 25 years on. *Advances in Marine Biology*, vol. 79, pp. 137–223.
- \_\_\_\_\_ (2015). Environmental change in the deep ocean. *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 40, pp. 1–38.
- Rowden, A.A., and others (2008). *New Zealand's "SEAMOUNT" database: recent updates and its potential use for ecological risk assessment*. Aquatic Environment and Biodiversity Report No. 27.
- Rowden, A.A., and others (2010a). A test of the seamount oasis hypothesis: seamounts support higher epibenthic megafaunal biomass than adjacent slopes. *Marine Ecology*, vol. 31, pp. 95–106.
- Rowden, A.A., and others (2010b). Paradigms in seamount ecology: fact, fiction and future. *Marine Ecology*, vol. 31, pp. 226–241.
- Rowden, A.A., and others (2017). High-resolution habitat suitability models for the conservation and management of vulnerable marine ecosystems on the Louisville Seamount Chain, South Pacific Ocean. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 335.
- Schlacher, Thomas A., and others (2014). Seamount benthos in a cobalt-rich crust region of the central Pacific: conservation challenges for future seabed mining. *Diversity and Distributions*, vol. 20, No. 5, pp. 491–502.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2009). *Azores Scientific Criteria and Guidance for Identifying Ecologically or Biologically Significant Marine Areas and Designing Representative Networks of Marine Protected Areas in Open Ocean Waters and Deep Sea Habitats*. Montreal, Canada.
- Sonnekus, Martinus J., and others (2017). Phytoplankton and nutrient dynamics of six South West Indian Ocean seamounts. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 136, pp. 59–72.
- Staudigel, Hubert and others (2010). Seamount sciences: quo vadis? *Oceanography*, vol. 23, No. 1, pp. 212–213.
- Stefanoudis, P., and others (2019). Depth-dependent structuring of reef fish assemblages from the shallows to the rariphotic zone. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 307.
- Stocks, Karen I. (2010). BOX 10-SeamountsOnline: A Desktop Window Into the Lives of Seamounts. *Oceanography*, vol. 23, No. 1, p. 145.
- Stocks, Karen I., and others (2012). CenSeam, an international program on seamounts within the census of marine life: achievements and lessons learned. *PloS One*, vol. 7, No. 2, e32031.
- Sweetman, Andrew K., and others (2017). Major impacts of climate change on deep-sea benthic ecosystems. *Elementa: Science of the Anthropocene*, vol. 5, pp. 1–23.
- Taylor, M.L., and others (2016). Plastic microfibre ingestion by deep-sea organisms. *Scientific Reports*, vol. 6, art. 33997.
- Tittensor, Derek P., and others (2010). Seamounts as refugia from ocean acidification for cold-water stony corals. *Marine Ecology*, vol. 31, pp. 212–225.
- Tracey, Dianne M., and others (2011). Habitat-forming cold-water corals show affinity for seamounts in the New Zealand region. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 430, pp. 1–22.
- Turnewitsch, Robert, and others (2016). Tidal influence on particulate organic carbon export fluxes around a tall seamount. *Progress in Oceanography*, vol. 149, pp. 189–213.
- United Nations (2017a). Chapter 51: Biological communities on seamounts and other submarine features potentially threatened by disturbance. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2017b). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Victorero, Lissette, and others (2018). Species replacement dominates megabenthos beta diversity in a remote seamount setting. *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, art. 4152.
- Vieira, Rui P., and others (2015). Lost fishing gear and litter at Gorringe Bank (NE Atlantic). *Journal of Sea Research*, vol. 100, pp. 91–98.
- Wang, Dexiang, and others (2016). Three new species of glass sponges Pheronematidae (Porifera: Hexactinellida) from the deep-sea of the northwestern Pacific Ocean. *Zootaxa*, vol. 4171, No. 3, pp. 562–574.
- Watson, Reg, and others (2007). Catches from world seamount fisheries. In *Seamounts: Ecology, Fisheries & Conservation*, Tony J. Pitcher and others, eds., pp. 400–412. Oxford: Blackwell Publishing.
- Wessel, Paul, and others (2010). The global seamount census. *Oceanography*, vol. 23, No. 1, pp. 24–33.
- Woodall, Lucy C., and others (2014). The deep sea is a major sink for microplastic debris. *Royal Society Open Science*, vol. 1, No. 4, 140317.
- Woodall, Lucy C., and others (2015). Deep-sea litter: a comparison of seamounts, banks and a ridge in the Atlantic and Indian Oceans reveals both environmental and anthropogenic factors impact accumulation and composition. *Frontiers in Marine Science*, vol. 2, art. 3.
- Woodall, Lucy C., and others (2018). A multidisciplinary approach for generating globally consistent data on mesophotic, deep-pelagic, and bathyal biological communities. *Oceanography*, vol. 31, No. 3, pp. 76–89.
- Yesson, Chris, and others (2011). The global distribution of seamounts based on 30 arc seconds bathymetry data. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 58, No. 4, pp. 442–453.
- Yesson, Chris, and others (2012). Global habitat suitability of cold-water octocorals. *Journal of Biogeography*, vol. 39, No. 7, pp. 1278–1292.
- Yesson, Chris, and others (2017). The global distribution of deep-water Antipatharia habitat. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 145, pp. 79–86.
- Zeng, Cong, and others (2017). Population genetic structure and connectivity of deep-sea stony corals (Order Scleractinia) in the New Zealand region: Implications for the conservation and management of vulnerable marine ecosystems. *Evolutionary Applications*, vol. 10, No. 10, pp. 1040–1054.



# 第 7M 章

# 深海平原

**撰稿人:** Jeroen Ingels (召集人)、Diva Amon、Angelo F. Bernardino、Punyasloke Bhadury、Holly Bik、Malcolm R. Clark、Thomas Dahlgren、Daniel O. B. Jones、Craig McClain、Clifton Nunnally、Paul Snelgrove、Joshua T. Tuhumwire (分章牵头成员)和Moriaki Yasuhara。



## 主旨要点

- 深渊带位于水深3 000米至6 000米之处, 覆盖的地球表面超过所有其他生境覆盖的总和。
- 本章是《世界海洋评估》中第一个专门讨论深渊带的章节, 内容涵盖生物多样性、区域差异、生物地理学以及自然压力因素和人类活动造成的变化和影响。
- 深渊带的生物多样性情况没有得到很好的认知, 而且目前在深渊带演化、生物地理学以及生物的分布、连通性和对变化条件的反应方面也存在许多认知差距。
- 关于深渊带分类的知识不成体系, 主要是因为广阔而偏远的地区取样困难, 因此开展的研究工作有限, 阻碍了科学知识的发展。
- 大多数深渊带的环境支持着推动深海和全球生态系统运作的各种过程, 并与表层生产和中上层各种过程密切相关。
- 尽管深渊带位置偏远, 但气候变化和人为作用却对深渊带造成影响。

## 1. 导言

### 1.1. 《第一次世界海洋评估》记录的情况

《第一次世界海洋评估》(联合国, 2017年d)第1章(联合国, 2017年a)、第36F章(联合国, 2017年c)和关于不同海洋区域生物多样性的章节都简要介绍了深渊带的环境。其中述及深渊带生境对来自上方食物通量的依赖、气候变化的可能影响以及深海海底采矿可能产生的影响。深渊带生物多样性及其与中上层和表层水生物的潜在联系以及未来的变化仍然存在不确定性。《第一次评估》没有包含本章中对深渊带生物多样性的全面描述。

### 1.2. 概况

深渊带(水深3 000米至6 000米)(Gage和Tyler, 1991年)覆盖地球上面积最大的区域(约占地球表面的58%)。深渊带主要由广袤的海底平原构成, 上面通常覆盖着细小的沉积物, 并点缀着零星出现的坚硬附着基, 地形高处的附着基是海丘、海山、大洋中脊和岛弧, 低处的附着基是山谷和更深的海沟。这一生态系统以浅层透光带各种不同的下沉物质为基础, 其特点是除一些化学合成作用外, 完全没有阳光透过, 也没有原位初级生产(见第7P章)。虽然深渊带食物有限, 与大多数深海生境相比丰度较低(Gage和Tyler, 1991年), 但却支持着

底栖小型、大型和巨型动物高度的 $\alpha$ 多样性和 $\beta$ 多样性(Rex和Etter, 2010年)。海洋表层下沉食物颗粒的数量和质量强烈影响着生态系统的结构和功能(Smith等人, 2008年; McClain等人, 2012年a), 但人们对营养物循环回到水体的反馈机制却知之甚少(Thurber等人, 2014年)。每个深渊带域在物理变量、表层水特征和生物地理差异上都各不相同, 各区域的生物体、群落和生物多样性状况体现了这些差异。

深渊带生物多样性在空间(Glover等人, 2002年; Woolley等人, 2016年; Simon-Lledó等人, 2019年a)和时间上(Ruhl等人, 2008年)各不相同。尽管人们对从区域到全球尺度上的生物多样性模式知之甚少, 但南大洋深渊带(Brandt等人, 2006年; Griffiths, 2010年)和赤道太平洋(Glover等人, 2002年; Amon等人, 2016年a)等一些区域是主要的生物多样性宝库。对于已研究的少数分类而言, 连通性似乎很高(Baco等人, 2016年; Taboada等人, 2018年), 而对深海功能多样性的研究刚刚起步(如Chapman等人, 2019年), 其中包括对深渊带海底的研究(如Christodoulou等人, 2019年; O' Hara等人, 2019年; )。对生物多样性的了解因区域而异, 近年来, 对海底采矿的兴趣(见第18章)有助于获取关于太平洋中部克拉

里昂—克利珀顿断裂区等区域的新信息(如Dahlgren等人, 2016年; Glover等人, 2016年a; Amon等人, 2017年a、2017年b; Marsh等人, 2018年; Wiklund等人, 2019年), 有证据表明那里存在生物多样性丰富但脆弱的生命(Vanreusel等人, 2016年)。

气候变化可能会影响深渊带(Yasuhara和Danovaro, 2016年; Sweetman等人, 2017年)。预测显示, 深渊带温度和酸化程度将增加, 而氧浓度和下沉

有机物通量将减少。其他海洋进程可能会做出反应, 增加分层并减少水团交换。鉴于适合深渊带生物区系的环境有限, 这种变化可能会使生物区系的地理位置转移, 并使深渊带生物在其他人为影响面前更加脆弱(Levin等人, 2020年)。虽然关于深渊带生态系统所受人为影响的现有认知依然不足, 但已突出表明生态系统的脆弱性, 而且今后很可能加剧。

## 2. 基线转移和深渊带生物多样性现状和变化的记录情况

在深度超过3 000米的偏远地点采样存在挑战, 导致深渊带采样不足(Glover等人, 2018年)。生物多样性的记录反映了这一不足(图一和图二)。采样工作更多集中在海底, 而不是广阔多变的中上层水域。

### 2.1. 深渊带底栖生物多样性和底层—中上层耦合

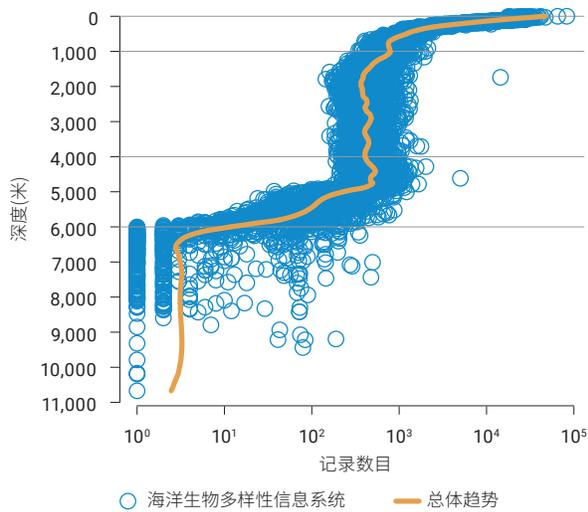
生物生境包括沉积物上大部分小尺度生境结构。斑块状食物资源也促进了海底小尺度结构的形成(McClain和Schlacher, 2015年)。其典型的低速洋流使沉积物受到侵蚀的程度微乎其微(Smith等人, 2008年), 但却影响沉积物的构成(McCave, 2017年)。深渊带水温低( $<5^{\circ}\text{C}$ )且温度相对恒定(Sweetman等人, 2017年), 其特点是静水压力极高。

有机物向深渊带转移主要是通过颗粒有机碳下沉实现的, 而颗粒有机碳主要是在表层水中通过光合初级生产形成, 或由进行次级生产并生成副产品的浮游动物制造而成(Cavan等人, 2015年)。此外, 海洋脊椎动物的尸体可以在几天内沉入深海平原, 暂时增加局部的食物(Amon等人, 2016年b)。表层输出的有机物可在几天内到达深渊带, 但速率会有波动(Smith等人, 2008年)。颗

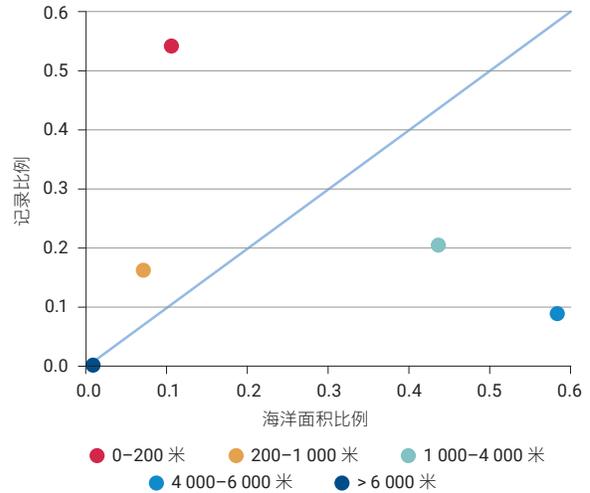
粒输出动态, 如夏季上部各层的输出可强烈影响深渊带生物地球化学过程(Bouef等人, 2019年)。然而, 整个水柱的再矿化导致到达深渊带海底的有机物数量极低(约占表层产量的0.5%至5.0%)(Lutz等人, 2007年; Smith等人, 2008年; Smith等人, 2009年)。食物的到来影响深渊带群落及其多样性、丰度、密度和构成, 而重要的微生物群落则影响碳氮循环等过程, 有机物的垂直输送影响了深海原核生物(以及真核生物)群落的组成和生物地理分布(Mestre等人, 2018年)。能源供应量低导致深渊带生物丰度、生物量和生物率(代谢、生长和繁殖率)普遍较低(Smith等人, 2008年; Wei等人, 2010年)。

除了在深海平原和更深层生物量中占主导地位地的细菌和古生菌之外, 所有底栖大小类别的总生物量都随水深的增加而下降(Wei等人, 2010年)。模型估计显示, 全球海底原核生物的生物量约为35兆吨碳(Wei等人, 2010年)。因此, 微生物群落的活动强烈影响着释放回中上层水域的营养物的类型和数量。微生物还承受着来自病毒种群自上而下的压力(Suttle, 2005年), 而且也是各种大小动物的捕食对象(如Howell等人, 2003年; Ingels等人, 2010年)。

**图一.A**  
以海洋深度为自变量绘制的海洋生物多样性信息系统记录数



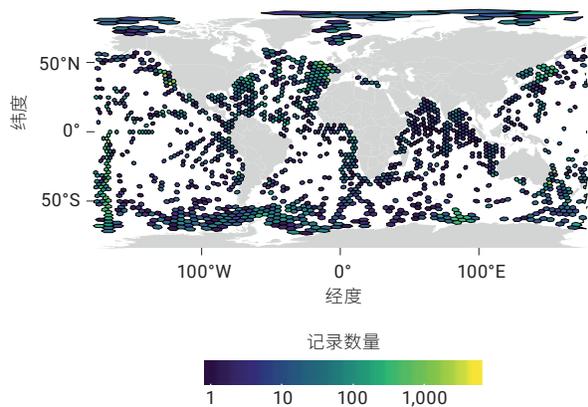
**图一.B**  
以不同深度区全球海洋所占比例为自变量绘制的不同深度区出现的所有海洋生物多样性信息系统记录的比例



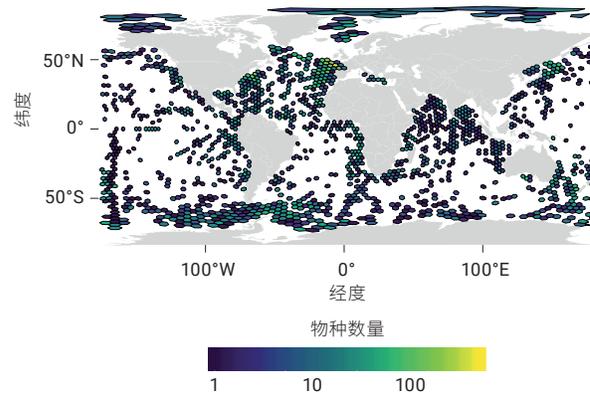
资料来源：Webb等人，2010年。

注：1:1线界定了记录数目成比例高于(线上方)或低于(线下方)给定区域预期数目的海洋区域。本图体现了根据每个生境体积得出的代表性不足和过剩的保守看法。

**图二.A**  
海洋生物多样性信息系统深渊带记录世界地图



**图二.B**  
水深3 000米至6 000米处海洋生物多样性信息系统物种存在状况世界地图



资料来源：海洋生物多样性信息系统，2019年5月16日；联合国教育、科学及文化组织政府间海洋学委员会。从<https://obis.org>获取。

注：A：现有数据中每75 000平方米面积超过1 000条记录的情况很少；特别是在太平洋、南大西洋和南印度洋存在差距。B：东北大西洋的样本数量比所有其他海洋更多。请注意物种存在与记录之间的相关性。

## 2.2. 深渊带

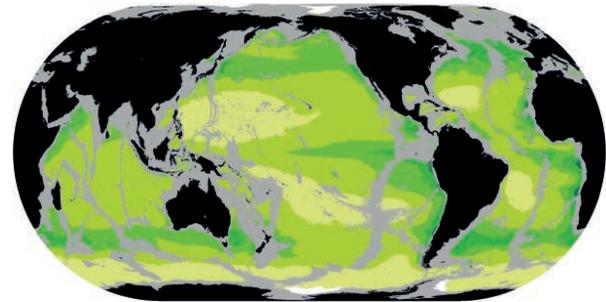
对主要生活在水深3 000米至6 000米、距海底200米以上水层的动物更加缺乏了解。海洋生物多样性信息系统显示，对这些生态系统的采样极少，因此在理解这一跨越10亿立方千米的生境方面存在巨大的知识空白，这可能是地球上最大的未知多样性宝库(Robison, 2009年)。深渊带为地球上最大规模的碳汇提供了便利，这是全球海洋提供的一项重要生态系统服务(Atwood等人, 2020年)。深海水体之间的日常垂直迁移可使有利于透光层初级生产的溶解营养物随长期深洋环流移动(Houghton和Dabiri, 2019年)。

## 2.3. 特定区域的主要差异或对比

深渊带物理和化学环境(如有机碳通量、氧气)的大尺度变化导致生物多样性的地理差异。然而，盐度变化太小，无法产生这种差异。这种地理差异还可能

导致不同区域内对人类影响的反应不同，但缺乏评估这种可能性的必要数据。

**图三.A**  
水深3 500米至6 500米处沉入海底的颗粒有机碳通量



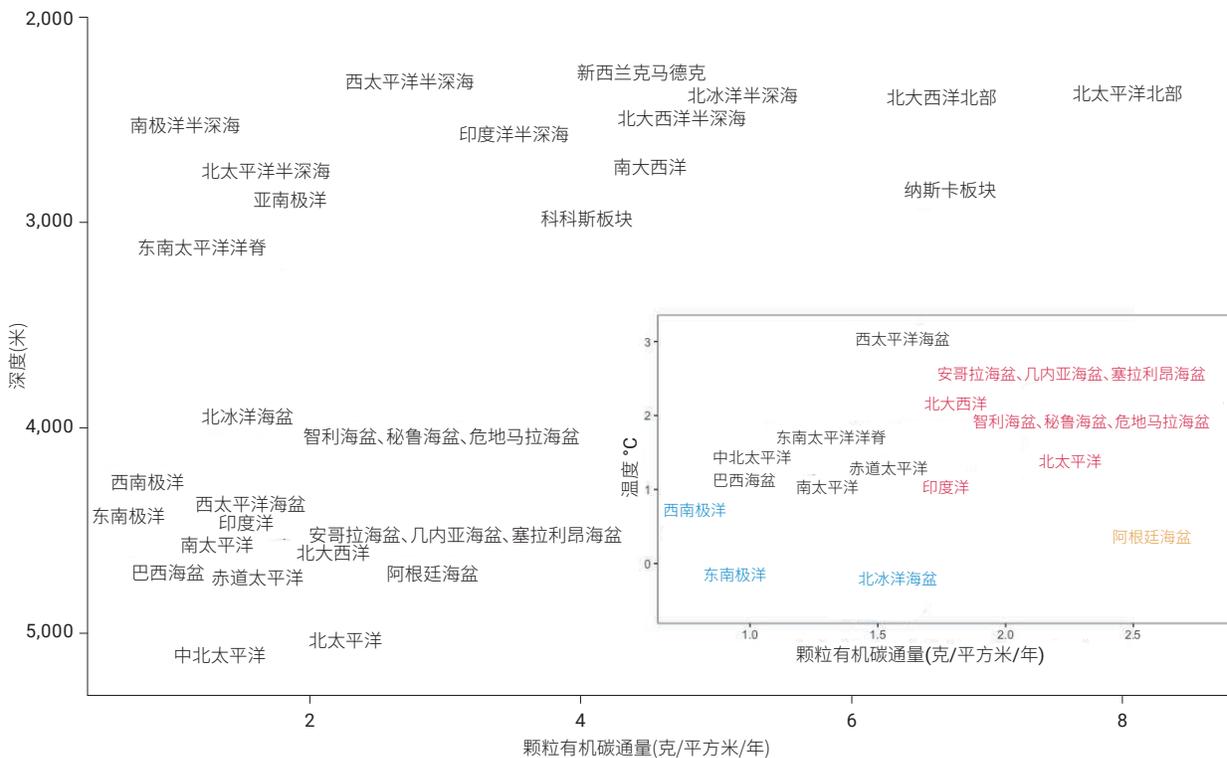
Lutz 研究显示的沉入海底的颗粒有机碳通量  
克/平方米/年



资料来源：数据来自Lutz等人，2007年；改编自Watling等人，2013年。

**图三.B**

深度—颗粒有机碳图显示半深海和深渊带域之间颗粒有机碳通量和通量变异性的差异(主图)以及深渊带域之间的变异性(温度—颗粒有机碳通量)(插图)



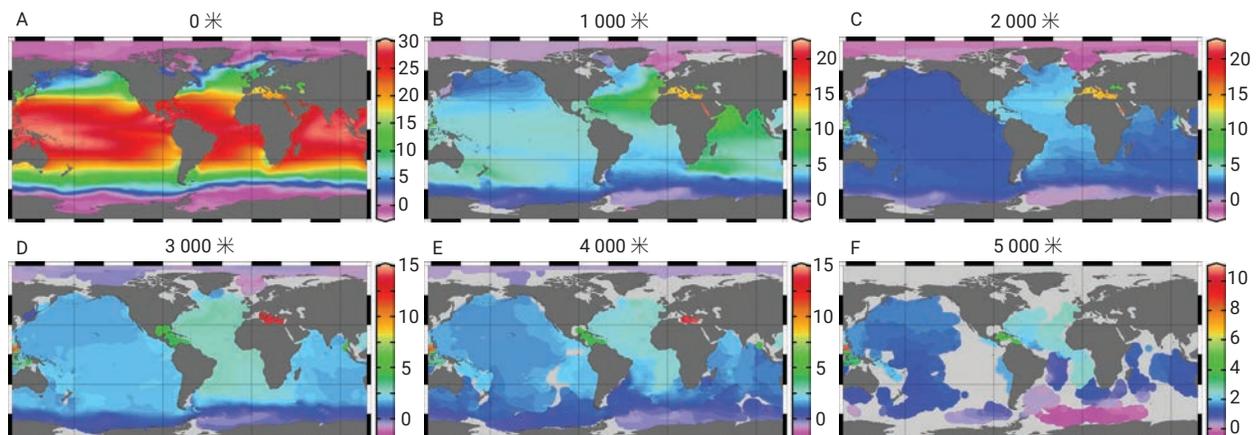
资料来源：基于Watling等人(2013年)数据绘制。

**碳可得性。**关于碳可得性的许多研究表明, 各种各样的过程影响了深渊带颗粒有机碳的含量, 从而影响各种群落(Carney, 2005年; Smith等人, 2008年; Rex和Etter, 2010年; McClain等人, 2012年a; McClain和Schlacher, 2015年; Woolley等人, 2016年)。沉入深渊带的颗粒有机碳通量在时间和空间上有所不同(Lampitt和Antia, 1997年; Lutz等人, 2007年; 图三)。深度、与沿岸生产水域和(或)涌升流区域的距离等因素可产生相当大的局部效应, 通常限制了沉入深海海底的颗粒有机碳通量。例如, 赤道太平洋的涌升流使颗粒有机碳通量水平很高(2至6克/平方米/年), 相比之下, 南部邻近区域的颗粒有机碳水平极低(<1克/平方米/年)(Watling等人, 2013年)。沿岸涌升流密集区加上狭窄的大陆架, 使东北太平洋和东南大西洋的深渊带生境更接近多产的沿岸水域, 导致更高水平的颗粒有机碳输入(Lutz等, 2007年; Lampitt和Antia, 1997年)。春季藻华的涌现也使北大西洋

颗粒有机碳通量达到中等偏高水平(6.6克/平方米/年)(Lampitt和Antia, 1997年)。

**温度。**温度与深渊带多样性之间往往存在统计上的显著相关性(Cronin和Raymo, 1997年; Hunt等人, 2005年; Yasuhara和Danovaro, 2016年)。温度也可能限制一些物种的生物地理分布(McClain等人, 2012年b)。地中海的温度在10°C以上, 甚至其深海平原也是如此。墨西哥湾和苏禄海等其他一些边缘海的温度更高, 也高于开阔洋深渊带深度的温度。太平洋深渊带的温度比大西洋深渊带略低, 而极地深渊带温度则大幅降低(见图四; Yasuhara和Danovaro, 2016)。Gebbie和Huybers (2019年)最近报告了太平洋(因小冰期而持续变冷)和大西洋(因近期气候变化而开始变暖)环流之间的显著差异。这些变化可能会改变不同海盆内碳酸盐的补偿深度(碳酸盐供应和溶解速率相等的水深)。区域差异是由深度和底层水的形成、沉降流和其他水团交换的影响造成的。

**图四**  
全球不同水深的温度分布情况(°C)



资料来源: 改编自Yasuhara和Danovaro, 2016年; 数据来自[www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA09/pr\\_woa09.html](http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA09/pr_woa09.html)。

注: 本地图使用“海洋数据视图”软件生成, 可查阅<http://odv.awi.de>。

**氧气。**溶解氧浓度影响深海动物的生态和分布(Levin, 2003年; Stramma等人, 2010年), 可能决定特定区域是否存在物种, 并限制物种扩散。深渊带的氧含量可从每升水1毫升到超过6毫升不等(Watling等人, 2013年)。含氧充足的南极底层水向北移动会增加极南印度洋、太平洋和大西洋的溶解

氧浓度(3至4毫升/升)。同样, 向南流动的北大西洋深层水使北大西洋含氧量增加(5.5至6.5毫升/升), 因此在北大西洋和南极洋存在地球上含氧量最高的一些深渊带水域(Watling等人, 2013年)。

**深度。**深海平原开始的最浅深度因区域而异, 墨西哥湾(3 000至3 900米)和地中海(平均深度1 500

米; 最深处为5 267米)的深海平原比其他区域浅。北冰洋及智利海盆、秘鲁海盆和危地马拉海盆的平均深度接近4 000米, 而北太平洋和中太平洋的平均深度则接近5 000米。在其他条件不变的情况下, 深度越深, 颗粒有机碳通量越少。深度作为压力的代用指标, 也可能限制生物地理分布情况(Somero, 1992年; Carney, 2005年)。因此, 深渊带深度的区域差异可能导致分类构成的变化, 并影响生物多样性。然而, 尽管各区域之间存在广泛的生物地理差异, 但几乎没有证据表明深度与深海平原的多样性程度密切相关。

**地形。**地形特征物会阻碍深海种群之间的个体的相互流动, 并影响生物地理分类(McClain和Hardy, 2010年)。太平洋和大西洋只有15%至20%的共有物种(Vinogradova, 1997年)。直布罗陀海峡限制了大西洋动物群在物种相对贫乏的地中海大量繁殖(Sardà等人, 2004年)。大洋中脊也可能限制深海平原上的扩散。半数已知深海双壳贝类被限制在东部大西洋或西部大西洋(McClain等人, 2011年), 这可能是由大西洋中脊造成的。

研究人员最近认识到, 高出海底不到1 000米的深海丘陵造成了地形、深度和沉积物之间的差异, 而这些差异支持着与更平坦的深渊带沉积物不同

的物种群聚情况和更高的生物量水平(Yesson等人, 2011年; Durden等人, 2015年)。

**沉积物和附着基。**在不同的深渊带域内, 沉积物类型在构成上可能迥然不同。大多数硅藻泥在深渊带的深度上出现, 但放射虫软泥出现在南大洋、赤道太平洋和秘鲁海盆等地。海绵骨针是澳大利亚—南极海盆沉积物的主要组成部分。粘土在南美洲和印度洋附近的大片海底区域和南澳大利亚海盆占主导地位(Dutkiewicz等人, 2015年)。沉积物多样性影响生物多样性, 但沉积物类型与生物多样性模式之间的联系仍未得到充分研究。在深海平原沉积物中, 多金属结核也会影响生物多样性。结核上的物种群聚与近底海水和沉积物群落都有根本的不同(Shulse等人, 2017年; Simon-Lledó等人, 2019年a)。结核物的增加会使巨型动物和巨型阿米巴虫的丰度增加(Simon-Lledó等人, 2019年b)。因此, 多金属结核使生境复杂性增加, 进而使深渊带生物区系各层次的多样性增加。

**河流的影响。**河流输入可通过以下方式影响深渊带: (a) 陆地碳的输入; (b) 形成散布阻限, 从而影响生物地理分布; (c) 使深海沉积物发生改变的干扰。表1列示了重要的排放物。

**表 1**  
**河流影响**

承受海洋水域	河流	兆吨碳/年
印度洋	恒河等河流	30.0
东南大西洋	刚果河等河流	30.0
西南大西洋	亚马逊河	37.6
西北太平洋	扬子江、黄河和湄公河	16.2
北冰洋	西伯利亚河流	12.8
墨西哥湾	密西西比河	3.6
西南太平洋	印度尼西亚河流(年降雨量高)	90.0

来自大型河流的沉积物也可能带来大量人为致污物, 对深渊带生物多样性造成不明影响(Davies和Moore, 1970年)。从大型河流涌入大陆边缘、斜坡和峡谷的有机物很容易通过各种过程抵达

深渊带, 可能会干扰和影响海底生物量和群落多样性。

**冰盖。**极地冰盖影响初级生产, 从而影响沉入深渊带的颗粒有机碳通量。永久冰盖会减少或阻止

表层生产,从而限制北冰洋的生物多样性和生物量,北冰洋已知多毛环节物种的丰度可能低于其他类似大小的海盆(Bodil等人,2011年)。夏季冰层消失可促进表层生产,增加生物多样性和生物量(Wlodarska-Kowalczyk和Pearson,2004年)。

**表2**  
海洋区域之间的连通性

连通性	开放 百万年前(大约)	封闭 资料来源
地中海/大西洋和印度洋(特提斯海道)	19-14	Harzhauser等人,2007
德雷克海峡	30	Lawver和Gahagan,2003年; Livermore等人,2007年; Scher和Martin,2006年
中美洲海道	3	Schmidt等人,2007年; O' Dea等人,2016年; Schmidt等人,2016年
白令海峡(北冰洋/太平洋)	4.8-7.4	Marincovich和Gladenkov,2001年; Hu等人,2012年
弗拉姆海峡(北冰洋/大西洋)	10-20	Engen等人,2008年; Ehlers和Jokat,2013年

资料来源: Yasuhara等人,2019年a。

## 2.4. 深渊带生物地理学

与大陆边缘底栖生物群聚之间存在的公认界限不同,这种深渊带生物地理界限是否存在仍不确定(Carney,2005年)。研究人员试图确立3 000米以下的生物地理区域。一些早期研究基于温度、地形或动物群的相似性,提出了大西洋、印度洋—太平洋、南极洋和北冰洋的区分;另一些人则将北冰洋和大西洋联系起来,或对这种联系提出质疑并将印度洋和太平洋分开,或提出更多的次区域(Menzies等人,1973年; Vinogradova,1979年,1997年; Carney,1994年)。

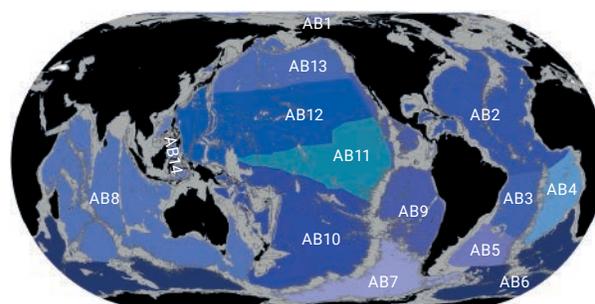
联合国教育、科学及文化组织发起的全球开阔洋和深海海底生物地理分类计划使用温度、盐度、溶解氧、碳通量、初级生产、水深测量和板块边界层等环境参数划分生物地理区域,从而将深渊带划分为14个区域(Briones等人,2009年)。<sup>1</sup>

最近提出的一项建议对14个深渊带域进行了修订(图五),增加了水文模式、颗粒有机碳通量、溶

**地质年代。**地质变化可能通过改变海洋区域之间的连通性(包括表2所示区域)影响深渊带生物多样性的分布。

解氧以及南极冷水和北大西洋暖水影响的权重(Watling等人,2013年)。

**图五**  
拟议的生物地理区域



- |                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| AB1: 北极海盆               | AB8: 印度洋              |
| AB2: 北大西洋               | AB9: 智利海盆、秘鲁海盆、危地马拉海盆 |
| AB3: 巴西海盆               | AB10: 南太平洋            |
| AB4: 安哥拉海盆、几内亚海盆、塞拉利昂海盆 | AB11: 赤道太平洋           |
| AB5: 阿根廷海盆              | AB12: 中北太平洋           |
| AB6: 东南极洋               | AB13: 北太平洋            |
| AB7: 西南极洋               | AB14: 西太平洋海盆          |

资料来源: 基于Watling等人,2013年。

<sup>1</sup> 见政府间海洋学委员会,《政府间海洋学委员会技术系列》,第84期(IOC/2009/TS/84及更正)。

## 2.5. 记录在案的深渊带生物多样性变化

### 2.5.1. 古生态学研究的证据

来自深海沉积物柱样的化石记录提供了仅有的跨度超过数十年的时间序列数据(Yasuhara等人, 2017年, 2019年b), 这些古生态学记录明确显示气候变化对深渊带生物多样性具有长期影响。在1 000年至10 000年的时间内, 深渊带多样性与底层水的温度正相关(Cronin和Raymo, 1997年; Cronin等人, 1999年; Yasuhara和Cronin, 2008年; Yasuhara和Danovaro, 2016年)。甚至在数十年至数百年的时间尺度上也出现了动态深水循环与相关温度的变化(Yashayaev等人, 2007年; Hoffmann等人, 2018年; Thornalley等人, 2018年; Yasuhara等人, 2019年b)。研究人员推断, 与深层带或更浅水层的生物和环境条件相比, 深渊带生物和环境条件具有很大的稳定性。在更长的时间尺度上, 化石数据显示, 现今的深海动物群形成于约1 300万年前的中新世时期(Thomas等人, 2000年; Thomas, 2007年)。在约3 700万年前始新世晚期形成的深海纬度多样性梯度至今仍然存在(Thomas和Gooday, 1996年)。

### 2.5.2. 来自长期观测站的证据

很少有长期研究方案有足够数据, 可以得出长期自然变化与人为变化对比关系的结论。而那些有足够数据的研究则表明, 表层生产与深海海底生物群落之间存在密切联系, 而且往往具有高度的动态性。这些研究表明, 在深渊带进行一次性或短期调查不能从机制上充分评估生物群落的变化, 特别是无法在深海管理的背景下进行评估。

## 3. 主要自然压力和人为压力

### 3.1. 自然压力

近底流、沉积物再悬浮或食物颗粒沉降等形式自然扰动可以显著改变底栖生物群落状况(Hessler和Jumars, 1974年; Snelgrove和Smith, 2002年)。在大西洋, 沉积物大规模下坡移动会影响有机物向邻近深海海盆的输送(Levin和Gooday, 2003年)。当盐度增加和冬季降温引起

自1989年以来, 加利福尼亚中部沿岸M站的监测研究认为, 表层海洋过程与深渊带的颗粒有机碳供应密切相关, 而深渊带波动会影响群落结构和过程。M站监测的深渊带群落的短期变化(Kuhnz等人, 2014年)与气候(厄尔尼诺/拉尼娜)的年际变化有关(Ruhl等人, 2014年), 但对长期后果知之甚少。在经历多年的食物供应不足后, 零星、密集的食物涌入深渊带可能会导致食物过剩。

**豪猪深海平原持续观测站。**自1989年以来, 在东北大西洋4 850米深处进行的持续观测提供了高分辨率的表层至海底数据。由于表层生产力和输出通量之间密切相关(Frigstad等人, 2015年), 群落和丰度随有机物输入的变化而发生显著转变(如Billett等人, 2001年)。这些转变(1989年至2005年)极大地改变了碳储存。大多数深渊带生物区系都对食物涌入、环境变化和竞争性相互作用作出反应(Gooday等人, 2010年; Kalogeropoulou等人, 2010年; Lampitt等人, 2010年; Soto等人, 2010年)。生物地球化学结果显示, 二氧化碳分压( $p\text{CO}_2$ )随人为二氧化碳排放量的增加而下降(Hartman等人, 2015年)。

**Hausgarten长期生态研究观测站。**来自观测站(始于1999年, 北极弗拉姆海峡水深250米至5 500米)的数据表明, 群落季节性压力与区域海冰和水动力条件有关(Soltwedel等人, 2005年、2016年)。15年的中上层和底栖数据表明, 整个生态系统对水体变化反应迅速。然而, 仍然不能确定这些趋势是否应归因于人为变化还是多年自然变化。

大量陆架水流经峡谷和斜坡向深渊带倾泻时, 也会出现类似过程(Carney, 2005年; Company等人, 2008年)。这种扰动可能会增加有机物向深渊带的输送(Canals等人, 2006年; Ulses等人, 2008年; Palanques等人, 2011年)。

同样, 不均匀的海底地形可以改变物种构成和丰度以及碳的再矿化率。鉴于太平洋深海丘陵数量

庞大且大陆沉积物供应有限, 这些丘陵很可能在太平洋深海群落和有机物循环中发挥重要作用 (Smith和Demopoulos, 2003年)。

## 3.2. 人为压力

### 3.2.1. 气候变化

气候变化将影响深渊带物理(如盐度、温度)、生物地球化学(营养物、二氧化碳、氧气、沉积物)和生物过程与功能(Mora等人, 2013年; Sweetman等人, 2017年)。在未来80年里, 深渊带温度可能会上升1°, 而到2100年, 深水形成区域以下的深渊带海底生境可能会经历水体氧浓度下降, 降幅可高达0.03毫升/升。这种变化可能会影响食物供应和沉积物输送(Cheung和Levin, 2019年; 联合国粮食及农业组织(粮农组织), 2019年)。气候引起的海洋环流和海水动态变化可能会改变深渊带生物幼虫在整个中上层的分布(一些深渊带类幼虫不会到达上层海洋), 进而影响深渊带的连通性。关于这些变化如何影响深洋生物群落的问题依然存在, 但在北太平洋开展的十年期研究显示二者之间存在显著联系(Ruhl等人, 2008年)。因此, 在评估气候变化的影响及其与其他人类活动的协同或累积效应时, 必须考虑深渊带生态系统的反应(Smith等人, 2008年; Levin和Le Bris, 2015年; Sweetman等人, 2017年)。

深渊带生态系统的食物有限, 这一性质表明, 从微生物到巨型动物等全体生物区系对浮游植物群落的结构与生产力变化以及输出通量的数量和质量

高度敏感(Ruhl和Smith, 2004年; Ruhl等人, 2008年; Billett等人, 2010年; Smith等人, 2013年)。气候变暖可能会增加海洋分层, 减少初级生产, 增加酸度, 改变主要浮游植物的群落结构, 导致深渊带主要区域(如赤道太平洋)的生物区系发生变化(Smith等人, 2008年; Levin等人, 2020年)。预测显示, 大多数大洋的深海海底有机物通量将显著下降(Sweetman等人, 2017年), 这与极地海洋水体产量和海底生物量增加的预测(Jones等人, 2014年)形成对比。最低含氧区的深度不断加深也是对深渊带水层环境的一个威胁。

### 3.2.2. 塑料和其他形式的污染

污染长期以来一直影响着深渊带(Chiba等人, 2018年)。即使在超过10 000米的海洋深处, 也发现了大量塑料碎片以及被有机污染物污染的底栖生物(见第11和12章)。很少有研究记录深渊带生物与碎片和其他污染物的相互作用, 但这一研究课题正迅速引起人们的兴趣。如《第一次评估》第24章第3节所述, 深渊带污染的其他例子还包括1983年之前倾倒的核废料(联合国, 2017年b)。

### 3.2.3. 采矿

过去数十年来, 人们对深渊带矿产储量的兴趣大增。未来开采多金属结核、富钴结壳和多金属硫化物等形式海底矿物会直接和间接对深渊带及底栖生物群落构成重大潜在威胁(Christiansen等人, 2020年)。本评估报告第18章讨论了与海底采矿有关的环境、社会和经济因素。

**表 3**  
深渊带海底和深渊带对气候变化引起的环境驱动因素和压力的敏感性

	深渊带海底影响	深渊带影响
温度、酸度、盐度和氧气模式的变化	中到高	低
海平面的变化	低 (通过地形影响)	低 (通过地形影响)
风暴强度和极端事件强度的变化	低	低
紫外线辐射的变化	低, 间接通过海底水层耦合	低, 间接通过底层—中上层耦合
海洋在物理和化学方面的变化	低	低
食物输入	中到高	中到高

### 3.2.4. 深渊带生物多样性面临的人为压力

虽然深海平原上的生物勘探和石油开采活动目前很少，但却对深渊带和底栖生境的健康构成新的威胁。如果在国内和国际层面上管理不善，公海商业捕鱼和渔业养殖活动也可能威胁深渊带的多样

性。对这两类活动管理不善会减少猎物数量，影响下沉食物通量，破坏生物多样性，包括破坏目标资源和非目标资源。尽管深海平原上的生物勘探和石油开采活动目前很少，但却对深渊带环境构成新的威胁。

**表4**

**深渊带生态系统服务面临的威胁和压力及其在深渊带的重要性**

	深海平原威胁	深渊带威胁
<b>供给服务</b>		
渔业	目前无	目前无
石油和天然气	目前有一些；还通过陆架和深层带活动扩散产生间接影响	目前无，但通过陆架和深层带活动扩散产生间接影响
甲烷储量/天然气水合物开采潜力	墨西哥湾，可能还有其他地区	不适用
用于未来碳捕获和处置的氢气生成和海底浅层储存	目前未知	不适用
采矿(富金属沉积物、多金属结核、稀土金属、块状硫化物)	未来中至高(潜在)	未来中至高(潜在)，由采矿废物和处理废水排放造成
废物处置	高(广泛)	中至高(存在)
生物勘探	存在，可能高	可能高，未知
军事活动和和使用	未知	未知
其他能源供给	目前无	目前无
<b>支持服务</b>		
生境	低至中，未来高	低至中，未来高
营养物循环	中	中
水的循环与交换	中	中
化学合成初级生产	中	中
复原力	高	高
<b>调节服务</b>		
天然气和气候调节	中	中
废物吸收与解毒	中	中
生物调节	中	中
营养物循环	中	中
<b>文化服务</b>		
科学知识	中	中
教育价值	中	中
经济益处	可能高	可能高
美学、启发、伦理、本土价值	高	高
深海沉积物中的气候记录	中	不适用

## 4. 变化对人类社区、经济和福祉的影响

深洋显然遥远且条件恶劣，但深洋通过在区域和全球尺度上的生态系统功能与服务对人类社会经济福祉发挥着至关重要的作用(Van den Hove和Moreau, 2007年; Armstrong等人, 2012年; Thurber等人, 2014年; 表3和表4)。

### 4.1. 对深渊带生态系统服务的影响

与其他深海生境相比，深海平原提供的生态系统服务的种类有限，但体量和影响都很重要。很少有像矿产资源这样的深渊带服务可以直接造福人类，但大多数深渊带环境支持着驱动深海和全球生态系统及地球气候系统运作的各种进程，尺度之大，影响整个地球系统。

## 5. 展望

深渊带生态系统仍有许多未知领域，但相关研究在过去十年大幅增加，特别是考虑到对深海采矿的兴趣越来越大，预计会有更多研究。联合国海洋科学促进可持续发展十年(2021–2030年)也包括更多深海研究计划。

为开采多金属结核而出现的潜在深海海底采矿活动对深渊带生态系统构成风险。不过，目前勘探活动中收集的数据可能会在今后10年内增进若干区域深海的知識。研究人员经常感叹，大多数深渊带动物的生物多样性分类数据严重缺失。收集此类数据的工作正在进行，但需要更多时间和资源(Glover等人, 2018年)。

研究表明深渊带对气候变化敏感。尽管很难预测未来10至20年气候变化的准确影响，但可以预期将出现温度上升、氧浓度下降、霰石饱和和水平线变浅以及底层—中上层耦合发生改变的情况(Rogers, 2015年; Sweetman等人, 2017年)。考虑

## 6. 知识方面仍然存在的主要差距

尽管最近在关于深渊带生态系统的知识方面取得了进展，但在深渊带生物多样性、演化、生物地理

“生物泵”通过加速碳、营养物和其他化合物从表层水向深海的转移，提供了深渊带最重要的支持和调节生态系统服务。动物群、营养链或群落组成的改变或水团的物理变化(如分层、变暖、脱氧、酸化)，都会破坏相关的生物过程，通过底层—中上层耦合对深渊带产生影响。低氧、酸化或温度升高造成的压力可以通过改变生物体的耐受力降低物种和生态系统的复原力(Pörtner和Farrell, 2008年; Pörtner, 2010年)，从而延缓物种和生态系统从海底采矿等人类活动造成的干扰中恢复。气候变化的影响可能会加剧人为影响，损害深海生态系统的结构和功能，并最终减损给人类带来的益处(Mora等人, 2013年)。

到生物的生长速度缓慢，以及它们很好地适应了寒冷、高压、稳定和食物匮乏的深渊带条件，各种预测的变化对深渊带群落的影响可能比对浅层的影响更为严重。预测显示，在大多数海洋中，流向深海海底的有机物通量将显著减少，这对深渊带来说可能是一个尤为严重的问题。今后的研究将加强关于深渊带生物多样性的知识，并使我们更好地认知气候变化和人类活动将如何影响深渊带生态系统。

全球范围内对深渊带环境的保护可能加强。《生物多样性公约》关于具有重要生态或生物意义的海洋区域分类(生物多样性公约秘书处, 2008年)包括深渊带环境，而且正在通过国际海底管理局关于海底采矿的区域环境管理计划以及旨在管理国家管辖范围以外生物多样性的新立法作出进一步努力。

学、分布、连通性以及对不断变化的条件和人为影响的反应方面还存在许多认知差距。

目前关于深海平原动物群的分类、自然史和生物多样性的知识不足,限制了环境影响监测,也表明需要进行可提供物种清单和数量的基线研究。计划矿区中95%以上的物种没有记录,说明目前的监测规程不够充分。尽管正在努力创建必要的动物目录和分类学知识(Dahlgren等人, 2016年; Glover等人, 2016年b; Wiklund等人, 2017年),但未来的有效监测需要持续的资源。

对深渊带硬底生境的研究很少,虽然有一些关于巨型动物的资料,但几乎没有相关微生物、原生动、小型动物或大型动物的资料。

仍有大片的深渊带海底区域完全未经采样。国际数据库(如海洋生物多样性信息系统)的记录显示,

尤其是南太平洋,以及很深的印度洋和孟加拉湾的采样严重不足。

关于深渊带物种地理范围、连通性模式或集体对气候压力因素或人类直接干扰的复原力的知识有限。这些信息对于有效管理人类活动以维持深海生物多样性至关重要。此外,没有充分总结深渊带对生态系统货物与服务的贡献,因此难以获取适当工具充分评估人类获益(Jobstvogt等人, 2014年a、2014年b; Thurber等人, 2014年)。

缺乏如何管理这一广阔多变且几乎全部位于国家管辖范围之外空间所受人影响的文献资料,这可能是唯一最重要的知识差距。

## 参考资料

- Amon, Diva J., and others (2016a). Insights into the abundance and diversity of abyssal megafauna in a polymetallic-nodule region in the eastern Clarion-Clipperton Zone. *Scientific Reports*, vol. 6, art. 30492.
- Amon, Diva J., and others (2016b). Observations of organic falls in the abyssal Clarion-Clipperton Zone, tropical eastern Pacific Ocean. *Marine Biodiversity*. <https://doi.org/10.1007/s12526-016-0572-4>.
- Amon, Diva J., and others (2017a). Megafauna of the UKSRL exploration contract area and eastern Clarion-Clipperton Zone in the Pacific Ocean: Annelida, Arthropoda, Bryozoa, Chordata, Ctenophora, Mollusca. Jeffrey C. Drazen and others, eds. *Biodiversity Data Journal*, vol. 5, e14598. <https://doi.org/10.3897/BDJ.5.e14598>.
- Amon, Diva J., and others (2017b). Megafauna of the UKSRL exploration contract area and eastern Clarion-Clipperton Zone in the Pacific Ocean: Echinodermata. *Biodiversity Data Journal*, vol. 5, e11794. <https://doi.org/10.3897/BDJ.5.e11794>.
- Armstrong, Claire W., and others (2012). Services from the deep: Steps towards valuation of deep sea goods and services. *Ecosystem Services*, vol. 2, pp. 2–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.001>.
- Atwood T.B., and others (2020) Global Patterns in Marine Sediment Carbon Stocks. *Frontiers in Marine Science*, vol. 7, art. 165. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00165>.
- Baco, Amy R., and others (2016). A synthesis of genetic connectivity in deep-sea fauna and implications for marine reserve design. *Molecular Ecology*, vol. 25, No. 14, pp. 3276–3298.
- Billett, D.S.M., and others (2001). Long-term change in the megabenthos of the Porcupine Abyssal Plain (NE Atlantic). *Progress in Oceanography*, vol. 50, Nos. 1–4, pp. 325–348.
- Billett, D.S.M., and others (2010). Long-term change in the abyssal NE Atlantic: The ‘Amperima Event’ revisited. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 57, No. 15, pp. 1406–1417.
- Bodil, Bluhm A., and others (2011). Diversity of the arctic deep-sea benthos. *Marine Biodiversity*, vol. 41, No. 1, pp. 87–107. <https://doi.org/10.1007/s12526-010-0078-4>.
- Bouef, Dominique, and others (2019). Biological composition and microbial dynamics of sinking particulate organic matter at abyssal depths in the oligotrophic open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 116, No. 24, pp. 11824–11832.

- Brandt, Angelika, and others (2006). The biodiversity of the deep Southern Ocean benthos. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 362, No. 1477, pp. 39–66.
- Briones, Elva Escobar, and others (2009). Global open oceans and deep seabed (GOODS) biogeographic classification. IOC Technical Series No. 84, UNESCO-IOC.
- Canals, Miquel, and others (2006). Flushing submarine canyons. *Nature*, vol. 444, No. 7117, p. 354.
- Carney, Robert S. (1994). Consideration of the oasis analogy for chemosynthetic communities at Gulf of Mexico hydrocarbon vents. *Geo-Marine Letters*, vol. 14, Nos. 2–3, pp. 149–159.
- \_\_\_\_\_ (2005). Zonation of deep biota on continental margins. In *Oceanography and Marine Biology*, pp. 221–288. CRC Press.
- Cavan, E.L., and others (2015). Attenuation of particulate organic carbon flux in the Scotia Sea, Southern Ocean, is controlled by zooplankton fecal pellets. *Geophysical Research Letters*, vol. 42, No. 3, pp. 821–830.
- Chapman, Abbie S.A., and others (2019). sFDvent: A global trait database for deep-sea hydrothermal-vent fauna. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 28, No. 11, pp. 1538–1551. <https://doi.org/10.1111/geb.12975>.
- Cheung, William, and Lisa Levin (2019). Ecosystem considerations. In *Deep-Ocean Climate Change Impacts on Habitat, Fish and Fisheries*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 638. Rome.
- Chiba, S., and others (2018). Human footprint in the abyss: 30 year records of deep-sea plastic debris. *Marine Policy*, vol. 96, pp. 204–212.
- Christiansen, B., and others (2020). Potential effects of deep seabed mining on pelagic and benthopelagic biota. *Marine Policy*, vol. 114, 103442.
- Christodoulou, Magdalini, and others (2019). Dark Ophiuroid Biodiversity in a Prospective Abyssal Mine Field. *Current Biology*, vol. 29, No. 22, pp. 3909–3912.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.09.012>.
- Company, Joan B., and others (2008). Climate influence on deep sea populations. *PLoS One*, vol. 3, No. 1, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001431>.
- Cronin, Thomas M., and Maureen E. Raymo (1997). Orbital forcing of deep-sea benthic species diversity. *Nature*, vol. 385, No. 6617, p. 624.
- Cronin, Thomas M., and others (1999). Deep-sea ostracode species diversity: response to late Quaternary climate change. *Marine Micropaleontology*, vol. 37, Nos. 3–4, pp. 231–249.
- Dahlgren, Thomas G., and others (2016). Abyssal fauna of the UK-1 polymetallic nodule exploration area, Clarion-Clipperton Zone, central Pacific Ocean: Cnidaria. *Biodiversity Data Journal*, No. 4.
- Davies, David K., and W. Richard Moore (1970). Dispersal of Mississippi sediment in the Gulf of Mexico. *Journal of Sedimentary Research*, vol. 40, No. 1.
- Durden, Jennifer M., and others (2015). Abyssal hills – hidden source of increased habitat heterogeneity, benthic megafaunal biomass and diversity in the deep sea. *Progress in Oceanography*, vol. 137, pp. 209–218.
- Dutkiewicz, Adriana, and others (2015). Census of seafloor sediments in the world's ocean. *Geology*, vol. 43, No. 9, pp. 795–798.
- Ehlers, Birte-Marie, and Wilfried Jokat (2013). Paleo-bathymetry of the northern North Atlantic and consequences for the opening of the Fram Strait. *Marine Geophysical Research*, vol. 34, No. 1, pp. 25–43.
- Engen, Øyvind, and others (2008). Opening of the Fram Strait gateway: A review of plate tectonic constraints. *Tectonophysics*, vol. 450, Nos. 1–4, pp. 51–69.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2019). *Deep-Ocean Climate Change Impacts on Habitat, Fish and Fisheries*. Fisheries and Aquaculture Technical Paper 638. Rome.
- Frigstad, H., and others (2015). Links between surface productivity and deep ocean particle flux at the Porcupine Abyssal Plain sustained observatory. *Biogeosciences*, vol. 12, No. 19, pp. 5885–5897.

- Gage, John D., and Paul A. Tyler (1991). *Deep-Sea Biology: A Natural History of Organisms at the Deep-Sea Floor*. Cambridge University Press.
- Gebbie, G., and P. Huybers (2019). The Little Ice Age and 20th-century deep Pacific cooling. *Science*, vol. 363, No. 6422, pp. 70–74.
- Glover, Adrian G., and others (2002). Polychaete species diversity in the central Pacific abyss: local and regional patterns, and relationships with productivity. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 240, pp. 157–170.
- Glover, Adrian G., and others (2016a). Abyssal fauna of the UK-1 polymetallic nodule exploration claim, Clarion-Clipperton Zone, central Pacific Ocean: Echinodermata. *Biodiversity Data Journal*, No. 4.
- Glover, Adrian G., and others (2016b). An end-to-end DNA taxonomy methodology for benthic biodiversity survey in the Clarion-Clipperton Zone, central Pacific abyss. *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 4, No. 1, art. 2.
- Glover, Adrian G., and others (2018). Point of View: Managing a sustainable deep-sea 'blue economy' requires knowledge of what actually lives there. *ELife*, vol. 7, e41319.
- Gooday, Andrew J., and others (2010). Decadal-scale changes in shallow-infaunal foraminiferal assemblages at the Porcupine Abyssal Plain, NE Atlantic. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 57, No. 15, pp. 1362–1382.
- Griffiths, Huw J. (2010). Antarctic marine biodiversity – what do we know about the distribution of life in the Southern Ocean? *PloS One*, vol. 5, No. 8, e11683.
- Hartman, S.E., and others (2015). Biogeochemical variations at the Porcupine Abyssal Plain sustained Observatory in the northeast Atlantic Ocean, from weekly to inter-annual timescales. *Biogeosciences*, vol. 12, No. 3, pp. 845–853.
- Harzhauser, Mathias, and others (2007). Biogeographic responses to geodynamics: a key study all around the Oligo–Miocene Tethyan Seaway. *Zoologischer Anzeiger*, vol. 246, No. 4, pp. 241–256.
- Hessler, Robert R., and Peter A. Jumars (1974). Abyssal community analysis from replicate cores in the central North Pacific. In *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, vol. 21, pp. 185–209. Elsevier.
- Hoffmann, Sharon S., and others (2018). Evidence for stable Holocene basin-scale overturning circulation despite variable currents along the deep western boundary of the North Atlantic Ocean. *Geophysical Research Letters*, vol. 45, No. 24, pp. 13,427–13,436.
- Houghton, Isabel A., and John O. Dabiri (2019). Alleviation of hypoxia by biologically generated mixing in a stratified water column. *Limnology and Oceanography*, vol. 64, No. 5, pp. 2161–2171. <https://doi.org/10.1002/lno.11176>.
- Howell, Kerry L., and others (2003). Feeding ecology of deep-sea seastars (Echinodermata: Asteroidea): a fatty-acid biomarker approach. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 255, pp. 193–206.
- Hu, Aixue, and others (2012). The Pacific-Atlantic seesaw and the Bering Strait. *Geophysical Research Letters*, vol. 39, No. 3.
- Hunt, Gene, and others (2005). Species-energy relationship in the deep sea: a test using the Quaternary fossil record. *Ecology Letters*, vol. 8, No. 7, pp. 739–747.
- Ingels, Jeroen, and others (2010). Preferred use of bacteria over phytoplankton by deep-sea nematodes in polar regions. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 406, pp. 121–133.
- Jobstvogt, Niels, and others (2014a). How can we identify and communicate the ecological value of deep-sea ecosystem services? *PloS One*, vol. 9, No. 7, e100646.
- Jobstvogt, Niels, and others (2014b). Twenty thousand sterling under the sea: estimating the value of protecting deep-sea biodiversity. *Ecological Economics*, vol. 97, pp. 10–19.
- Jones, Daniel O.B., and others (2014). Global reductions in seafloor biomass in response to climate change. *Global Change Biology*, vol. 20, No. 6, pp. 1861–1872.

- Kalogeropoulou, V., and others (2010). Temporal changes (1989–1999) in deep-sea metazoan meiofaunal assemblages on the Porcupine Abyssal Plain, NE Atlantic. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 57, No. 15, pp. 1383–1395.
- Kuhnz, Linda A., and others (2014). Rapid changes and long-term cycles in the benthic megafaunal community observed over 24 years in the abyssal northeast Pacific. *Progress in Oceanography*, vol. 124, pp. 1–11.
- Lampitt, R.S., and A.N. Antia (1997). Particle flux in deep seas: regional characteristics and temporal variability. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 44, No. 8, pp. 1377–1403.
- Lampitt, R.S., and others (2010). The sustained observatory over the Porcupine Abyssal Plain (PAP): Insights from time series observations and process studies (preface). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 57, No. 15, pp. 1267–1271.
- Lawver, Lawrence A., and Lisa M. Gahagan (2003). Evolution of Cenozoic seaways in the circum-Antarctic region. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 198, Nos. 1–2, pp. 11–37.
- Levin, Lisa A. (2003). Oxygen minimum zone benthos: Adaptation and community response to hypoxia. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, vol. 41, pp. 1–45.
- Levin, Lisa A., and Andrew J. Gooday (2003). The deep Atlantic Ocean. In *Ecosystems of the World*, pp. 111–178. Elsevier.
- Levin, Lisa A., and Nadine Le Bris (2015). The deep ocean under climate change. *Science*, vol. 350, No. 6262, pp. 766–768.
- Levin, Lisa A., and others (2020). Climate change considerations are fundamental to management of deep-sea resource extraction. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.15223>.
- Livermore, Roy, and others (2007). Drake Passage and Cenozoic climate: An open and shut case? *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol. 8, No. 1.
- Lutz, Michael J., and others (2007). Seasonal rhythms of net primary production and particulate organic carbon flux to depth describe the efficiency of biological pump in the global ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 112, No. C10.
- Marincovich, Louie, Jr., and Andrey Y. Gladenkov (2001). New evidence for the age of Bering Strait. *Quaternary Science Reviews*, vol. 20, Nos. 1–3, pp. 329–335.
- Marsh, Leigh, and others (2018). Geomorphological evidence of large vertebrates interacting with the seafloor at abyssal depths in a region designated for deep-sea mining. *Royal Society Open Science*, vol. 5, No. 8, 180286.
- McCave, Ian Nicholas (2017). Formation of sediment waves by turbidity currents and geostrophic flows: a discussion. *Marine Geology*, vol. 390, pp. 89–93.
- McClain, Craig R., and others (2011). Dispersal, environmental niches and oceanic-scale turnover in deep-sea bivalves. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 279, No. 1735, pp. 1993–2002.
- McClain, Craig R., and others (2012a). Energetics of life on the deep seafloor. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 109, No. 38, pp. 15366–15371.
- McClain, Craig R., and others (2012b). Increased energy promotes size-based niche availability in marine mollusks. *Evolution: International Journal of Organic Evolution*, vol. 66, No. 7, pp. 2204–2215.
- McClain, Craig R., and Sarah Mincks Hardy (2010). The dynamics of biogeographic ranges in the deep sea. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 277, No. 1700, pp. 3533–3546.
- McClain, Craig R., and Thomas A. Schlacher (2015). On some hypotheses of diversity of animal life at great depths on the sea floor. *Marine Ecology*, vol. 36, No. 4, pp. 849–872.
- Menzies, Robert James, and others (1973). Abyssal environment and ecology of the world oceans.
- Mestre, Mireia, and others (2018). Sinking particles promote vertical connectivity in the ocean microbiome. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, No. 29, pp. E6799–E6807.

- Mora, Camilo, and others (2013). Biotic and human vulnerability to projected changes in ocean biogeochemistry over the 21st century. *PLoS Biology*, vol. 11, No. 10, e1001682.
- O’Dea, Aaron, and others (2016). Formation of the Isthmus of Panama. *Science Advances*, vol. 2, No. 8, e1600883.
- O’Hara, Timothy D., and others (2019). Contrasting processes drive ophiuroid phylodiversity across shallow and deep seafloors. *Nature*, vol. 565, No. 7741, p. 636.
- Palanques, Albert, and others (2011). Effects of storm events on the shelf-to-basin sediment transport in the southwestern end of the Gulf of Lions (Northwestern Mediterranean).
- Pörtner, Hans-O., and Anthony P. Farrell (2008). Physiology and climate change. *Science*, vol. 322, No. 5902, pp. 690–692.
- Pörtner, H-O. (2010). Oxygen- and capacity-limitation of thermal tolerance: a matrix for integrating climate-related stressor effects in marine ecosystems. *Journal of Experimental Biology*, vol. 213, No. 6, pp. 881–893.
- Rex, Michael A., and Ron J. Etter (2010). *Deep-Sea Biodiversity: Pattern and Scale*. Harvard University Press.
- Robison, Bruce H. (2009). Conservation of deep pelagic biodiversity. *Conservation Biology*, vol. 23, No. 4, pp. 847–858.
- Rogers, Alex David (2015). Environmental change in the deep ocean. *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 40, pp. 1–38.
- Ruhl, Henry A., and Kenneth L. Smith (2004). Shifts in deep-sea community structure linked to climate and food supply. *Science*, vol. 305, No. 5683, pp. 513–515.
- Ruhl, Henry A., and others (2014). Links between deep-sea respiration and community dynamics. *Ecology*, vol. 95, No. 6, pp. 1651–1662.
- Ruhl, Henry A., and others (2008). Connections between climate, food limitation, and carbon cycling in abyssal sediment communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 105, No. 44, pp. 17006–17011.
- Sardà, Francisco, and others (2004). An introduction to Mediterranean deep-sea biology. *Scientia Marina*, vol. 68, No. S3, pp. 7–38.
- Scher, Howie D., and Ellen E. Martin (2006). Timing and climatic consequences of the opening of Drake Passage. *Science*, vol. 312, No. 5772, pp. 428–430.
- Schmidt, Daniela N., and others (2007). The closure history of the Central American seaway: evidence from isotopes and fossils to models and molecules. *Deep Time Perspectives on Climate Change Marrying the Signal from Computer Models and Biological Proxies: London, Geological Society of London*, pp. 427–442.
- Schmidt, Daniela N., and others (2016). Morphological response of planktic foraminifers to habitat modifications associated with the emergence of the Isthmus of Panama. *Marine Micropaleontology*, vol. 128, pp. 28–38.
- Shulse, Christine N., and others (2017). Polymetallic nodules, sediments, and deep waters in the equatorial North Pacific exhibit highly diverse and distinct bacterial, archaeal, and microeukaryotic communities. *Microbiology Open*, vol. 6, No. 2, e00428.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2008). *Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity, Decision IX/20. Marine and Coastal Biodiversity. UNEP/CBD/COP/DEC/IX/20. Annex I. Scientific Criteria for Identifying Ecologically or Biologically Significant Marine Areas in Need of Protection in Open-Ocean Waters and Deep-Sea Habitats*.
- Simon-Lledó, Erik, and others (2019a). Ecology of a polymetallic nodule occurrence gradient: Implications for deep-sea mining. *Limnology and Oceanography*, vol. 64, No. 5, pp. 1883–1894. <https://doi.org/10.1002/lno.11157>.

- Simon-Lledó, Erik, and others (2019b). Megafaunal variation in the abyssal landscape of the Clarion Clipperton Zone. *Progress in Oceanography*, vol. 170, pp. 119–133.
- Smith, Craig R., and others (2008). Abyssal food limitation, ecosystem structure and climate change. *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 23, No. 9, pp. 518–528.
- Smith, Craig R., and Amanda W.J. Demopoulos (2003). The deep Pacific ocean floor. In *Ecosystems of the World*, pp. 179–218.
- Smith, Kenneth L., Jr., and others (2009). Climate, carbon cycling, and deep-ocean ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 106, No. 46, pp. 19211–19218.
- Smith, Kenneth L., Jr., and others (2013). Deep ocean communities impacted by changing climate over 24 y in the abyssal northeast Pacific Ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, No. 49, pp. 19838–19841.
- Snelgrove, Paul V.R., and C.R. Smith (2002). A riot of species in an environmental calm: the paradox of the species-rich deep-sea floor. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, vol. 40, pp. 311–42.
- Soltwedel, Thomas, and others (2005). HAUSGARTEN: multidisciplinary investigations at a deep-sea, long-term observatory in the Arctic Ocean. *Oceanography*, vol. 18, No. 3.
- Soltwedel, Thomas, and others (2016). Natural variability or anthropogenically-induced variation? Insights from 15 years of multidisciplinary observations at the arctic marine LTER site HAUSGARTEN. *Ecological Indicators*, vol. 65, pp. 89–102.
- Somero, G.N. (1992). Biochemical ecology of deep-sea animals. *Experientia*, vol. 48, No. 6, pp. 537–543.
- Soto, Eulogio H., and others (2010). Temporal variability in polychaete assemblages of the abyssal NE Atlantic Ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 57, No. 15, pp. 1396–1405.
- Stramma, Lothar, and others (2010). Ocean oxygen minima expansions and their biological impacts. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 57, No. 4, pp. 587–595.
- Suttle, Curtis A. (2005). Viruses in the sea. *Nature*, vol. 437, No. 7057, p. 356.
- Sweetman, Andrew K., and others (2017). Major impacts of climate change on deep-sea benthic ecosystems. *Elementa: Science of the Anthropocene*, vol. 5, art. 4.
- Taboada, Sergi, and others (2018). Implications of population connectivity studies for the design of marine protected areas in the deep sea: an example of a demosponge from the Clarion-Clipperton Zone. *Molecular Ecology*, vol. 27, No. 23, pp. 4657–4679.
- Thomas, Ellen (2007). Cenozoic mass extinctions in the deep sea: what perturbs the largest habitat on Earth? In *Large Ecosystem Perturbations: Causes and Consequences*, Simonetta Monechi, and others, eds. Geological Society of America, vol. 424. [https://doi.org/10.1130/2007.2424\(01\)](https://doi.org/10.1130/2007.2424(01)).
- Thomas, Ellen, and Andrew J. Gooday (1996). Cenozoic deep-sea benthic foraminifers: tracers for changes in oceanic productivity? *Geology*, vol. 24, No. 4, pp. 355–358.
- Thomas, Ellen, and others (2000). Deep-sea environments on a warm earth: latest Paleocene-early Eocene. In *Warm Climates in Earth History*, eds. Brian T. Huber and others, pp. 132–160. Cambridge University Press.
- Thornalley, David J.R., and others (2018). Anomalously weak Labrador Sea convection and Atlantic overturning during the past 150 years. *Nature*, vol. 556, No. 7700, p. 227.
- Thurber, Andrew R., and others (2014). Ecosystem function and services provided by the deep sea. *Biogeosciences*, vol. 11, No. 14, pp. 3941–3963.
- Ulses, C., and others (2008). Impact of storms and dense water cascading on shelf-slope exchanges in the Gulf of Lion (NW Mediterranean). *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 113, No. C2. <https://doi.org/10.1029/2006JC003795>.

- United Nations (2017a). Chapter 1: Introduction – Planet, oceans and life. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2017b). Chapter 24: Solid waste disposal. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2017c). Chapter 36F: Open ocean deep sea. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2017d). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Van den Hove, Sybille, and Vincent Moreau (2007). *Deep-Sea Biodiversity and Ecosystems: A Scoping Report on Their Socio-Economy, Management and Governanace*. UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 184. UNEP/Earthprint.
- Vanreusel, Ann, and others (2016). Threatened by mining, polymetallic nodules are required to preserve abyssal epifauna. *Scientific Reports*, vol. 6, art. 26808.
- Vinogradova, Nina G. (1979). The geographical distribution of the abyssal and hadal (ultra-abyssal) fauna in relation to the vertical zonation of the ocean. *Sarsia*, vol. 64, Nos. 1–2, pp. 41–50.
- \_\_\_\_\_ (1997). Zoogeography of the abyssal and hadal zones. In *Advances in Marine Biology*, vol. 32, pp. 325–387. Elsevier.
- Watling, Les, and others (2013). A proposed biogeography of the deep ocean floor. *Progress in Oceanography*, vol. 111, pp. 91–112.
- Webb, Thomas J., and others (2010). Biodiversity's big wet secret: the global distribution of marine biological records reveals chronic under-exploration of the deep pelagic ocean. *PLoS One*, vol. 5, No. 8, e10223.
- Wei, Chih-Lin, and others (2010). Global patterns and predictions of seafloor biomass using random forests. *PloS One*, vol. 5, No. 12, e15323.
- Wiklund, Helena, and others (2017). Abyssal fauna of the UK-1 polymetallic nodule exploration area, Clarion-Clipperton Zone, central Pacific Ocean: Mollusca. *ZooKeys*, vol. 707, pp. 1–46. <https://doi.org/10.3897/zookeys.707.13042>.
- Wiklund, Helena, and others (2019). Abyssal fauna of polymetallic nodule exploration areas, eastern Clarion-Clipperton Zone, central Pacific Ocean: Annelida: Capitellidae, Opheliidae, Scalibregmatidae, and Traviidae. *ZooKeys*, vol. 883, pp. 1–82. <https://doi.org/10.3897/zookeys.883.36193>.
- Wlodarska-Kowalczyk, Maria, and Thomas H. Pearson (2004). Soft-bottom macrobenthic faunal associations and factors affecting species distributions in an Arctic glacial fjord (Kongsfjord, Spitsbergen). *Polar Biology*, vol. 27, No. 3, pp. 155–167.
- Woolley, Skipton N.C., and others (2016). Deep-sea diversity patterns are shaped by energy availability. *Nature*, vol. 533, No. 7603, p. 393.
- Yashayaev, Igor, and others (2007). Spreading of the Labrador Sea Water to the Irminger and Iceland basins. *Geophysical Research Letters*, vol. 34, No. 10.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2017). Combining marine macroecology and palaeoecology in understanding biodiversity: microfossils as a model. *Biological Reviews*, vol. 92, No. 1, pp. 199–215.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2018). Marine biodiversity in space and time: what tiny fossils tell. *Mètode Science Studies Journal - Annual Review*. <https://doi.org/10.7203/metode.9.11404>.
- Yasuhara, Moriaki, and others (2019a). Quaternary deep-sea ostracods from the north-western Pacific Ocean: global biogeography and Drake-Passage, Tethyan, Central American and Arctic pathways. *Journal of Systematic Palaeontology*, vol. 17, No. 2, pp. 91–110. <https://doi.org/10.1080/14772019.2017.1393019>.

- Yasuhara, Moriaki, and others (2019b). North Atlantic intermediate water variability over the past 20,000 years. *Geology*, vol. 47, No. 7, pp. 659–63. <https://doi.org/10.1130/G46161.1>.
- Yasuhara, Moriaki, and Thomas M. Cronin (2008). Climatic influences on deep-sea ostracode (Crustacea) diversity for the last three million years. *Ecology*, vol. 89, No. sp11, pp. S53–S65.
- Yasuhara, Moriaki, and Roberto Danovaro (2016). Temperature impacts on deep-sea biodiversity. *Biological Reviews*, vol. 91, No. 2, pp. 275–287.
- Yesson, Chris, and others (2011). The global distribution of seamounts based on 30 arc seconds bathymetry data. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 58, No. 4, pp. 442–453.



# 第 7N 章

## 开阔洋

撰稿人：Peter Croot (召集人)、Osman Keh Kamara、Joseph Montoya、Tracy T. Sutton和Michael Vecchione。



## 主旨要点

- 全球变暖已经影响到开阔洋, 未来海洋热浪的频率和强度可能会增加。
- 气候变化引起开阔洋生物泵变化, 进而改变海洋吸收人为碳排放的能力。
- 开阔洋脱氧已经导致某些大洋水层物种生境压缩, 随之影响它们在海洋中的垂直和水平分布。
- 来自陆地的塑料垃圾通量不断增加, 影响着开阔洋的生态系统。
- 由于对大洋较深水层(例如中层带和深层带)环境的取样和了解很少, 因此存在严重的知识差距。

## 1. 导言

### 1.1. 主题范围

《第一次世界海洋评估》(联合国, 2017年a)第36F章包含对大陆架(200米深)以外开阔洋(大洋区)和深海(底栖区)生态系统的评估。评估此次更新后, 底栖生态系统单独开列, 本章只侧重于整个水柱的水层。

此前, 《第一次评估》(联合国, 2017b)报告说, 尽管开阔洋相对难以进入, 但它提供了基本的海洋生态系统货物和服务。此外, 大洋水域的矿物、能源和生物资源有巨大潜力, 不过, 在空间和时间上就大洋区矿物、能源和生物资源开展的研究薄弱, 由于对生物多样性和生态系统功能的了解很少, 养护问题相当复杂。

### 1.2. 大洋水层区

构建大洋水层区生态系统的主要物理驱动因素是深度和压力、光照、温度、营养盐输入(例如氮、铁)、溶解氧和洋流。开阔洋表层(浅层带, 深达200米)的定义是, 有足够的阳光透过, 可支持初级生产。在这一区带下方是中层带或黄昏带, 一般从表层带的底部向下延伸至大约1 000米深处, 即阳光能穿透的最大深度和永久温跃层的底部。对于生物泵的两个关键要素——活跃的垂直迁移和自海面下沉的有机物的微生物降解, 中层带很重要(Robinson等人, 2010年)。由于中层带游泳动物生物量估计值增加, 深海生物每天在中层带和浅层

带之间的往返垂直迁移日益被认为是碳通量的驱动因素(Irigoien等人, 2014年)。

地球上最大的生态系统在深层带, 这是一个黑暗、寒冷(0-5°C)的区域, 位于水下1 000至4 000米, 将近占大洋体积的75%(Costello等人, 2010年)。由于如下多种因素的综合影响, 对大洋水层深处的观测和采样不足。(a) 利用开阔洋取样平台获取深水样本的机会有限; (b) 涉及的大洋体积大; (c) 种群广泛分散。虽然关于中层带生态系统的数据库正在改善, 但是对位于包括深层带、深渊带(4 000-6 000米)和超深渊带(>6 000米)在内的较深区带的生物知之甚少。初步结果表明, 物种的总体多样性可能低于其他生态系统, 尽管新的微生物研究表明, 深海的多样性很强。调查显示, 不仅在中层带中和在浅层带中有横向连通性, 开阔洋的较深区带中也有横向连通性(Sutton, 2013年)。

甲壳类(例如桡足类、端足类、介形类)是深洋浮游动物丰度和物种数量的重要贡献者。胶质动物, 例如樽海鞘、水母和群落动物管水母, 也十分重要。较大的生物包括多种鱼、鲨、甲壳类动物(例如虾、磷虾)和头足类动物(例如乌贼)。根据声学测量估算的生物量表明, 过去可能严重低估了中层带鱼类。中层带鱼类可能约有100亿至150亿吨, 其呼吸要消耗高达10%的初级生产量(Irigoien等人, 2014年)。大洋较深水层鱼类生物量可能占地球上鱼类生物量的绝大多数(Sutton, 2013年)。这

些物种也是哺乳动物(齿鲸和海豹)、金枪鱼、海鸟和深海近底鱼类的重要猎物。

### 1.3. 大洋水层区承受的压力

开阔洋受到多种环境压力因素的影响,最突出的是海洋暖化、酸化和脱氧。压力因素可能会促使开阔洋和深海鱼类种群的纬度和垂直分布发生改变(Brander, 2010年);脱氧可能会压缩好氧生物的生境(Stramma等人, 2012年),同时扩大支持厌氧过程的水量。上行或下行效应可能会对开阔洋生态系统服务、最主要的是对生物碳泵产生复杂和间接的影响,但是因为对深洋微生物多样性、功能和过程的了解少之又少,所以尚不清楚总体影响怎样。

### 1.4. 《第一次世界海洋评估》中发现的知识差距

《第一次评估》指出,缺乏关于大洋水层生态系统的关键信息,因为现有数据仅来自几个地理区域,也只涉及总体生物多样性中的一小部分。第一次评估强调,关于生态系统结构和过程的信息不够,没法用来评估针对陆架和沿岸海洋生态系统制定的养护和管理措施的潜在绩效。

### 1.5. 《第一次世界海洋评估》以来的科学进展

海洋,包括开阔洋,是政府间气候变化专门委员会最近一份特别报告的主题(政府间气候变化专门委员会(气专委), 2019年)。一个关键的进展是承认气候变化从本质上给开阔洋带来了多个压力因素,需要新的工具来分析压力因素各自对生态系统的影响

和压力因素之间的协同互动,因为反应可能是极非线性的(Boyd等人, 2015年)。

已经采用星载光探测和测距仪器从空间推测昼夜垂直迁移(Behrenfeld等人, 2019年),就这一在生物地球化学方面十分重要的过程提供了新的洞见。国际海洋微量元素与同位素生物地球化学循环计划大幅推进了对所有海洋盆地中微量元素及其同位素全球分布的了解(Schlitzer等人, 2018年)。通过更多地使用Argo浮标(Roemmich等人, 2019年)和海洋滑翔机(Rudnick, 2016年),在空间和时间上拓展了对开阔洋物理学和生物地球化学的了解。这些数据以及通过全球海洋船基水文调查项目实施的重复水道测量工作(Sloyan等人, 2019年),帮助提供信息用于形成关于生物泵功能的新洞见,并且发现了另外一条途径——粒子喷射泵(Boyd等人, 2019年),它与传统的生物重力泵共同发挥作用。

在过去10年中,组学快速发展的成果被迅速应用于开阔洋研究,因此下列各项活动成为可能:微生物群落的近实时、海上测序(Benneke等人, 2016年);使用环境DNA (eDNA)检测开阔洋中的白鲨(Truelove等人, 2019年);或者将eDNA与自主水下载具结合起来考察生物多样性(Yamahara等人, 2019年)。通过越来越多地使用附着在生物体上的智能标签和传感器(Harcourt等人, 2019年)、被动声传感器(Delory等人, 2014年)和新的海洋颗粒可视化工具(Lombard等人, 2019年),正在提供关于开阔洋生态系统生物多样性和功能的新数据。特别是,对中层带的认知已经发展,可以建立全球生物地理和生物地球化学省(Reygondeau等人, 2018年)。

## 2. 2010年以来开阔洋的环境变化

### 2.1. 总体状况(包括物理或生物状态)的变化

#### 2.1.1. 海洋暖化、海洋热浪和风场模式

现在,证据表明近几十年来海洋一直在暖化(Cheng等人, 2019年),虽然海洋表层吸收了大多

数额外的热量,但仍能在海洋中深洋和远洋观察到暖化的迹象(Cheng等人, 2017年)。据预测,表层暖化会导致近表层海水分层加剧,尽管近期工作表明,中纬度地区的海面温度虽在上升,但分层没有增加、混合层深度也没有减少(Somavilla等人, 2017年)。事实上,由于埃克曼抽吸的变化,

冬季混合层深度一直在增加(Somavilla等人, 2017年)。

随着近年来全球气温上升, 海洋热浪(Hobday等人, 2016年)持续的时间更长、出现的频率更高(Oliver等人, 2018年)。建立的模型表明, 在全球变暖的情况下, 未来海洋热浪很可能增加(Frölicher等人, 2018年)。在热带太平洋和印度洋, 海洋热浪由厄尔尼诺—南方涛动和对应的遥相关所驱动(Holbrook等人, 2019年); 在高纬度地区, 海洋热浪与暖洋流、中尺度涡活动和大气—海洋动力学的变化有关联(Rodrigues等人, 2019年)。近年, 由于全球变暖, 温盐环流减弱, 这给全球沿大西洋和赤道带国家的温度和气候模式以及生态系统服务造成的影响越来越深刻(Rahmstorf等人, 2015年)。

过去30年, 开阔洋上空的风场模式也发生了变化, 平均风速和波高都有小幅增加。据发现, 极端条件(风速或波高超过第90个百分位数)的增幅较大(Young和Ribal, 2019年)。1995年至2018年的卫星观测显示, 南大洋的风速和波高增幅最大。

### 2.1.2. 海洋酸化

最近就开阔洋吸收人为排放的碳作出的估计(1994-2007年)表明, 吸收量正在增加, 但存在重要的区域差异, 例如, 北大西洋的吸收速度慢于预期, 但南大西洋的吸收速度快于预期(Gruber等人, 2019年)。有的开阔洋时间序列研究通过纳入自主海洋碳传感器(例如海水的pH值和二氧化碳分压)收集数据, 在一些地点可追溯到近20年前, 显示出pH值(下降)和二氧化碳分压(上升)的趋势清晰可见(Sutton等人, 2019年)。

### 2.1.3. 海洋脱氧

随着全球变暖, 通过一系列复杂的生物地球化学和物理过程, 开阔洋的氧气损失预计会增加(Levin, 2018年)。现在有能力测定纳摩尔级溶解氧, 这说明以前可能低估了开阔洋中的无氧(零氧)区域(Tiano等人, 2014年)。关于气候变化对呼吸作用的影响、特别是对微生物呼吸作用的影响, 目前还不甚了解(Robinson, 2019年)。就微

生物而言, 复杂的反馈可能会导致海洋中细菌和古菌物种的重新分布(Beman和Carolan, 2013年), 因为生物要对应不同氧化还原区中特定的小生境(Bertagnolli和Stewart, 2018年)。尽管开阔洋里面一些浮游动物耐低氧, 但它们的生活已接近生理极限, 持续脱氧可能会给中层带的生态系统结构和功能带来意想不到的变化(Wishner等人, 2018年)。

### 2.1.4. 人类的影响: 剩余的荒野区域和塑料污染增加的问题

海洋受到了人类活动的强烈影响(Jones等人, 2018年), 剩余的已知荒野区域大多位于专属经济区之外(即不在国家管辖范围之内)。尽管远离陆地污染源, 但开阔洋中塑料垃圾的数量和范围正在增加(Van Sebille等人, 2015年)。开阔洋流涡成为塑料污染的聚积区, 即所谓的垃圾带(Lebreton等人, 2018年)。据预测, 未来涌入开阔洋的微塑料垃圾通量将大幅增加(Lebreton和Andrady, 2019年)。

## 2.2. 与上述变化有关的因素

### 2.2.1. 海洋暖化与海洋碳泵的变化

根据后报模型, 估计1930年至2010年开阔洋暖化使海洋渔业的减产幅度高达4.1%(Free等人, 2019年)。据认为, 海洋暖化对全球绕极鱼类种群的影响比海洋酸化更大(Watson等人, 2018年)。总的来说, 与陆地相比, 开阔洋可能更容易受到热应力的影响(Pinsky等人, 2019年), 这可能导致对变暖的敏感性增加, 定殖速率提高, 进而造成物种演替加快。气候变暖已经促使某些物种的分布朝着极地转移(Pinsky等人, 2020年), 其中包括商业物种, 例如金枪鱼(Monllor-Hurtado等人, 2017年)。虽然一些海鸟的分布似乎对海洋温度的变化不敏感(Keogan等人, 2018年), 但是东北太平洋的海洋热浪造成了崖海鸦的极端死亡率(Piatt等人, 2020年)。在这种情况下, 海洋热浪可能会极大地影响开阔洋的生物多样性(Smale等人, 2019年)。

海洋暖化是否会改变初级生产力, 仍有很大的不确定性(Behrenfeld等人, 2016年), 尽管建立的模

型显示, 热带海洋的温度升高, 初级生产力会小幅下降(Kwiatkowski等人, 2017年)。然而, 上层海洋的代谢率对温度的依赖性很强, 可能会影响生物碳泵, 特别是微生物物种(Cavan等人, 2019年), 还可能通过减少海洋碳固存的净值, 对气候起到正反馈作用(Boscolo-Galazzo等人, 2018年)。

全球变暖也可能影响开阔洋中浮游植物的水华时间(物候期)(Barton等人, 2016年), 尽管日照变化是浮游植物的主要驱动力(Boyce等人, 2017年), 也许最终会限制物种朝着极地迁移(Sundby等人, 2016年)。由于气候变暖, 浮游植物、原生动物生产(Aberle等人, 2012年)和浮游动物丰度之间的时滞可能正在减少, 致使较高营养级(Sundby等人, 2016年)、生物碳泵及其提供的生态系统服务受到影响(Barange等人, 2017年)。

虽然pH值和碳酸盐浓度的变化在开阔洋可能不如在沿岸水体中那么剧烈(Duarte等人, 2013年), 但是在吸收人为排放的二氧化碳最多的区域(例如北大西洋), 生物多样性可能受到负面影响(Gehlen等人, 2014年)。其他生物地球化学过程会受到pH值减少的影响(Gehlen等人, 2011年), 已经有证据表明开阔洋硝化率降低(Beman等人, 2011年), 这可能会改变未来的微生物群落和氮循环。

### 2.2.2. 脱氧和生境压缩

海洋脱氧正在引发最低含氧带的纵向和横向扩张(Levin, 2018年), 这可能造成代谢约束(Deutsch等人, 2015年), 进而压缩某些大洋生物的生境(Stramma等人, 2012年)。生境压缩还可能导致东太平洋某些旗鱼的渔获率提高, 如果管理不慎, 可能会出现过度开发的问题(Pohlot和Ehrhardt, 2017年)。

### 2.2.3. 直接的人类影响

人类活动对开阔洋的累积冲击在时间和空间上都发生着变化(Halpern等人, 2015年), 导致开阔洋的海洋荒野区域只剩下一小部分(Jones等人, 2018年)。除了人为碳排放造成的冲击, 其他人类活动也会直接影响开阔洋。

**捕捞活动。**现在, 海洋食品的来源地与消费地之间的距离增加(Watson等人, 2015年), 开阔洋上捕捞活动全球足迹的范围因而扩大(Kroodsmas等人, 2018年)。但是, 海洋生产力终究会对可供捕捞的鱼类数量造成限制(Chassot等人, 2010年), 目前, 全球海洋捕捞渔业似乎已经陷入停滞(见第15章)。

**开阔洋中人为形成的污染羽流。**开阔洋中的工业活动正通过污染物的不断排放(Tournadre, 2014年)和瞬态事件, 影响生物多样性。2010年墨西哥湾的深水地平线灾难等石油泄漏事件表明, 其影响多年后在所有营养级仍有体现(McClain等人, 2019年)。建立的模型显示, 生态系统受到的影响可能会持续几十年(Ainsworth等人, 2018年)。在深海采矿、向海洋倾倒矿业废物也可能影响开阔洋(Vare等人, 2018年)。关于向深水倾倒尾矿(Ramirez-Llodra等人, 2015年)对大洋水层(中层带)生物的影响, 了解仍然很少。

## 2.3. 上述变化对海洋系统其他组成部分的影响、与海洋系统其他组成部分的相互作用

### 2.3.1. 生态系统服务的变化

目前, 关于中层带和深层带群落生态系统服务的信息匮乏(Martinetto等人, 2020年; St. John等人, 2016年)。同样, 对于海洋底层—中上层耦合程度的研究少之又少(Trueman等人, 2014年)。

### 2.3.2. 气候变化对较高营养级的间接影响

北大西洋气候变暖造成的环流变化导致橈足类生物(飞马哲水蚤)北移, 而橈足类生物是濒危生物北露脊鲸的主要食物来源。变化促使鲸改变季节性觅食模式, 以追随橈足类生物。遗憾的是, 鲸重新进入尚未采取防止船只撞击或渔具缠绕措施的区域, 导致该物种的恢复状况停滞(Record等人, 2019年)。

### 3. 上述变化给人类社会、经济和福祉带来的后果

#### 3.1. 目前观察到的后果

在评估生态系统变化给人类带来的后果时, 开阔洋是一个特例, 因为目前开阔洋之内和之上没有永久的人类社区。然而, 许多沿岸社区要依靠从开阔洋中提取的资源, 会感受到气候变化对生态系统的影响。现在, 已经开始观察到一些影响, 例如生物群朝极地移动引发的物种分布变化现象(Barton等人, 2016年)和脱氧导致的生境压缩问题(Stramma等人, 2012年)。

近期工作表明, 《巴黎协定》<sup>1</sup>的通过对渔业有益(Sumaila等人, 2019年), 渔业管理的改善可以抵消气候变化对渔业造成的某些影响(Gaines等人, 2018年)。

#### 3.2. 对实现可持续发展目标的影响<sup>2</sup>

##### 3.2.1. 减少海洋污染(可持续发展目标指标14.1.1)

鉴于大量塑料材料涌入海洋, 国家须采取行动, 尽可能消除或减少塑料的使用。欧洲联盟和其他地方近期为应对公共压力, 采取措施减少塑料的使用、增加回收利用、最终限制塑料废物进入环境, 令人欣慰, 但是, 所有国家还需要做更多的工作, 才能到2025年实现大幅减少塑料的目标。

##### 3.2.2. 评估海洋的生物地球化学变化(可持续发展目标指标14.2.1和14.3.1)

建立的模型揭示出需要怎样的时间尺度来评估和检测开阔洋中受气候变化驱动的趋势(Henson等人, 2016年), 也即趋势显现时间。需要14年(pH值)至32年(初级生产力)的连续时间序列数据, 才能对气候变化和自然变异作出区分。同样, 在开阔洋时间序列站点收集的pH值和二氧化碳分压数据表明, 需要8年至15年才能达到趋势出现时间(Sutton等人, 2019年)。要在开阔洋新建和扩

大既有时间序列站点, 就得进行技术和人力投资(Milososlavich等人, 2019年)。

##### 3.2.3. 海洋保护区(可持续发展目标指标14.5.1和14.c.1)

指定作为海洋保留区或海洋保护区的开阔洋面积越来越大, 最突出的是太平洋地区(例如智利的拉帕努伊海洋保护区和美国帕帕哈瑙莫夸基亚国家海洋保护区, 管理这些大洋保护区是一项挑战(Norse, 2005年)。所有海洋保护区都有助于实现目标14, 但仍需取得更多进展(Lubchenco和Glorud-Colvert, 2015年), 因为现有的海洋保护区很少位于国家管辖范围以外的区域。根据《联合国海洋法公约》的规定就国家管辖范围以外区域海洋生物多样性的养护和可持续利用问题拟订一份具有法律约束力的国际文书政府间会议的成果会成为建立开阔洋海洋保护区法律框架的关键步骤(另见第27章)。

##### 3.2.4. 渔业(可持续发展目标指标14.4.1)

即使针对每个区域都建立若干法律框架, 实现开阔洋渔业的可持续发展仍很复杂(见上文提到的可持续发展目标指标14.5.1和14.c.1; 指标14.6(补贴)在此也适用), 这很可能是由于对开阔洋生态系统的总体结构和功能了解不足。特别是, 对于以中层带鱼类为基础的产业来说, 潜在发展要靠完善种群评估方法、纳入新型技术和建模方法(Hidalgo和Browman, 2019年)。气候变化还会影响开阔洋生态系统及其相关渔业(Barange等人, 2018年)。非法、未报告和无人管的捕捞仍是可持续渔业面临的最大威胁之一, 也是全球性挑战。

##### 3.2.5. 海洋技术研究资源(可持续发展目标指标14.a.1)

需要更多的资源用于海洋研究和技术、用于建设技术和人员能力以收集、解释和传播开阔洋知识。

<sup>1</sup> 见FCCC/CP/2015/10/Add.1, 第1/CP.21号决定, 附件。

<sup>2</sup> 见大会第70/1; 71/313号决议, 附件。

这包括通过全球海洋观测系统和相关组织在海洋盆地范围内开展合作。联合国海洋科学促进可持

续发展十年(2021-2030年)<sup>3</sup>期间开展的活动应当大力促进这一指标得到落实。

## 4. 特定区域的主要变化和后果

### 4.1. 北冰洋

北极地区继续迅速升温，多年海冰随之消失，进而影响到北极开阔洋的生态系统，同时还出现了全球变暖和海洋酸化的问题。这可能导致初级生产力、生物多样性和生态系统功能发生重大变化。此外，许多北大西洋物种向极地转移(见下文)，这一现象越来越多地干扰着北极地区。

### 4.2. 北大西洋、波罗的海、黑海、地中海和北海

海洋暖化导致许多物种向极地转移，生态系统功能可能发生改变。区域海洋可能进一步受到微塑料污染的影响，除非大幅削减这种材料进入开阔洋的源头。

### 4.3. 热带北大西洋和加勒比海

马尾藻水华可能在未来几年进一步影响加勒比海(Putman等人, 2018年)，对那里造成的冲击可能会使旅游业受到负面影响，不过，在其他地区，这可能会带来新的机遇(Milledge和Harvey, 2016年)。由于马尾藻大面积水华，海洋表面形成了一个范围广大的物理结构，遮挡了下面的水体，可能会影响浮游植物的生产力，同时也会使鱼类在马尾藻筏下面的阴影中聚集。北大西洋洋流的回旋结构正在把大型塑料和微型塑料集中到一个“垃圾带”(Poulain, 2019年)。飓风加剧可能使中到大规模的混合过程受到影响。

### 4.4. 南大西洋

海洋热浪在南大西洋越来越常见，严重影响着气候模式，进而影响着鱼类种群的分布和数量。另一个不好的现象是，受气候变化的影响，南大西洋热带风暴越来越频繁。

### 4.5. 印度洋、阿拉伯海、孟加拉湾、亚丁湾和波斯湾

随着印度洋因气候变化而升温，未来可能会出现更多的海洋热浪，导致生态系统功能和动态发生改变，随之影响该地区对渔业有依赖的社区。

### 4.6. 北太平洋

北太平洋环流可能会越来越严重地受到微塑料污染的影响，目前尚不完全清楚或了解这可能对海洋生态系统造成的影响。海洋暖化、酸化、脱氧也可能导致海洋生态系统和生产力发生变化。海洋热浪的增加正在影响东北太平洋的生态系统，包括导致火体虫大量出现、食鱼鸟类饿死的问题(Piatt等人, 2020年)。

### 4.7. 南太平洋

今后海洋热浪可能会变得更加频繁和明显。预计热带南太平洋东部地区的最低含氧带将横向和纵向扩大，影响大洋鱼类种群的分布。对于靠海为生的太平洋岛屿来说，气候变化可能会对生计、健康和文​​化产生相当大的影响。

### 4.8. 南大洋

南大洋正在继续升温，在全球海洋热含量增加中所占比例最大(气专委, 2019年)。由此可能导致的后果是，磷虾的海冰生境进一步向南收缩，逐渐向以樽海鞘为主的状态转变，影响以磷虾为主要猎食对象的高营养级生物(海豹、鲸和企鹅)。南大洋将继续从大气中吸收二氧化碳，使pH值减少，并可能导致钙化率进一步降低。

<sup>3</sup> 见大会第72/73号决议，第292段。

## 5. 前景

### 5.1. 不久将来的开阔洋

接下来几十年里, 由于气候变化的影响, 开阔洋暖化、脱氧和酸化的程度会加重(气专委, 2019年)。多重压力因素有不同的时间尺度、会相互作用, 这将导致生态系统功能和结构在不同时间和空间尺度上发生改变。该等影响在时间框架上因区域而异, 鉴于深洋的体量和缓慢的环流, 需要较长时间才能在深洋中显现。

### 5.2. 开阔洋持续变化对生态系统的影响

全球变化正在影响开阔洋的生态系统服务(蓝色经济), 但由于多种压力因素的影响交叠, 难以预测未来的变化(Boyd等人, 2018年)。由于最低含氧带扩大、某些关键类群不断朝着极地迁移, 预计会导

致开阔洋生态系统持续发生改变。生产力和生物泵的变化会影响深海碳固存。

### 5.3. 开阔洋持续变化的社会经济后果

随着时间的推移, 开阔洋持续发生变化会产生广泛的社会经济影响, 因为有关活动相应地需要适应(例如, 暖化和脱氧造成的鱼类迁移、马尾藻的增加)和减轻(例如, 微塑料污染、海洋排放)。要在开阔洋建立大规模的海洋保留区和保护区, 借这一行动来实现可持续发展目标, 还得就确立和监测该等区域达成新的国际协定。对全球开阔洋观测的需求增加(Levin等人, 2019; Miloslavich等人, 2019年), 意味着需要加大对设备和人员能力的投资, 以解读数据, 在掌握情况的基础上作出评估, 用于提出政策建议和促进政策执行。

## 6. 知识方面仍然存在的主要差距

关于开阔洋生态系统以及物理驱动因素对开阔洋生物多样性的影响, 仍然知之甚少。关键是, 对大洋中层带和更深水层的探索严重不足, 认知欠缺, 包括对海洋深层和上层之间的交换、尤其是主要

是生物的日常垂直迁移。还需要确保收集关于在这种环境下生活的物种的基本信息(如传统分类学), 因为组学数据只是为生物多样性提供信息的许多方面之一(Boero, 2010年)。

## 7. 能力建设方面仍然存在的主要差距

针对中层带(Martin等人, 2020年)和更深水层, 进一步开发深水Argo和相关取样平台(例如水下视频剖面仪、eDNA取样器、生物地球化学传感器), 是更好地认知这一广阔海洋区域的关键。近期活动, 例如海洋观测大会——2019年世界海洋观测大会, 帮助找出了海洋盆地尺度方面的能力差距, 因此,

应当努力推动各国共同设法使这种尺度上的海洋学观测能做到充分覆盖。就海洋研究的所有方面对下一代研究人员进行教育和培训, 是开发人员能力以最大限度地为此利用新技术的关键(Levin等人, 2019年)。

## 参考资料

Aberle, Nicole, and others (2012). Warming induces shifts in microzooplankton phenology and reduces time-lags between phytoplankton and protozoan production. *Marine Biology*, vol. 159, No. 11, pp. 2441–2453.

- Ainsworth, Cameron H., and others (2018). Impacts of the Deepwater Horizon oil spill evaluated using an end-to-end ecosystem model. *PLoS One*, vol. 13, No. 1, e0190840.
- Barange, Manuel, and others (2017). The cost of reducing the North Atlantic Ocean biological carbon pump. *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 290.
- Barange, Manuel, and others, eds. (2018). Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 627. Rome: FAO.
- Barton, A.D., and others (2016). Anthropogenic climate change drives shift and shuffle in North Atlantic phytoplankton communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, pp. 2964–2969.
- Behrenfeld, Michael J., and others (2016). Revaluating ocean warming impacts on global phytoplankton. *Nature Climate Change*, vol. 6, No. 3, p. 323.
- Behrenfeld, Michael J., and others (2019). Global satellite-observed daily vertical migrations of ocean animals. *Nature*, vol. 576, No. 7786, pp. 257–61. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1796-9>.
- Beman, J. Michael, and others (2011). Global declines in oceanic nitrification rates as a consequence of ocean acidification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 108, No. 1, pp. 208–213.
- Beman, J. Michael, and Molly T. Carolan (2013). Deoxygenation alters bacterial diversity and community composition in the ocean's largest oxygen minimum zone. *Nature Communications*, vol. 4, art. 2705.
- Benneke, Christin M., and others (2016). Modification of a high-throughput automatic microbial cell enumeration system for shipboard analyses. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 82, No. 11, pp. 3289–3296.
- Bertagnolli, Anthony D., and Frank J. Stewart (2018). Microbial niches in marine oxygen minimum zones. *Nature Reviews. Microbiology*, vol. 16, No. 12, pp. 723–729.
- Boero, Ferdinando (2010). The Study of Species in the Era of Biodiversity: A Tale of Stupidity. *Diversity*, vol. 2. <https://doi.org/10.3390/d2010115>.
- Boscolo-Galazzo, Flavia, and others (2018). Temperature dependency of metabolic rates in the upper ocean: A positive feedback to global climate change? *Global and Planetary Change*, vol. 170, pp. 201–212.
- Boyce, Daniel G., and others (2017). Environmental structuring of marine plankton phenology. *Nature Ecology & Evolution*, vol. 1, No. 10, p. 1484.
- Boyd, Philip W., and others (2015). Biological ramifications of climate-change-mediated oceanic multi-stressors. *Nature Climate Change*, vol. 5, No. 1, p. 71.
- Boyd, Philip W., and others (2018). Experimental strategies to assess the biological ramifications of multiple drivers of global ocean change—a review. *Global Change Biology*, vol. 24, No. 6, pp. 2239–2261.
- Boyd, Philip W., and others (2019). Multi-faceted particle pumps drive carbon sequestration in the ocean. *Nature*, vol. 568, No. 7752, pp. 327–335.
- Brander, Keith (2010). Impacts of climate change on fisheries. *Journal of Marine Systems*, vol. 79, Nos. 3–4, pp. 389–402.
- Cavan, Emma Louise, and others (2019). The sensitivity of subsurface microbes to ocean warming accentuates future declines in particulate carbon export. *Frontiers in Ecology and Evolution*, vol. 6, pp. 1–10.
- Chassot, Emmanuel, and others (2010). Global marine primary production constrains fisheries catches. *Ecology Letters*, vol. 13, No. 4, pp. 495–505.

- Cheng, Lijing, and others (2017). Improved estimates of ocean heat content from 1960 to 2015. *Science Advances*, vol. 3, No. 3, e1601545.
- Cheng, Lijing, and others (2019). How fast are the oceans warming? *Science*, vol. 363, No. 6423, pp. 128–129.
- Costello, Mark John, and others (2010). Surface area and the seabed area, volume, depth, slope, and topographic variation for the world's seas, oceans, and countries. *Environmental Science & Technology*, vol. 44, No. 23, pp. 8821–8828.
- Delory, Eric, and others (2014). Developing a new generation of passive acoustics sensors for ocean observing systems. In *2014 IEEE Sensor Systems for a Changing Ocean (SSCO)*, pp. 1–6. IEEE.
- Deutsch, Curtis, and others (2015). Climate change tightens a metabolic constraint on marine habitats. *Science*, vol. 348, No. 6239, pp. 1132–1135.
- Duarte, Carlos M., and others (2013). Is ocean acidification an open-ocean syndrome? Understanding anthropogenic impacts on seawater pH. *Estuaries and Coasts*, vol. 36, No. 2, pp. 221–236.
- Free, Christopher M., and others (2019). Impacts of historical warming on marine fisheries production. *Science*, vol. 363, No. 6430, pp. 979–983.
- Frölicher, Thomas L., and others (2018). Marine heatwaves under global warming. *Nature*, vol. 560, No. 7718, p. 360.
- Gaines, Steven D., and others (2018). Improved fisheries management could offset many negative effects of climate change. *Science Advances*, vol. 4, No. 8, eaao1378.
- Gehlen, Marion, and others (2011). Biogeochemical consequences of ocean acidification and feedbacks to the Earth system. *Ocean Acidification*, vol. 1, pp. 230–248.
- Gehlen, Marion, and others (2014). Projected pH reductions by 2100 might put deep North Atlantic biodiversity at risk.
- Gruber, Nicolas, and others (2019). The oceanic sink for anthropogenic CO<sub>2</sub> from 1994 to 2007. *Science*, vol. 363, No. 6432, pp. 1193–1199.
- Halpern, Benjamin S., and others (2015). Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world's ocean. *Nature Communications*, vol. 6, art. 7615.
- Harcourt, Rob, and others (2019). Animal-borne telemetry: an integral component of the ocean observing toolkit. *Frontiers in Marine Science*.
- Henson, Stephanie A., and others (2016). Observing climate change trends in ocean biogeochemistry: when and where. *Global Change Biology*, vol. 22, No. 4, pp. 1561–1571.
- Hidalgo, Manuel, and Howard I. Browman (2019). *Developing the Knowledge Base Needed to Sustainably Manage Mesopelagic Resources*. Oxford University Press.
- Hobday, Alistair J., and others (2016). A hierarchical approach to defining marine heatwaves. *Progress in Oceanography*, vol. 141, pp. 227–238.
- Holbrook, Neil J., and others (2019). A global assessment of marine heatwaves and their drivers. *Nature Communications*, vol. 10, No. 1, art. 2624.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2019). *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, H-O. Pörtner and others, eds.
- Irigoiien, Xabier, and others (2014). Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open ocean. *Nature Communications*, vol. 5, art. 3271.
- Jones, Kendall R., and others (2018). The location and protection status of Earth's diminishing marine wilderness. *Current Biology*, vol. 28, No.15, pp. 2506–2512.
- Keogan, Katharine and others (2018). Global phenological insensitivity to shifting ocean temperatures among seabirds. *Nature Climate Change*, vol. 8, No. 4, pp. 313–18. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0115-z>.

- Kroodsmas, David A., and others (2018). Tracking the global footprint of fisheries. *Science*, vol. 359, No. 6378, pp. 904–908.
- Kwiatkowski, Lester, and others (2017). Emergent constraints on projections of declining primary production in the tropical oceans. *Nature Climate Change*, vol. 7, No. 5, p. 355.
- Lebreton, Laurent, and others (2018). Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, art. 4666.
- Lebreton, Laurent, and Anthony Andrady (2019). Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. *Palgrave Communications*, vol. 5, No. 1, art. 6.
- Levin, Lisa A. (2018). Manifestation, drivers, and emergence of open ocean deoxygenation. *Annual Review of Marine Science*, vol. 10, pp. 229–260.
- Levin, Lisa A., and others (2019). Global observing needs in the deep ocean. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 241.
- Lombard, Fabien, and others (2019). Globally consistent quantitative observations of planktonic ecosystems. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 196.
- Lubchenco, Jane, and Kirsten Grorud-Colvert (2015). Making waves: the science and politics of ocean protection. *Science*, vol. 350, No. 6259, pp. 382–383.
- Martin, Adrian, and others (2020). The oceans' twilight zone must be studied now, before it is too late. *Nature*, vol. 580, pp. 26–28.
- Martinetto, Paulina, and others (2020). Linking the scientific knowledge on marine frontal systems with ecosystem services. *Ambio*, vol. 49, No. 2, pp. 541–556. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01222-w>.
- McClain, Craig R., and others (2019). Persistent and substantial impacts of the Deepwater Horizon oil spill on deep-sea megafauna. *Royal Society Open Science*, vol. 6, No. 8, 191164.
- Milledge, John J., and Patricia J. Harvey (2016). Golden tides: problem or golden opportunity? The valorisation of *Sargassum* from beach inundations. *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 4, No. 3, art. 60.
- Miloslavich, Patricia, and others (2019). Challenges for global ocean observation: the need for increased human capacity. *Journal of Operational Oceanography*, vol. 12, No. sup2, pp. S137–S156.
- Monllor-Hurtado, Alberto, and others (2017). Shift in tuna catches due to ocean warming. *PLoS One*, vol. 12, No. 6, e0178196.
- Norse, Elliott (2005). Pelagic protected areas: the greatest parks challenge of the 21st century. *Parks*, vol. 15, pp. 32–39.
- Oliver, Eric C.J., and others (2018). Longer and more frequent marine heatwaves over the past century. *Nature Communications*, vol. 9, No. 1, art. 1324.
- Piatt, John F., and others (2020). Extreme mortality and reproductive failure of common murrelets resulting from the northeast Pacific marine heatwave of 2014–2016. *PLoS One*, vol. 15, No. 1, pp. 1–32. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226087>.
- Pinsky, Malin L., and others (2019). Greater vulnerability to warming of marine versus terrestrial ectotherms. *Nature*, vol. 569, No. 7754, p. 108.
- Pinsky, Malin L., and others (2020). Climate-driven shifts in marine species ranges: scaling from organisms to communities. *Annual Review of Marine Science*, vol. 12, No. 1, pp. 153–79. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010419-010916>.
- Pohlot, Bruce G., and Nelson Ehrhardt (2017). An analysis of sailfin murrelet daily activity in the Eastern Pacific Ocean using satellite tagging and recreational fisheries data. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 75, No. 2, pp. 871–879.
- Poulain, Marie, and others (2019). Small microplastics as a main contributor to plastic mass balance in the North Atlantic subtropical gyre. *Environmental Science & Technology*, vol. 53, pp. 1157–1164.

- Putman, Nathan F., and others (2018). Simulating transport pathways of pelagic *Sargassum* from the Equatorial Atlantic into the Caribbean Sea. *Progress in Oceanography*, vol. 165, pp. 205–214.
- Rahmstorf, S., and others (2015). Exceptional twentieth-century slowdown in Atlantic Ocean overturning circulation. *Nature Climate Change*, vol. 5, No. 5, pp. 475–480.
- Ramirez-Llodra, Eva, and others (2015). Submarine and deep-sea mine tailing placements: a review of current practices, environmental issues, natural analogs and knowledge gaps in Norway and internationally. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 97, Nos. 1–2, pp. 13–35.
- Record, Nicholas, and others (2019). Rapid climate-driven circulation changes threaten conservation of endangered North Atlantic right whales. *Oceanography*, vol. 32, No. 2.
- Reygondeau, Gabriel, and others (2018). Global biogeochemical provinces of the mesopelagic zone. *Journal of Biogeography*, vol. 45, No. 2, pp. 500–514.
- Robinson, Carol (2019). Microbial respiration, the engine of ocean deoxygenation. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 533.
- Robinson, Carol, and others (2010). Mesopelagic zone ecology and biogeochemistry – a synthesis. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 57, No. 16, pp. 1504–1518.
- Rodrigues, Regina, and others (2019). Common cause for severe droughts in South America and marine heatwaves in the South Atlantic. *Nature Geoscience*, vol. 12. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0393-8>.
- Roemmich, Dean, and others (2019). On the future of Argo: a global, full-depth, multi-disciplinary array. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6.
- Rudnick, Daniel L. (2016). Ocean research enabled by underwater gliders. *Annual Review of Marine Science*, vol. 8, pp. 519–541.
- Schlitzer, Reiner and others (2018). The GEOTRACES Intermediate Data Product 2017. *Chemical Geology*, vol. 493, pp. 210–223. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.05.040>.
- Sloyan, B.M., and others (2019). The Global Ocean Ship-Based Hydrographic Investigations Program (GO-SHIP): a platform for integrated multidisciplinary ocean science. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 445. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00445>.
- Smale, Dan A., and others (2019). Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services. *Nature Climate Change*, vol. 9, No. 4, p. 306.
- Somavilla, R., and others (2017). The warmer the ocean surface, the shallower the mixed layer. How much of this is true? *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 122, No. 9, pp. 7698–7716.
- St. John, Michael A., and others (2016). A dark hole in our understanding of marine ecosystems and their services: perspectives from the mesopelagic community. *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 31.
- Stramma, Lothar, and others (2012). Expansion of oxygen minimum zones may reduce available habitat for tropical pelagic fishes. *Nature Climate Change*, vol. 2, No. 1, p. 33.
- Sumaila, U. Rashid, and others (2019). Benefits of the Paris Agreement to ocean life, economies, and people. *Science Advances*, vol. 5, No. 2, eaau3855.
- Sundby, Svein, and others (2016). The North Atlantic spring-bloom system – where the changing climate meets the winter dark. *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 28.
- Sutton, Adrienne J., and others (2019). Autonomous seawater pCO<sub>2</sub> and pH time series from 40 surface buoys and the emergence of anthropogenic trends. *Earth System Science Data*, p. 421.
- Sutton, T.T. (2013). Vertical ecology of the pelagic ocean: classical patterns and new perspectives. *Journal of Fish Biology*, vol. 83, No. 6, pp. 1508–1527.

- Tiano, Laura, and others (2014). Oxygen distribution and aerobic respiration in the north and south eastern tropical Pacific oxygen minimum zones. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 94, pp. 173–183.
- Tournadre, Jean (2014). Anthropogenic pressure on the open ocean: The growth of ship traffic revealed by altimeter data analysis. *Geophysical Research Letters*, vol. 41, No. 22, pp. 7924–7932.
- Truelove, Nathan K., and others (2019). A rapid environmental DNA method for detecting white sharks in the open ocean. *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 10, No. 8, pp. 1128–1135. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13201>.
- Trueman, Clive N., and others (2014). Trophic interactions of fish communities at midwater depths enhance long-term carbon storage and benthic production on continental slopes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 281.
- United Nations (2017a). Chapter 36F: Open ocean deep sea. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2017b). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Van Sebille, Erik, and others (2015). A global inventory of small floating plastic debris. *Environmental Research Letters*, vol. 10, No. 12, 124006.
- Vare, Lindsay L., and others (2018). Scientific considerations for the assessment and management of mine tailings disposal in the deep sea. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 17.
- Watson, Reg A., and others (2015). Marine foods sourced from farther as their use of global ocean primary production increases. *Nature Communications*, vol. 6, art. 7365.
- Watson, Sue-Ann, and others (2018). Ocean warming has a greater effect than acidification on the early life history development and swimming performance of a large circumglobal pelagic fish. *Global Change Biology*, vol. 24, No. 9, pp. 4368–4385.
- Wishner, Karen F., and others (2018). Ocean deoxygenation and zooplankton: very small oxygen differences matter. *Science Advances*, vol. 4, No. 12, eaau5180.
- Yamahara, Kevan M., and others (2019). In situ autonomous acquisition and preservation of marine environmental DNA Using an autonomous underwater vehicle. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 373. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00373>.
- Young, Ian R., and Agustinus Ribal (2019). Multiplatform evaluation of global trends in wind speed and wave height. *Science*, vol. 364, No. 6440, pp. 548–552.

# 第 70 章

## 海脊、海台和海沟

撰稿人：Ana Colaço (召集人)、Angelika Brandt、Ana Hilario、Nuno Lourenço、Bhavani E. Narayanaswamy、Imants George Priede、Joshua T. Tuhumwire (分章牵头成员)、Michael Vecchione和Hiromi Watanabe。



## 主旨要点

- 海脊生物学的最新研究涉及化能合成环境(见第7P章)。
- 气候变化模型显示, 深层带环境的pH值将下降, 从而影响底栖群落。
- 由于现有和潜在的资源开采, 海脊、隆起、海台和海底滩承受人为压力, 同时越来越多证据显示海沟存在污染。
- 这些生态系统对人为压力的脆弱性, 促使社会提高了认识, 也推动制定了新的法规。

## 1. 《第一次世界海洋评估》介绍与综述

《第一次世界海洋评估》(联合国, 2017年a)第51章专门论述了被认为可能受到人为干扰威胁的深海地貌特征物。这些地貌特征物包括海山、海脊和海台、海底峡谷和超深渊海沟, 在地形和水文方面都很复杂。在本《评估》中, 这些地貌特征物中的海山(第7L章)和峡谷(第7J章)、热液喷口和其他化能合成生态系统(第7P章)在其他章节论述。在《第一次评估》(联合国, 2007年b)中, 这些内容也是分开论述的。第51章对所讨论的每一种地貌特征物进行了详细说明, 包括地质和物理海洋学特征、范围(每种地貌特征物的数量及所占海洋面积百分比)和生态特征, 如生物多样性和生物地理。该章还记录了人类活动对这些地貌特征物的影响, 特别强调了捕捞(包括物种和生物量的移除, 捕捞活动对形成结构的底栖生物群落的物理影响)、气候变化(包括酸化和脱氧以及升温)、污染、倾倒和采矿。本章在这些背景信息的基础上, 重点介绍自2010年以来海脊、海台和超深渊海沟的变化和新知识。

### 1.1. 海脊

大洋中脊对主要大洋盆地进行进一步分割(图一), 但每隔一段距离出现的断裂带使深水和深渊层生物得以在海脊两侧的盆地之间移动(见第7M章)。第7P章论述了通常与扩展中大洋中脊有关的活跃热液喷口(Beaulieu等人, 2013年), 而第7L章则涉及与海脊相关联的海山。从生物地理学的角度来看, 海脊动物群通常似乎与毗邻盆地或斜坡的动物群有亲缘关系(Alt等人, 2019年; Watling

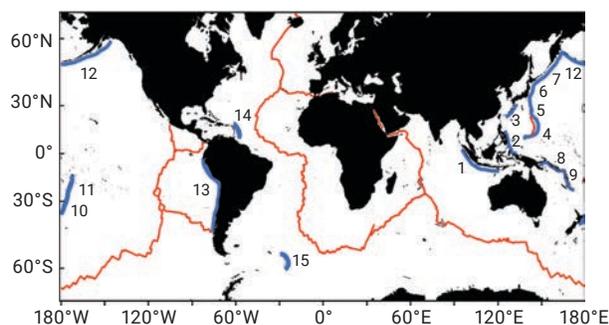
等人, 2013年)。海脊可栖息形成结构的底栖无脊椎动物, 如冷水珊瑚(第7E章)和海绵, 其中一些被联合国粮食及农业组织界定为脆弱海洋生态系统的指示物种(联合国粮食及农业组织(粮农组织), 2009年)。与海脊关联的岛坡和海山顶峰(第7L章)是重要的捕捞活动区域。大多数海脊位于专属经济区以外的区域(Harris和Whiteway, 2009年)。

### 1.2. 超深渊海沟

由于下潜到极端深度是充满挑战的, 超深渊海底的环境相对鲜为人知。然而, 因为海沟位于构造板块的俯冲边缘, 因此都靠近陆块或岛屿, 完全或部分位于专属经济区内。例如, 靠近美国宣称拥有的领土的马里亚纳海沟几乎完全位于美国的专属经济区内, 而克马德克—汤加海沟则横跨新西兰和汤加的专属经济区(佛兰德斯海洋研究所, 2018年)。因此, 虽然海沟可能都出现在国家管辖范围之内, 但有些海沟由一个以上国家共有, 而在监测和管理超深渊带海底环境所面临的威胁方面, 不同国家的技术能力差别很大。超深渊带的深度超过6 000米, 占海洋总深度的45%, 但只占海洋总面积的0.404%。在该区域内, 有95个不同盆地或海沟的最大深度达到7 000米或更深, 该区域主要由15个公认的海沟组成(Priede, 2017年; 图一)。出于生物学目的, 联合国教育、科学及文化组织将超深渊带的上部边界重新界定为6 500米深度, 以便反映全球广泛分布的深渊带动物群与特别界定的超深渊动物群上限之间的界线(联合国教育、科

学及文化组织(教科文组织), 2009年)。除了压力更大外, 超深渊海沟的环境具有深海的大部分典型特征。水流缓慢, 流速每秒1-8厘米, 水温约2°C, 氧气充足(3.43毫升/升), 可支持好氧生命, 从海面缓慢落下颗粒状有机物可提供食物(Jamieson等人, 2010年)。

**图一**  
**标示超深渊海沟和大洋中脊系统的世界地图**



资料来源: 改编自Bird (2003年)。

注: 蓝色部分为超深渊海沟(深度超过海平面下6 000米): 1-爪哇、2-菲律宾、3-琉球、4-马里亚纳、5-伊豆小笠原、6-日本、7-千岛-堪察加、8-新不列颠、9-南所罗门、10-克马德克、11-汤加、12-阿留申、13-厄瓜多尔至智利、14-波多黎各、15-南桑威奇群岛。红色部分为世界海脊系统。

### 1.3. 海底海台、海隆和海底滩

海底海台、海隆和海底滩是大片且相对平坦的地貌特征物, 被认为是大陆碎片或微大陆, 通常由深水通道与主大陆隔开。目前, 经测绘的海台有184个(Harris等人, 2014年), 覆盖世界大洋面积约5%。尽管在世界所有大洋中都有海台, 但在印度洋(例如Kerguelen和Mascarene海台)和南太平洋(挑战者海台和坎贝尔海台), 海底海台最为普遍, 这反映了这些海台最近被确认的起源, 即起源于冈瓦纳超大陆的构造解体(Mortimer等人, 2017年)。动物群的多样性和组成与附近的大陆架、斜坡和海底滩非常相似(Narayanaswamy等人, 2013年)。但是, 地形和海洋学的复杂性以及食物的可得性可对群落组成和多样性产生重大影响(Compton等人, 2013年; Knox等人, 2012年)。Compton等人(2013年)调查了新西兰周围的片脚类动物群落, 他们报告, 与食物供应相对较少的挑战者海台西端相比, 更为复杂的查塔姆海隆的丰度和多样性更高。然而, Leduc等人(2012年)反对将食物可得性作为线虫群落组成的主要驱动因素。

深水捕捞将海台、海隆起和海底滩斜坡作为目标(如Johnson等人, 2019年)。采矿等新兴活动也对环境构成威胁(例如, Leduc等人, 2015年)。

## 2. 对2010-2020年期间环境变化的描述

### 2.1. 2010年后获得的新知识以及如何运用这些知识来评估变化

人们已经观测到人类压力造成的变化, 并因此正在采取措施保护底层生境(海脊、海沟和海台)(见下表)。<sup>1</sup>截至2010年的海洋生物普查带来了知识上的巨大进步, 其出版工作一直持续到这十年。为编写《第一次世界海洋评估》, 对其中许多出版物(2010-2014年)进行了审评。其他进展摘要如下。

#### 2.1.1. 海脊: 生物多样性与生态系统功能

据报告, 在过去十年间, 海脊研究取得了实质性进展。大洋中脊的环境异质性增加并影响生物群落(Alt等人, 2019年)。在印度洋海脊, 对巨型动物组合的第一次详细调查(Sautya等人, 2017年)显示, 深层带上部的丰度较高, 但裂谷壁和谷底较深层带的丰度较低。最近在南印度洋进行的海底测绘提高了大尺度地貌特征物的分辨率, 揭示了前所未有的海底形态的多样性和复杂性, 这可能会反

<sup>1</sup> 见[www.mpatlas.org/map/high-seas/](http://www.mpatlas.org/map/high-seas/)。

映在底栖群落的生物多样性中(Picard等人, 2018年)。

随着测绘工作的继续, 特别是通过世界大洋深度图——日本财团“海底2030”项目等全球倡议, 将进一步发现深海海底的复杂性。

大洋中脊系统的很大一部分符合联合国粮食及农业组织界定脆弱海洋生态系统的标准(Morato等人, 2018年), 而其他部分则被认为是需要《保护东北大西洋海洋环境公约》<sup>2</sup>等区域公约保护的优先生境。最近的海脊研究显示了脆弱海洋生态系统指示物种的重要性。冷水珊瑚群落和海绵地带对全球生物地球化学循环和海洋的底层—中上层耦合环路都很重要, 洋面和海底产生的有机物转移近30%是通过这一环路完成的(Cathalot等人, 2015年)。

大西洋中脊北部多样的底栖生物群落提供了一个复杂的三维结构生境, 为广泛的相关固着和活动物种(包括具有商业重要性的鱼类和甲壳类物种)提供了避难所、摄食机会及产卵和育幼区(Beazley等人, 2013年; Pham等人, 2015年; Gomes-Pereira等人, 2017年)。例如, 深水鲨鱼被发现在冷水珊瑚中产卵(Henry等人, 2013年)。大西洋中脊存在寿命很长(几千年)的大型黑色珊瑚群落, 这也表明环境保存完好。

大断裂带不仅使被大西洋中脊隔开的盆地之间的水团交流, 而且还可以作为幼体扩散的管道。沿维马断裂带东侧的大型动物丰度普遍高于西侧(Brandt等人, 2018年)。在过去十年中, 在寻找富含可开采有价值金属的多金属硫化物和富钴锰结壳的过程中, 获得了许多关于海脊的新知识, 但是大多数数据与热液喷口有关, 因此本章不作论述(见第7P章)。提交给大陆架界限委员会的地质、地球化学和地球物理研究报告是有关海脊新信息的另一个主要来源。虽然这些数据不是直接为了增进环境认知而收集的, 但未来收集的此类数据可能会满足这一需求。例如, 这些数据可用来模拟

适合动物栖息的生境分布, 可为管理提供有价值的信息(Lecours, 2017年)。在生境适宜性模型方面开展的一些工作已经表明, 大洋中脊和边缘一起, 包含了八放珊瑚(Yesson等人, 2012年)和石珊瑚(Davies和Guinotte, 2011年)七个亚目的重要适宜生境, 其中大西洋中脊北部对这些分类群尤为重要。

### 2.1.2. 在大洋中脊进行深海捕捞

深海拖网渔具接触海床, 对深海底栖动物群落造成直接影响, 而海底延绳钓的影响虽然小得多, 但仍影响到大西洋中脊北部一些最古老的持续存活生物(Pham等人, 2014年)。

### 2.1.3. 气候

对深海的气候变化预测显示, 包括海脊在内的深层带生境(200-3 000米深度)及其群落受到重大影响(Levin等人, 2019年a)。Sweetman等人(2017年)最近的模型预测显示, 到2100年, 全球所有大洋深层带深度的pH值都将大幅下降(0.29至0.37个pH值单位), 东北太平洋和南太平洋深层带的氧浓度下降幅度将高达3.7%。在大多数海洋中, 颗粒状有机物(海洋雪)流向海底的通量将大幅减少, 最明显是在印度洋深层带, 预计到本世纪末将减少40-55%。模型还预测, 全球海洋的碳酸钙饱和度将会下降(Zheng和Cao, 2014年)。栖居冷水和较深区域的海洋钙化生物可能对碳酸盐化学的预计变化特别敏感(Levin等人, 2019年a)。在海脊出现于深层带的地方, 海脊动物群可能会经受上述所有与气候有关的影响(Levin等人, 2019年a)。

### 2.1.4. 超深渊海沟

过去十年间, 在新兴趣和新技术的推动下, 超深渊海底的采样和研究大量增加(Jamieson, 2015年; Jamieson等人, 2018年)。新型低成本着陆器可以从小船上部署, 而不需要全海洋深度的绞车(Jamieson等人, 2019年)。一项重大努力是对

<sup>2</sup> 联合国, 《条约汇编》, 第2354卷, 第42279号。

千岛-堪察加海沟进行了第二次国际千岛—堪察加生物多样性研究考察(Brandt等人, 2016年, 2018年)。与此并行的有私人赞助的研究和考察活动, 例如2015年深海挑战者号下降到马里亚纳海沟底部, 或是Five Deeps Expedition考察队的活动(Five Deeps Expedition考察队, 2019年; Stewart和Jamieson, 2019年)。

这样的活动让人们对于深渊海沟的环境和生命有了新的认识。科考发现包括, 有证据表明, 没有鱼类能够在超过8 400米的深度生存(Yancey等人, 2014年), 这将海沟特有鱼类限制在最深海沟边缘的斜坡上。在水深超过6 800米的地方, 唯一存在的鱼类是狮子鱼科的蜗牛鱼。在马里亚纳海沟(Gerringer等人, 2017年)和阿塔卡马海沟(又称秘鲁—智利海沟)(Priede, 2017年)中发现了几个分类群的新物种, 还有更多有待描述。

一般来说, 生物多样性随着海沟深度的增加而减少(Jamieson, 2015年)。对于无脊椎动物来说, 没有固定的最大深度。线虫、多毛环节动物、软体动物、甲壳类和棘皮动物都出现在最深的海沟底部。漏斗效应使有机物沿海沟中心轴线集中(Ichino等人, 2015年; Luo等人, 2017年), 可能使最深处拥有最大的丰度和生物量。Leduc等人(2016)报告称, 汤加海沟底部(10 800米深度)的线虫数量是海沟边缘的6倍。Jamieson等人(2009年)在最深处发现了数量最多的流动食腐动物lysianasoid amphipod物种。在千岛—堪察加海沟, 双壳类和海参类在超深渊带占据主导地位(Brandt等人, 2018年)。

与超深渊蜗牛鱼的特有特性不同的是, 相同物种的无脊椎动物往往出现在不同的海沟中(Ritchie等人, 2017年), 尽管新的证据表明, 在一些海沟中, 物种之间存在遗传差别(Zhang等人, 2019年), 并发现了新的物种(Eustace等人, 2016年)。

超深渊海沟可以作为深海不同部分之间的动物屏障。在千岛—堪察加海沟, 超深渊带动物群不同于西北太平洋及其边缘海域的深渊带动物群(Brandt等人, 2016年)。海沟将边缘海域的物种与

西北太平洋的物种隔离开来。海沟还阻碍了某些种类的等足目动物(desmosomatid、nannoniscid和ischnomesid)的区系扩散(Bober等人, 2018年; Jennings等人, 2020年)。然而, 对于一些物种来说, 没有证据表明鄂霍次克海和开阔洋体西北太平洋之间存在严格的生物地理屏障。Jamieson等人(2011年)证实了在克马德克海沟深渊带动物群和超深渊带动物群之间有一个过渡区, 并且有证据表明海沟内存在群落结构(Jamieson等人, 2013年; Fujii等人, 2013年; Gallo等人, 2015年; Lacey等人, 2016年; Leduc和Rowden, 2018年)。

海沟位于地震活跃区, 2011年东日本大地震(又称为东北冲町地震)导致0.2立方千米的沉积物几乎瞬间坍塌入日本海沟, 其中含有超过1万亿克的有机碳(Kioka等人, 2019年; Oguri等人, 2013年)。碳输入改变了海沟向陆斜坡小型底栖动物的组成和分布(Kitahashi等人, 2014年), 并改变了沉积物和海底水文地质结构(Kawagucci等人, 2012年)。此外, 福岛第一核电站灾难释放的放射性同位素在地震发生约一个月后达到4 800米深度(Honda等人, 2013年), 并在4个月内沉积到7 000米以下的海底(Oguri等人, 2013年)。

若靠近陆地和人类居住地, 则会增加超深渊海沟对人类活动影响的脆弱性, 这种情况因漏斗效应而放大, 漏斗效应使沉积物集中到海沟轴线上。西南太平洋海沟中有大量来自陆生树木的花粉, 有可能为超深渊带生物提供食物来源(Leduc和Rowden, 2018年)。Jamieson等人(2017年)在马里亚纳海沟和克马德克海沟最深处的片脚类动物中发现了超高量的多氯联苯和多溴联苯醚, 浓度远高于工业化程度较高地区观测到的浓度, 表明生物在这些深度长期富集。Chiba等人(2018年)还观测到, 马里亚纳海沟底部有塑料碎片。据报告, 在深度为7 000米到10 890米的六个太平洋海沟的片脚类动物后肠中发现了微塑料颗粒(Jamieson等人, 2019年)。

### 2.1.5. 海台、海隆和海底滩

在2010年之前,开展了一次专门的海山海洋生物全球普查项目,对海山进行了研究,但该项目涉及的海底滩和海台极少。在东北大西洋,该区域的一项国家环境战略评估对乔治·布莱海底滩、哈顿海脊和罗卡尔海底滩进行了调查。乔治·布莱海底滩群落的构成与东北大西洋其他地方的硬底质上观测到的群落类似(Narayanaswamy等人,2013年)。最近对凯尔盖朗海台的研究表明,由于环境变化,某些海胆物种(*Abatus Cordatus*、*Brisaster antarcticus*、*Ctenocidaris Nutrix*和*Sterechinus diadema*)等底栖动物的区系分布可能发生截然不同的变化(向极地移动、纬度降低和局部灭绝)(Guillaumot等人,2018年)。然而,要解释和预测

未来对气候变化的反应,还需要仔细考虑。关于水温和盐度变化的预测通常跨越较大的空间尺度,可能无法反映局部尺度,例如凯尔盖朗海台,那里锋面位置和热通量的差异(Vivier等人,2015年)可能会导致未来该位置物种分布的变化(Guillaumot等人,2018年)。

Leduc等人(2015年)在调查西南太平洋查塔姆海隆沿线较小的大型动物时,发现群落结构与磷块岩结核的密度联系最为紧密,有时会形成结核特定群落。这些结核有可能在未来开采(Leduc等人,2015年)。在没有结核的情况下,将会形成替代群落,而原结核特定群落将会在采矿处消失(Bluhm,2001年)。

## 3. 对2010-2020年期间经济和社会变化的描述

由于海洋资源的经济价值不断提高,深海生态系统在过去十年中对人为压力和相关影响的脆弱性增加。这种压力既推动了社会意识的提高,也促进了新法规的制定(图二)。法规处理的问题包括:非法、未报告和无人管制的捕捞、深海采矿勘探、生物勘探和遗传资源开采、海洋保护区的界定、脆弱海洋生态系统或其他具有重要生态和生物意义的区域的分布和保护。

新法规有助于实现可持续发展目标14: (a)保护和可持续地利用海洋和海洋资源以促进可持续发展<sup>3</sup>和相关目标,例如那些旨在防止和大幅减少与超深渊海沟有关的各类海洋污染的目标; (b)可持续地管理和保护海洋和沿海生态系统,以避免产生重大不利影响; (c)通过在各层级加强科学合作等方式,最大限度减少和应对海洋酸化的影响; (d)有效管制捕捞并停止过度捕捞、非法、未报告和无人管制的捕捞以及毁灭性捕捞做法,执行基于科学的管理计划; (e)根据国内和国际法,并根据现有的最佳科学信息,保护至少10%的沿海和海洋区域;

(f)增加科学知识,发展研究能力,转让海洋技术; (g)通过执行《联合国海洋法公约》<sup>4</sup>所规定的国际法,加强本分章论述的所有其他环境中海洋及海洋资源的养护和可持续利用。

在过去十年中,这些举措促成建立了具体包括本章所讨论各种地貌特征物的海洋保护区(见下表)。需要良好的国际海洋空间规划(在各国专属经济区内和国家管辖范围以外区域),管理勘探/开采和保全/养护之间可能会发生的冲突(例如,大西洋中脊的块状硫化物、具有重要生态和生物意义的区域和海洋保护区;见图二)。

超深渊海沟不含目前被认为可供人类直接开采的资源。存在的鱼类种群的生物量太低,离海面太远,无法维持任何渔业开发,而且覆有沉积物的海沟两侧没有任何已知的矿产资源。生物勘探可以适应高压生活的微生物(嗜压菌)为目标,这些微生物可能具有特殊的工业应用价值。Peoples等人(2019年)描述了马里亚纳海沟和克马德克海沟沉积物中多种多样的细菌和古菌,但几乎没有可分离

<sup>3</sup> 见大会第70/1号决议。

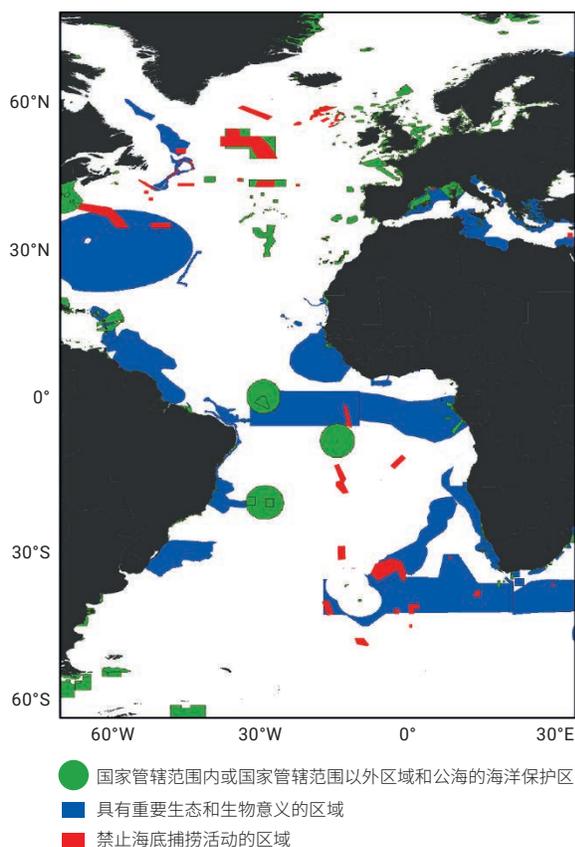
<sup>4</sup> 联合国,《条约汇编》,第1833卷,第31363号。

和培养的菌种。两条海沟之间微生物群落的重要差异可能与海面落下的有机物供应的差异有关；克马德克海沟的有机物输入量较大，支持了更多

与有机物降解相关联的分类群。然而，分类群并不具有海沟特异性，那些孤立的分类群与之前在其他环境中发现的嗜压菌有关系。

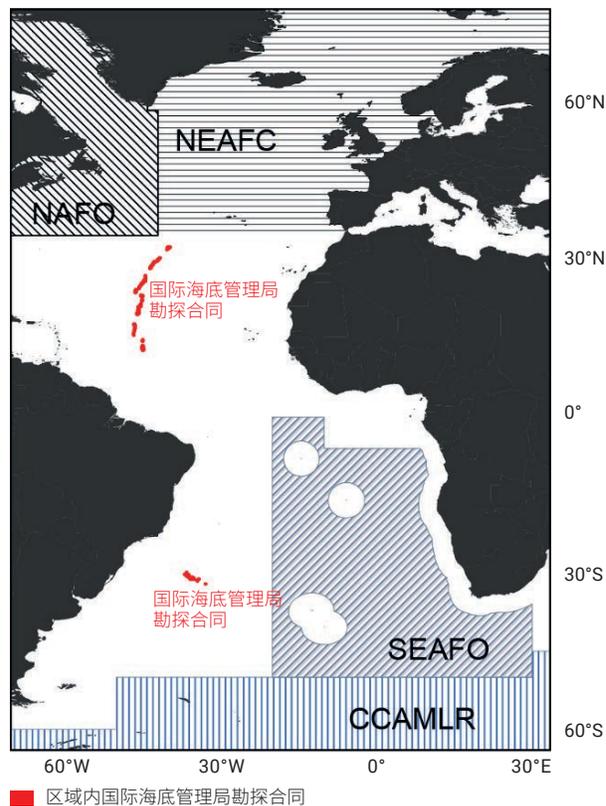
图二.A

大西洋区域近景。确定为具有重要生态和生物意义的区域和大西洋底采取保护措施的区域(联合国环境规划署世界养护监测中心和国际自然及自然资源保护联盟, 2019年)



图二.B

《南极海洋生物资源养护公约》在南极条约体系内的边界和区域渔业管理组织的边界



缩写：CCAMLR，《养护南极海洋生物资源公约》；ISA，国际海底管理局；NAFO，西北大西洋渔业组织；NEAFC，东北大西洋渔业委员会；SEAFO，东南大西洋渔业组织。

## 4. 特定领域的主要变化和后果

区域	观测到的气候变化	人为压力	确定为具有重要生态和生物意义的区域和采取保护措施的海底区域 (海脊、海沟和海台) <sup>a</sup>
北冰洋	<b>气候：</b> 深水氧气减少、酸化和变暖；有机碳流出量变化(Sweetman等人，2017年)	<b>海脊和海隆、海台、海底滩：</b> 矿产资源勘探(第18章)；渔业扩张(第15章)	
北大西洋、波罗的海、黑海、地中海和北海	<b>气候：</b> 深水氧气减少、酸化和变暖；有机碳流出量变化(Sweetman等人，2017年)可能会影响幼体在水体中的扩散，影响种群连通性(Levin等人，2019年a)；地中海中层和深层水域变暖、脱氧(Stendardo等人，2015年)、地中海深渊带水层热液喷涌减少，对喷口和渗漏分类群以及生态系统功能产生影响	<b>海脊和海隆、海台、海底滩：</b> 矿产资源勘探(第18章)；近海碳氢化合物(第19章)；渔业扩张(第15章) <b>海沟：</b> 污染	<b>重要海洋区域：</b> 西北大西洋热液喷口区；大西洋赤道断裂带与高产系统 <b>海洋保护区：</b> 亚速尔群岛海洋公园 <b>《奥斯巴公约》：</b> 查理-吉布斯北部公海海洋保护区；查理-吉布斯南部公海海洋保护区；大西洋中脊亚速尔群岛北部公海海洋保护区。 <b>底层捕捞休渔：</b> 东北大西洋渔业委员会底层捕捞休渔
南大西洋和大加勒比地区	<b>知识不足，无法观测变化</b>	<b>海脊和海隆、海台、海底滩：</b> 矿产资源勘探(第18章)；近海碳氢化合物(第19章)；渔业扩张(第15章) <b>海沟：</b> 污染	<b>重要海洋区域：</b> 亚热带汇聚区 <b>底层捕捞休渔：</b> 东南大西洋渔业组织底层捕捞休渔
印度洋、阿拉伯海、孟加拉湾、红海、亚丁湾和波斯湾	<b>知识不足，无法观测变化</b>	<b>海脊和海隆、海台、海底滩：</b> 矿产资源勘探(第18章)；近海碳氢化合物(第19章)；渔业扩张(第15章) <b>海沟：</b> 污染	<b>重要海洋区域：</b> 东断脊海底平顶山
北太平洋	<b>气候：</b> 东北太平洋的变暖趋势	<b>海脊和海隆、海台、海底滩：</b> 矿产资源勘探(第18章)；渔业扩张(第15章) <b>海沟：</b> 污染	<b>重要海洋区域：</b> 九州帕劳海脊；西千岛海沟、日本海沟、伊豆—小笠原海沟和马里亚纳海沟北部；琉球海沟区域
南太平洋	<b>知识不足，无法观测变化</b>	<b>海脊和海隆、海台、海底滩：</b> 矿产资源勘探(第18章)；渔业扩张(第15章) <b>海沟：</b> 污染	<b>重要海洋区域：</b> Salas y Gómez和Nazca海脊、克马德克—汤加—路易维尔交界处
南大洋	<b>气候：</b> 变暖，环流和颗粒有机碳通量变化；(东斯科舍海脊)，物种分布转移	<b>海脊和海隆、海台、海底滩：</b> 渔业扩张(第15章) <b>海沟：</b> 污染	<b>南极海洋生物资源保护委员会：</b> 公约区底层捕捞养护措施22-06 (2019年)

<sup>a</sup> 见www.mpatlas.org/map/high-seas。

简称：重要海洋区域，具有重要生态和生物意义的区域；《奥斯巴公约》，《保护东北大西洋海洋环境公约》。

## 5. 展望

关于深海环境和生态系统仍有许多未知，但在过去十年中开展了重大的研究工作，预计未来十年还会有更多研究。联合国宣布海洋科学促进可持续发展十年(2021-2030年)，<sup>5</sup>以支持扭转海洋健康每况愈下的趋势，并将世界各地的海洋利益攸关方聚集在一个共同框架下，确保海洋科学能够充分支持各国为海洋可持续发展创造更好的条件。政府间海洋学委员会将协调这项工作。欧盟委员会设立了五个欧洲研究和创新团队，其中一个专门致力于海洋研究和创新。

最近，媒体对一些私人倡议的高度关注增加了人们对海脊和海沟勘探的兴趣，有可能提高广大受众对这些生态系统的兴趣。

海脊和海台支撑着众多脆弱的海洋生态系统(以珊瑚和海绵为主的底栖群落和热液喷口)，这些生态系统受到联合国粮食及农业组织规章的保护。然而，为开采多金属硫化物和富钴锰结壳而有可能在海脊和海隆上进行深海采矿活动，对这些生态系统构成新的威胁。目前，国际海底管理局正在制定开发规章，包括影响评估和保护措施。预计到2020年将提出最终建议(第18章)。

已根据《生物多样性公约》<sup>6</sup>开展工作，推动就发展具有代表性的海洋保护区网络及制定其他有效的划区养护措施达成国际协议，2020年的目标是覆盖海洋总面积的10%(生物多样性公约秘书处，2010年)。还启动了一项计划，确定具有重

要生态和生物意义的区域(生物多样性公约秘书处，2009年)。

国家管辖范围以外区域、公海和“区域”(国家管辖范围以外的海床和洋底及其底土)的海洋遗传资源没有管制，这是一个特别重要的问题，因为：(a) 制药、生物补救、化妆品、营养食品或生物医学创新等领域的经济潜力未知；(b) 全世界利用海洋遗传资源的能力参差不齐。由于海洋遗传资源的获取大多始于海洋科学研究，而海洋科学研究作为一项有条件的公海自由，受《联合国海洋法公约》第十三部分相关规定的制约(例如，分享信息和知识)，因此为国家管辖范围以外区域的海洋遗传资源管理制定新的法律制度是有部分基础的(Broggiato等人，2014年)。

目前正在根据《联合国海洋法公约》，谈判就国家管辖范围以外区域海洋生物多样性的养护和可持续利用问题拟订一份具有法律约束力的国际文书，重点是划区管理工具(包括海洋保护区)、环境影响评估、能力建设和海洋技术转让等一系列问题，以及海洋遗传资源(包括惠益分享)(Rabone等人，2019年)。<sup>7</sup>然而，即使做到这些，并且按计划减少一次性塑料和海洋倾废行为，深海最终还是会成为一个汇污点。倾废和污染问题在超深渊海沟尤其令人担忧，因为这类物质趋于沿海沟轴线汇聚，从而影响生活在那里的生物(Jamieson等人，2017年)。

## 6. 知识方面仍然存在的主要差距

过去十年间，对海脊的研究大多数是与热液喷口和单个海山的研究相关联的(第7P和7L章)，而喷口和海山只占全球海脊系统的一小部分。就海脊、海台和海沟而言，在生物多样性模式和空间尺度、物种组成及丰度的科学认知上，仍将存在重大差距。

与深洋水体的大部分一样，关于大洋水层区的知识也是特别有限的，包括对生物多样性的基本方面，如物种组成和丰度，以及空间和时间变化的知识，而对底栖生态系统的某些方面仍然知之甚少。需要生态和环境数据(如生命史模式、附着基地形和中尺度大洋动力学)，为颗粒通量、食物网和生境

<sup>5</sup> 见大会第72/73号决议。

<sup>6</sup> 联合国，《条约汇编》，第1760卷，第30619号。

<sup>7</sup> 见大会第72/249号决议。

适宜性模型提供信息,以便研究生态系统对干扰的反应。知识的缺乏意味着深海仍然是全球模型模拟中的“黑匣子”。

此外,科学才刚刚开始了解人为冲击将如何影响深海生态系统功能,并进而影响这些生态系统为社会提供的服务(Thurber等人,2014年)。这些知识对于有效的海洋管理至关重要。最近,深海生物界通过几项倡议(如深海管理倡议、深海观测战略)确

定了实现深海可持续管理需要回答的四个关键问题(深海管理倡议,2019年),即:(a)深海生物的多样性如何?(b)种群间和生境间是如何联系的?(c)生物机体在生态系统功能和提供服务方面的作用是什么?(d)物种、群落和生态系统如何应对干扰?虽然这些是作为关于深海的一般性问题提出的,但这些问题在海脊、海台和海沟的特定背景下提出也非常合适,应视为未来研究的优先事项。

## 7. 能力建设方面仍然存在的主要差距

尽管深海的很大一部分位于发展中国家的专属经济区以及公海范围内,但只有少数发达国家能进入深海。深海航行器等技术的可得性是勘探的最大限制因素。由于资金和技术原因,这一差距可能是最难克服的,但协作和跨学科研究网络被认为是优化出海时间的有效方法(Levin等人,2019年b)。还需要采用多学科办法开发新途径,创建易于使用的模型来预测变化和脆弱性,从而进行更好的环境评估。

另一个主要差距是在专门知识领域,特别是在发展中国家。需要对新一代科学家进行培训,包括在

最佳做法、分类能力、生态系统方法以及如何利用最新工具探索、管理和养护深海方面。

通过现有方案(如联合国教育、科学及文化组织政府间海洋学委员会国际海洋学数据和信息交换方案或世界气象组织学习、教育和培训方案提供的)或是新成立的专门研究深海的倡议开展国际合作,可有助于促进获取技术和培训材料,包括专门课程、参与研究航行、实地研究培训实习、仪器开发和数据分析。

## 参考资料

- Alt, Claudia H.S., and others (2019). Bathyal benthic megafauna from the Mid-Atlantic Ridge in the region of the Charlie-Gibbs fracture zone based on remotely operated vehicle observations. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 145, pp. 1–12.
- Beaulieu, Stace E., and others (2013). An Authoritative Global Database for Active Submarine Hydrothermal Vent Fields. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol. 14, No. 11, pp. 4892–4905.
- Beazley, Lindsay I., and others (2013). Deep-Sea Sponge Grounds Enhance Diversity and Abundance of Epibenthic Megafauna in the Northwest Atlantic. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 70, No. 7, pp. 1471–1490.
- Bird, Peter (2003). An updated digital model of plate boundaries. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol. 4, No. 3, pp. 1–52.
- Bluhm, H. (2001). Re-establishment of an abyssal megabenthic community after experimental physical disturbance of the seafloor. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 48, pp. 3841–3868.
- Bober, Simon, and others (2018). Does the Mid-Atlantic Ridge affect the distribution of abyssal benthic crustaceans across the Atlantic Ocean? *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 148, pp. 91–104.

- Brandt, A., and others (2018). First insights into macrofaunal composition from the SokhoBio expedition (Sea of Okhotsk, Bussol Strait and northern slope of the Kuril-Kamchatka Trench). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 154, pp. 106–120.
- Brandt, A., and others (2016). *RV Sonne SO-250 Cruise Report / Fahrtbericht: Tomakomai-Yokohama (Japan) 16.08.-26.09.2016 – SO-250 KuramBio II*. Kuril Kamchatka Biodiversity Studies.
- Broggiato, A., and others (2014) Fair and equitable sharing of benefits from the utilization of marine genetic resources in areas beyond national jurisdiction: bridging the gaps between science and policy. *Marine Policy*, vol. 49, pp. 176–185.
- Cathalot, Cécile, and others (2015). Cold-water coral reefs and adjacent sponge grounds: hotspots of benthic respiration and organic carbon cycling in the deep sea. *Frontiers in Marine Science*, vol. 2, art. 37.
- Chiba, Sanae, and others (2018). Human footprint in the abyss: 30 year records of deep-sea plastic debris. *Marine Policy*, vol. 96, pp. 204–212.
- Compton, Tanya J., and others (2013). Biophysical Patterns in Benthic Assemblage Composition across Contrasting Continental Margins off New Zealand. *Journal of Biogeography*, vol. 40, No. 1, pp. 75–89.
- Davies, Andrew J., and John M. Guinotte (2011). Global habitat suitability for framework-forming cold-water corals. *PloS One*, vol. 6, No. 4.
- Deep-Ocean Stewardship Initiative (DOSI) (2019). Deep-sea research in the Decade of Ocean Science: Mapping the role of the deep ocean in human society. [www.dosi-project.org/wp-content/uploads/2019/07/DOSI\\_Decade\\_Position\\_Final-1.pdf](http://www.dosi-project.org/wp-content/uploads/2019/07/DOSI_Decade_Position_Final-1.pdf).
- Eustace, Ryan M., and others (2016). Morphological and ontogenetic stratification of abyssal and hadal *Eurythenes gryllus* sensu lato (Amphipoda: Lysianassoidea) from the Peru–Chile Trench. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 109, pp. 91–98.
- Five Deeps Expedition (2019). Accessed 12 September 2019. <https://fivedeeps.com>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2009). *International Guidelines for the Management of Deep-Sea Fisheries in the High Seas*. Rome.
- Fujii, Toyonobu, and others (2013). Deep-sea amphipod community structure across abyssal to hadal depths in the Peru-Chile and Kermadec trenches. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 492, pp. 125–138.
- Gallo, Natalya D., and others (2015). Submersible- and lander-observed community patterns in the Mariana and New Britain trenches: influence of productivity and depth on epibenthic and scavenging communities. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 99, pp. 119–133.
- Gerringer, Mackenzie E., and others (2017). *Pseudoliparis swirei* sp. nov.: a newly-discovered hadal snailfish (Scorpaeniformes: Liparidae) from the Mariana Trench. *Zootaxa*, vol. 4358, No. 1, pp. 161–177.
- Gomes-Pereira, José Nuno, and others (2017). Cold-water corals and large hydrozoans provide essential fish habitat for *Lappanella fasciata* and *Benthocometes robustus*. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 145, pp. 33–48.
- Guillaumot, Charlène, and others (2018). Benthic species of the Kerguelen Plateau show contrasting distribution shifts in response to environmental changes. *Ecology and Evolution*, vol. 8, No. 12, pp. 6210–6225.
- Harris, Peter T., and others (2014). *Geomorphology of the Oceans*. *Marine Geology*, vol. 352, pp. 4–24.
- Harris, Peter T., and Tanya Whiteway (2009). High seas marine protected areas: benthic environmental conservation priorities from a GIS analysis of global ocean biophysical data. *Ocean & Coastal Management*, vol. 52, No. 1, pp. 22–38.
- Henry, Lea-Anne, and others (2013). Cold-water coral reef habitats benefit recreationally valuable sharks. *Biological Conservation*, vol. 161, pp. 67–70.

- Honda, M.C., and others (2013). Concentration and vertical flux of Fukushima-derived radiocesium in sinking particles from two sites in the Northwestern Pacific Ocean. *Biogeosciences*, vol. 10, No. 6, pp. 3525–3534.
- Ichino, Matteo C., and others (2015). The distribution of benthic biomass in hadal trenches: a modelling approach to investigate the effect of vertical and lateral organic matter transport to the seafloor. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 100, pp. 21–33.
- Jamieson, A.J. (2015). *The Hadal Zone: Life in the Deepest Oceans*. Cambridge University Press.
- Jamieson, Alan J., and others (2009). HADEEP: Free-falling landers to the deepest places on Earth. *Marine Technology Society Journal*, vol. 43, No. 5, pp. 151–160.
- Jamieson, Alan J., and others (2010). Hadal trenches: the ecology of the deepest places on Earth. *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 25, No. 3, pp. 190–197.
- Jamieson, Alan J., and others (2011). Bait-attending fauna of the Kermadec Trench, SW Pacific Ocean: evidence for an ecotone across the abyssal-hadal transition zone. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 58, No. 1, pp. 49–62.
- Jamieson, Alan J., and others (2019). Microplastics and synthetic particles ingested by deep-sea amphipods in six of the deepest marine ecosystems on Earth. *Royal Society Open Science*, vol. 6, No. 2, 180667.
- Jamieson, A.J., and others (2013). The supergiant amphipod *Alicella Gigantea* (Crustacea: Alicellidae) from hadal depths in the Kermadec Trench, SW Pacific Ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 92, pp. 107–113.
- Jamieson, A.J., and others (2018). Exploring the hadal zone: recent advances in hadal science and technology. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 155, pp. 1–3.
- Jamieson, A.J., and others (2017). Bioaccumulation of persistent organic pollutants in the deepest ocean fauna. *Nature Ecology & Evolution*, vol. 1, No. 3, pp. 1–4.
- Jennings, R., and others (2020). Integrative species delimitation of desmosomatid and nannoniscid isopods from the Kuril-Kamchatka trench, with description of a hadal species. *Progress in Oceanography*, vol. 182, art. 102236.
- Johnson, David Edwards, and others (2019). Rockall and Hatton: resolving a super wicked marine governance problem in the high seas of the northeast Atlantic Ocean. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 69.
- Kawagucci, Shinsuke, and others (2012). Disturbance of deep-sea environments induced by the M9.0 Tohoku Earthquake. *Scientific Reports*, vol. 2, art. 270.
- Kioka, A., and others (2019). Megathrust earthquake drives drastic organic carbon supply to the hadal trench. *Scientific Reports*, vol. 9, No. 1, pp. 1–10.
- Kitahashi, Tomo, and others (2014). Effect of the 2011 Tohoku Earthquake on deep-sea meiofaunal assemblages inhabiting the landward slope of the Japan Trench. *Marine Geology*, vol. 358, pp. 128–137.
- Knox, Matthew A., and others (2012). Mitochondrial DNA (COI) analyses reveal that amphipod diversity is associated with environmental heterogeneity in deep-sea habitats. *Molecular Ecology*, vol. 21, No. 19, pp. 4885–4897.
- Lacey, Nichola C., and others (2016). Community structure and diversity of scavenging amphipods from bathyal to hadal depths in three South Pacific Trenches. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 111, pp. 121–137.
- Lecours, Vincent (2017). On the use of maps and models in conservation and resource management (warning: results may vary). *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 288.
- Leduc, Daniel, and Ashley A. Rowden (2018). Not to be sneezed at: does pollen from forests of exotic pine affect deep oceanic trench ecosystems? *Ecosystems*, vol. 21, No.2, pp. 237–247.

- Leduc, Daniel, and others (2012). Nematode beta diversity on the continental slope of New Zealand: spatial patterns and environmental drivers. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 454, pp. 37–52.
- Leduc, Daniel, and others (2015). Distribution of macro-infaunal communities in phosphorite nodule deposits on Chatham Rise, Southwest Pacific: implications for management of seabed mining. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 99, pp. 105–118.
- Leduc, Daniel, and others (2016). Comparison between infaunal communities of the deep floor and edge of the Tonga Trench: possible effects of differences in organic matter supply. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 116, pp. 264–275.
- Levin, Lisa A., and others (2019a). Climate change: overview and drivers. Chapter 2 in: *Deep Ocean Climate Change Impacts on Habitat, Fish and Fisheries*, L. Levin and others, eds. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. Rome, FAO, pp. 56–79.
- Levin, Lisa A., and others (2019b). Global Observing Needs in the Deep Ocean. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 241.
- Luo, Min, and others (2017). Provenances, distribution, and accumulation of organic matter in the southern Mariana Trench rim and slope: implication for carbon cycle and burial in hadal trenches. *Marine Geology*, vol. 386, pp. 98–106.
- Morato, Telmo, and others (2018). A Multi Criteria Assessment Method for Identifying Vulnerable Marine Ecosystems in the North-East Atlantic. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 460.
- Mortimer, Nick, and others (2017). Zealandia: Earth's hidden continent. *GSA Today*, vol. 27, No. 3, pp. 27–35.
- Narayanaswamy, Bhavani E., and others (2013). First observations of megafaunal communities inhabiting George Bligh Bank, northeast Atlantic. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 92, pp. 79–86.
- Oguri, Kazumasa, and others (2013). Hadal disturbance in the Japan Trench induced by the 2011 Tohoku-Oki Earthquake. *Scientific Reports*, vol. 3, art. 1915.
- Peoples, Logan Maxwell, and others (2019). Microbial community diversity within sediments from two geographically separated hadal trenches. *Frontiers in Microbiology*, vol. 10, art. 347.
- Pham, Christopher K., and others (2015). The importance of deep-sea vulnerable marine ecosystems for demersal fish in the Azores. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 96, pp. 80–88.
- Pham, Christopher K., and others (2014). Deep-water longline fishing has reduced impact on Vulnerable Marine Ecosystems. *Scientific Reports*, art. 4837.
- Picard, Kim, and others (2018). Malaysia Airlines flight MH370 search data reveal geomorphology and seafloor processes in the remote southeast Indian Ocean. *Marine Geology*, vol. 395, pp. 301–319.
- Priede, Imants G. (2017). *Deep-Sea Fishes: Biology, Diversity, Ecology and Fisheries*. Cambridge University Press.
- Rabone, Muriel, and others (2019). Access to marine genetic resources (MGR): raising awareness of best-practice through a new agreement for biodiversity beyond national jurisdiction (BBNJ). *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 520.
- Ritchie, H., and others (2017). Population genetic structure of two congeneric deep-sea amphipod species from geographically isolated hadal trenches in the Pacific Ocean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 119, pp. 50–57.
- Sauty, Sabyasachi, and others (2017). First quantitative exploration of benthic megafaunal assemblages on the mid-oceanic ridge system of the Carlsberg Ridge, Indian Ocean. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, vol. 97, No. 2, pp. 409–417.

- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2009). *Azores Scientific Criteria and Guidance for Identifying Ecologically or Biologically Significant Marine Areas and Designing Representative Networks of Marine Protected Areas in Open Ocean Waters and Deep Sea Habitats*. Montreal: CBD.
- \_\_\_\_\_ (2010). Decision adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity at its Tenth Meeting X/2. The Strategic Plan for Biodiversity 2011–2020 and the Aichi Biodiversity Targets.
- Stendardo, Ilaria, and others (2015). Interannual to decadal oxygen variability in the mid-depth water masses of the eastern North Atlantic. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 95, pp. 85–98.
- Stewart, Heather A., and Alan J. Jamieson (2019). The five deeps: the location and depth of the deepest place in each of the world's oceans. *Earth-Science Reviews*, vol. 197, 102896.
- Sweetman, Andrew K., and others (2017). Major impacts of climate change on deep-sea benthic ecosystems. *Elementa: Science of the Anthropocene*, vol. 5, pp. 1–23.
- Thurber, Andrew R., and others (2014). Ecosystem function and services provided by the deep sea. *Biogeosciences*, vol. 11, No. 14, pp. 3941–3963.
- United Nations (2017a). Chapter 51: Biological communities on seamounts and other submarine features potentially threatened by disturbance. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2017b). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) (2009). *Global Open Oceans and Deep Seabed (GOODS) Bioregional Classification*. UNESCO-IOC, Technical Series 84. Paris: UNESCO.
- United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre and International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (2019). Protected Planet: The World Database on Protected Areas. Cambridge, United Kingdom: UNEP-WCMC and IUCN. [www.protectedplanet.net](http://www.protectedplanet.net).
- Vivier, Frédéric, and others (2015). Variability of the Antarctic Circumpolar Current transport through the Fawn Trough, Kerguelen plateau. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 114, pp. 12–26.
- Watling, Les, and others (2013). A proposed biogeography of the deep ocean floor. *Progress in Oceanography*, vol. 111, pp. 91–112.
- Yancey, Paul H., and others (2014). Marine fish may be biochemically constrained from inhabiting the deepest ocean depths. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, No. 12, pp. 4461–4465.
- Yesson, Chris, and others (2012). Global habitat suitability of cold-water octocorals. *Journal of Biogeography*, vol. 39, No. 7, pp. 1278–1292.
- Zhang, Weipeng, and others (2019). Gut microbial divergence between two populations of the hadal amphipod *Hirondellea gigas*. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 85, No. 1, e02032–18.
- Zheng, Mei-Di, and Long Cao (2014). Simulation of global ocean acidification and chemical habitats of shallow-and cold-water coral reefs. *Advances in Climate Change Research*, vol. 5, No. 4, pp. 189–196.



# 第 7P 章

# 热液喷口与冷渗漏

**撰稿人:** Nadine Le Bris (召集人)、Hilconida Calumpong (牵头成员)、Sanae Chiba (分章牵头成员)、Ana Colaço、Elva Escobar、Anna Metaxas、Paraskevi Nomikou、Julia Sigwart、Verena Tunnicliffe和Hiromi Watanabe。



## 主旨要点

- 热液喷口和冷渗漏处拥有由化能合成作用支持的独特的复杂生境和群落、多样化特有物种、高生物量和生产力。
- 这样的生态系统是生物技术和生物学创新的源泉。
- 它们在全球海洋过程中发挥重要作用, 固存二氧化碳和甲烷, 并通过输出铁提高大洋表层生产力。
- 在过去5年里, 使用新工具探测水柱信号的勘探活动发现了数千个新喷口区 and 冷渗漏处。
- 最近的调查是出于资源(多金属硫化物和甲烷水合物)勘探以及脆弱生境和物种测绘和保护的需要。
- 自2011年以来, 国际海底管理局签发了7份多金属硫化物勘探合同, 覆盖印度洋和大西洋大洋中脊的喷口区。
- 位于专属经济区和国家管辖范围以外区域的脆弱海洋生态系统和海洋保护区保护着一些喷口和渗漏。
- 专属经济区内已确定的受国内法保护的8个区域中喷口或渗漏的养护状况。
- 知识差距包括空间和时间模式、直接干扰的影响、深水环流的变化、脱氧、变暖和酸化。
- 海洋变暖引发天然气水合物解离, 这是冷渗漏活动和生态系统的主要压力因素。
- 能力建设是优先事项, 特别是在岛屿国家。

## 1. 导言

### 1.1. 《第一次世界海洋评估》基线状态范围和摘要

在热源驱动海水穿过海底循环的地方, 就会出现热液喷口。冷渗漏是指从埋藏的有机质、化石燃料库或甲烷水合物中散发出来的富含碳氢化合物的流体。这两种环境都包含多种的流体成分组合和生境类型(Cordes等人, 2009年; Watanabe等人, 2010年; Levin和Sibuet, 2012年; Le Bris等人, 2019年)。

本章的重点是受流体排放影响的海洋生物和海底生境, 包括浅层渗漏和喷口, 它们对局部生物多样性和生物地理以及温室气体向大气中的排放都很重要, 对海床和水体有着长期影响。《第一次世界海洋评估》(联合国, 2017年a)第45章指出, 热液喷口的勘探(特别是与矿产资源勘探有关的喷口勘探)正在加速, 并提供资料说明了专属经济区内和国家管辖范围以外区域喷口或渗漏养护状况的新发展。

### 1.2. 该专题如何受到其他海洋组成部分的影响并影响到其他海洋组成部分

甲烷、硫化氢、氢或还原铁和锰的通量维持着化能合成微生物初级生产者及相关动物的高局部生物量。许多专业分类群有细菌共生体(Dubilier等人, 2008年), 并成为生态系统基础物种(Governar, 2010年)。全球群落在科一级是相似的, 按照特有物种形成了11个生物地理区域(Rogers等人, 2012年; Moalic等人, 2012年)。外围生境受益于化能合成资源(Levin等人, 2016年)。热柱输出金属和有机材料, 并为区域和全球铁预算做出贡献(Resing等人, 2015年; German等人, 2016年; Tagliabue和Resing, 2016年)。

### 1.3. 该专题如何与人类社区和福祉相关

#### 1.3.1. 渔场

固着生物, 包括形成生境的物种(海绵、软珊瑚和硬珊瑚), 受益于在喷口和渗漏处形成的硬附着基, 这些生物促进形成了底层鱼类的基本生境(美

国太平洋渔业管理委员会, 2019年)。化能合成初级生产可以促进商业渔业种群的生产力, 例如, 加拿大不列颠哥伦比亚省近海捕捞的吸收化能合成所产生碳的螃蟹(Seabrook等人, 2019年)。在美国加利福尼亚州近海, 渔业目标物种在渗漏处的种群密度增加(Grupe等人, 2015年)。

### 1.3.2. 温室气体通量调节

热液喷口是埋藏沉积物中岩浆脱气、地幔蛇纹岩化和成岩有机质降解释放的二氧化碳和甲烷的天然来源。化能自养和甲烷氧化有助于将排放物截留在海底(Orutt等人, 2011年; Wankel等人, 2011年; Römer等人, 2014年a; Ruppel和Kessler, 2017年)。古菌厌氧甲烷氧化是一条关键的固存途径(Boetius和Wenzhöffer, 2013年)。热液铁可以局部增加表层水的肥沃性(Guieu等人, 2018年; Ardyna等人, 2019年), 并支持全球海洋浮游植物驱动的二氧化碳汇。

### 1.3.3. 适应和复原力生态模型

热液喷口和冷渗漏为研究动物在高二氧化碳/低酸碱度条件、极端温度、缺氧和接触硫化物、有毒金属和非金属时的应激反应提供了模型, 有助于进一步了解生物化学、生理和行为适应(例如Hall-Spencer等人, 2008年; Tunnicliffe等人, 2009年; Childress和Girguis, 2011年; Di Carlo等人, 2017年; Rossi和Tunnicliffe, 2017年)。定殖模式可提供对幼体扩散能力、物种依赖性和扰动恢复能力的洞见(Gollner等人, 2017年; Mullineaux等人, 2018年)。通过功能特征方法研究的则是常见和稀有物种的贡献(Chapman等人, 2018年)。

### 1.3.4. 生物技术和生物医学创新

反映独特的微生物—动物相互作用和极端生境条件的生物技术发现包括: 热液蠕虫中的抗生素分子(Tasiemski等人, 2014年; Papot等人, 2017年); 喷口微生物的金属耐抗基因, 反映出污染环境中的酶解毒途径(Vetriani等人, 2005年; Colaço等人, 2006年); 与二氧化碳排放固存相关的化能自养固碳途径(Scott等人, 2018年; Rubin-Blum等人, 2019年)。

### 1.3.5. 公众对海洋的参与

这些标志性生态系统的发现和图像为全球大量受众所了解, 并辅之以网真巡游、书籍、电影、戏剧、游戏和玩具, 激发了公民科学项目的灵感。这些生态系统展示了深洋类群多种多样的适应情况、微生物作用以及地球上生命的起源。

## 1.4. 知识和能力的进步

### 1.4.1. 勘探和测绘

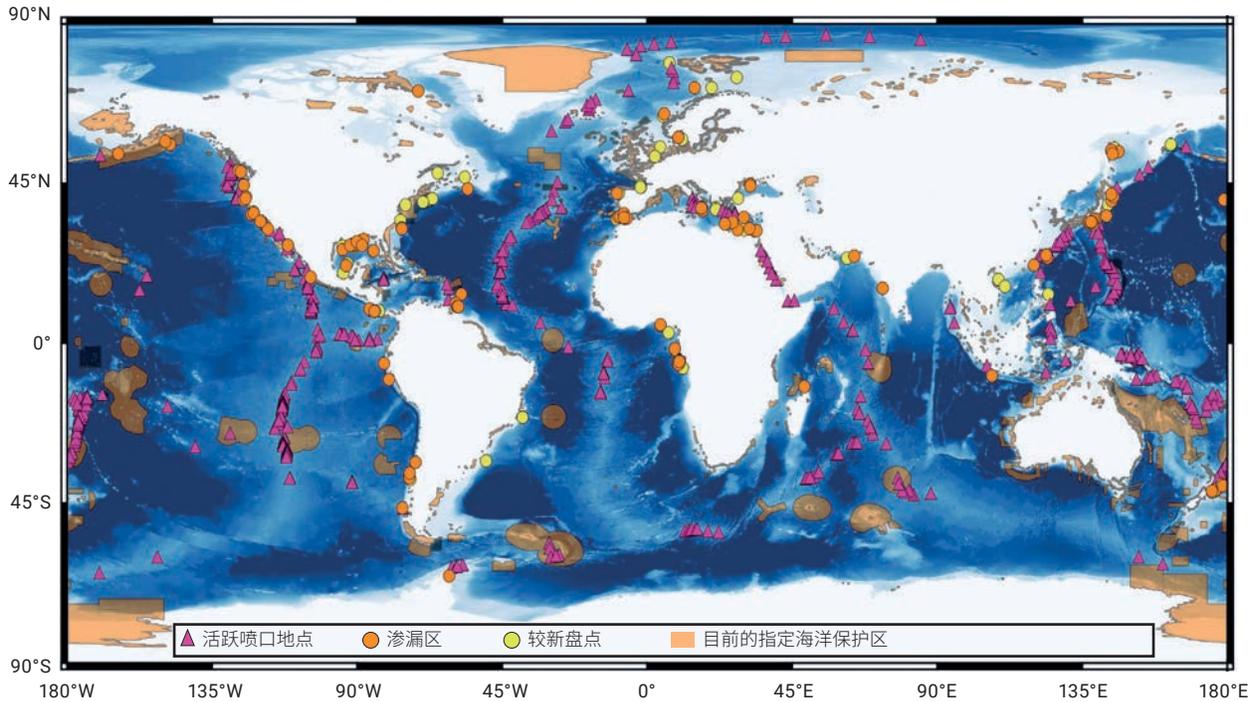
利用自动潜航器跟踪水柱中异常现象(例如温度、氧化还原电位或甲烷、气泡或颗粒)的系统化测绘, 提高了定位渗漏或喷口的能力(Baker等人, 2016年; James等人, 2016年; Andreassen等人, 2017年; Baumberger等人, 2018年)。

对喷口和渗漏系统的勘探已扩展到西北太平洋的俯冲带(例如Baker等人, 2017年)和北冰洋海脊(Marques等人, 2020年)、南大洋(Linse等人, 2019年)以及中、西和东印度洋海脊(Copley等人, 2016年; Zhou等人, 2018年; Gerdes等人, 2019年; 图一)。自《第一次评估》(联合国, 2007年b)以来, 美国沿海(Quattrini等人, 2015年; Baumberger等人, 2018年)、南海(Feng等人, 2018年)、巴西(西南大西洋)(Ketzer等人, 2019年)、加勒比海(Digby等人, 2016年)和印度(孟加拉湾)(Mazumdar等人, 2019年)确定的甲烷渗漏区增加。海底测绘分辨率提高后, 绘制出详细的动物群分布基线图, 可用于评估对人类活动的反应(Thornton等人, 2016年; Gerdes等人, 2019年)。

### 1.4.2. 空间和时间变化

调查一再表明, 在缓慢活动的海脊(Cuvelier等人, 2011年)和一些弧后盆地(Du Preez和Fisher, 2018年), 生物群落可以几十年保持稳定。这对基于快速活动的海脊模式提出了质疑。该模式认为, 喷口群落是动态的, 对干扰具有复原力。变化的地热和地球化学能源为这两种生态系统提供燃料, 包括沉积边缘的混合系统(Goffredi等人, 2017年)。遗传学和流体动力学模型揭示了种群连通模式, 这些模式对海底资源开发管理至关重要(Mullineaux等人, 2018年; Suzuki等人, 2018年)。

图一  
活跃喷口地点、渗漏区和目前的指定海洋保护区



资料来源: 活跃喷口地点资料来自国际大洋中脊协会喷口数据库(Beaulieu和Szafranski, 2020年)。渗漏区资料来自深水化能合成生态系统生物地理数据库(ChEssBase, 2019年)。较新盘点资料来自Olu等人(2010年)、Quattrini等人(2015年)、Baumberger等人(2018年)、Feng等人(2018年)、Etiopie等人(2019年)和MacDonald等人(2020年)。海洋保护区资料来自联合国环境规划署世界养护监测中心和国际自然及自然资源保护联盟(2019年)。水深测量数据来自[www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data/](http://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/)。

注: 此图系使用Q-GIS版本2.18.20(QGIS开发团队, 2018年)绘制而成。

## 2. 《第一次世界海洋评估》以来的环境变化

### 2.1. 整体状况的变化

#### 2.1.1. 驱动因素和压力

喷口和渗漏的变化驱动因素包括对能源、战略金属和食物的经济需求不断增长(图二)。化石燃料需求正在推动深度超过1 500米的海洋石油和天然气开发(Cordes等人, 2016年; 见下表)。深海渔业在出现喷口和渗漏生态系统的海山、岛坡、大洋中脊和大陆边缘扩张。大陆边缘的渗漏生态系统受到伴随甲烷水合物分解增强的深水暖化现象(James等人, 2016年; Ruppel和Kessler, 2017)、不断扩大的缺氧(Breitburg等人, 2018年)和海洋酸化(政府间气候变化专门委员会(气专委), 2019年; 见下

表)的影响。脆弱物种包括需氧量特别高的化能合成共生功能体物种(Childress和Girguis, 2011年)和依赖碳酸盐附着基的动物(Ramirez-Llodra等人, 2011年; Levin和Le Bris, 2015年; Sweetman等人, 2017年; 图二, 见下表)。

海底块状硫化物勘探(Petersen等人, 2016年)和采掘技术测试(Okamoto等人, 2019年)正在推进(见下表)。截至2018年, 国际海底管理局已在有活跃和不活跃喷口的大西洋中脊和印度洋中脊某些部分的国家管辖范围以外区域签发了7份多金属硫化物勘探合同(第18章)。在海底块状硫化物勘探许可覆盖的专属经济区, 也报告有喷口生态系统。虽然资源开发可能针对不活跃的海底块状硫化物矿床

(第18章), 但“不活跃”的定义仍然没有界定, 这些矿床的生物学和生态特征仍未得到充分研究(Van Dover等人, 2019年), 特别是在只有扩散流体喷口的地点, 而水柱探测可能遗漏这些喷口。

### 2.1.2. 与压力和潜在影响相关的变化状态

据报告, 在钻孔附近发现了附着基变化、喷口排放和动物群补充(Nakajima等人, 2015年), 这与另一

项影响研究(Copley等人, 1999年)形成对比。研究人员预测了拖网造成的破坏(Bowden等人, 2013年), 并记录了矿石加工废物倾倒对渗漏的影响(Samadi等人, 2015年)。据报告, 渗漏处的塑料碎片不断增加(Chiba等人, 2018年), 渗漏和喷口所在区域记录了缺氧扩张、酸化和变暖现象(气专委, 2019年)。

**图二**  
适用于喷口和渗漏的驱动因素、压力、状态、影响和应对方法综述

**目前严重 (全球性):**

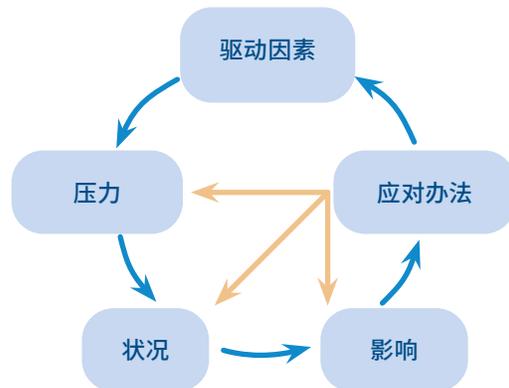
- 变暖、水合物解离
- 脱氧和酸化
- 拖网捕鱼
- 海洋环流变化
- 采掘业(采矿、捕捞、能源)的发展
- 二氧化碳排放和气候变化
- 地热能
- 气候地球工程(潜在)

**次要/不断增长:**

- 预期和影响研究
- 污染(石油泄漏)
- 废物倾倒(来自采矿)

**潜在威胁(未来):**

- 矿物开采
- 生物资源捕捞
- 海底二氧化碳固存
- 生境损失和分裂
- 物种数量和扩散能力降低
- 非生物压力因素影响生态系统稳定性和功能(酸化、脱氧、变暖、浊化、流体力学)



- 减少二氧化碳排放
- 指定和管理海洋保护区
- 海底测绘和海洋空间规划
- 知识进步和监测
- 能力建设和公众参与

- 损失基因多样性
- 损失文化遗产
- 损失温室气体封存能力
- 损失捕捞物种繁殖地
- 有毒物质在商业物种中积累
- 影响旅游业

注: 第2节和第3节所述内容汇总。

### 3. 经济和社会后果

#### 3.1. 划区管理工具

在加拿大、法国、墨西哥、葡萄牙和美国的专属经济区内,有8个喷口或渗漏区受到国内法保护(见下表)。在国家管辖范围以外,《保护东北大西洋海洋环境公约》<sup>1</sup>设立的奥斯巴委员会将“有热液喷口/喷口区的洋脊”归类为在第五海域(北极和北大西洋)受其海洋保护区网络保护的受威胁和(或)濒危生境(奥斯巴保护东北大西洋海洋环境委员会(奥斯巴委员会),2014年、2018年;见下表)。

在《生物多样性公约》进程中,几个喷口区被描述为具有重要生态和生物意义的区域(Dunn等人,2014年;Bax等人,2016年;见下表)。具有重要生态和生物意义的区域不是划区管理工具,但它们提供的信息可能在决策过程中发挥作用。渗漏区被建议列为具有重要生态和生物意义的区域,但很少具有特定的地位(见下表)。

根据1995年《保护地中海海洋环境和沿海区域公约》,<sup>2</sup>化能合成生态系统栖息的生境被确定为特别保护区(联合国环境规划署,地中海行动计划,2017年;见下表)。生物多样性养护的另一个办法是国际自然保护联盟红色名录评估,最近对印度洋的喷口进行了这一评估(Sigwart等人,2019年)。

大会在其2016年12月7日关于可持续渔业的第71/123号决议中,欢迎各国采取行动取消毁灭性捕捞做法,受保护喷口的数量因而增加(Menini和Van Dover,2019年;图一;见下表)。根据《公海深海渔业管理国际准则》(联合国粮食及农业组织(粮农组织),2009年),区域渔业管理组织承认热液喷口是脆弱的海洋生态系统(粮农组织,2016年)。制定国际海底管理局区域环境管理

计划,可能会确保将活跃喷口作为特别环境利益区加以保护,但是数据的匮乏使得这项工作开展起来有一定难度(Dunn等人,2018年;本评估第27章)。

#### 3.2. 对实现可持续发展目标的影响

可持续发展目标14<sup>3</sup>呼吁通过执行《联合国海洋法公约》<sup>4</sup>所反映的国际法,养护和可持续利用海洋和海洋资源。要实现这一目标,则需要评估气候变化和人类活动对喷口和渗漏的累积压力(Levin和Le Bris,2015年),这涉及对深海调查能力建设、技术转让和开发大力进行投资(目标4,与发展中国家的知识和技术转让有关的具体目标4B)。普及海洋知识协会通过远程临场式研究考察、公民科学倡议、政策简报(如深海管理倡议)和教育,支持多利益攸关方伙伴关系,推动公众了解喷口和渗漏区生态系统(可持续发展目标17.16和17.17),以此促进海洋养护和可持续利用。

化能合成生态系统充当天然甲烷和二氧化碳排放的过滤器,为缓解气候变化的影响提供“调节生态系统服务”(Thurber等人,2014年;James等人,2016年;目标7)。可再生能源产业的发展加剧了预计中某些金属供应保障的不足,并刺激了深海矿物资源的勘探。如果在喷口开发海底块状硫化物,那么将在营养链中引入污染物并使基本生境退化,这意味着抵消目标14,与可持续捕捞活动理念不符。可能会因而造成生物多样性、生物技术创新和文化价值方面的成本(见第18章;另见上文第2.1.1节)。

<sup>1</sup> 联合国,《条约汇编》,第2354卷,第42279号。

<sup>2</sup> 同上,第1102卷,第16908号。

<sup>3</sup> 见大会第70/1号决议。

<sup>4</sup> 联合国,《条约汇编》,第1833卷,第31363号。

## 4. 区域特定的主要变化和后果

### 2014年以来新出现的威胁、风险和养护评估以及在喷口和渗漏方面开展的工作

盆地	资源勘探和开发	累积压力增加的风险(包括气候变化)	养护评估和努力
北极	北冰洋海脊矿产资源勘探 天然气开发扩延 渔业扩张	加速开发, 伴随海冰退缩以及因甲烷水合物稳定性丧失(James等人, 2016年)而导致的暖化(Sweetman等人, 2017年)	冰岛: Eyjafjörður 热液喷口1和2被提名为《奥斯巴公约》海洋保护区网络组成部分(奥斯巴委员会, 2018年)
北大西洋	国际海底管理局在拥有活跃喷口区的大西洋中脊北部签发了3份勘探合同(俄罗斯联邦, 2012年; 法国, 2014年; 波兰, 2018年)	北大西洋深渊层/中层水变暖和酸化(Gehlen等人, 2014年) 水柱中幼体扩散对连通性产生影响(粮农组织, 2018年)	葡萄牙专属经济区: Menez Gwen、Lucky Strike和彩虹喷口区受到保护, 自然2000场址, 亚速尔海洋公园 大西洋中脊北亚速尔公海海洋保护区: 《奥斯巴公约》水体保护; 葡萄牙海床和底土保护(奥斯巴委员会, 2018年) 西班牙: 卡迪斯湾, 具有重要群落意义的泥火山场址(欧洲联盟养护天然生境和野生动植物的生境指令)(2014年) 联合国环境规划署/《生物多样性公约》: Lost City、Broken Spur 和TAG 喷口区为具有重要生态或生物意义的海洋区域
地中海	地中海东部和西南部天然气开发扩延	中层水/深层水变暖、脱氧; 深海海底热液喷涌减少(Adloff等人, 2015年)	联合国粮食及农业组织地中海渔业总委员会(渔业总会—粮农组织)(2018年): 尼罗河三角洲冷烃渗漏脆弱海洋生态系统渔业关闭
黑海		盐度变化加剧甲烷水合物的不稳定性(Riboulot等人, 2018年) 缺氧扩大, 渗漏生态系统受到威胁	
南大西洋	巴西近海深水油气勘探和开发(Almada和Bernardino, 2017年)	巴西近海大陆边缘进行大范围石油生产, 渗漏勘探有限(Bernardino和Sumida, 2017年)	
加勒比海 墨西哥湾	墨西哥湾和圭亚那近海的深层油气勘探和开发	气候变化和富营养化驱动死水区扩展, 对中等深度渗漏产生影响(Johnson和Purkey, 2009年; Breitburg等人, 2018年) 加勒比海西南部正在进行石油勘探, 渗漏勘探有限(Digby等人, 2016年)	
印度洋	国际海底管理局在西南印度洋脊(中国, 2011年)和中印度洋脊(大韩民国, 2014年; 德国, 2015年; 印度, 2016年)有活跃喷口区的区域签发了4份勘探合同	巴基斯坦边缘渗漏生态系统对区域氧减少的敏感性(Fischer等人, 2012年)	自然保护联盟濒危物种红色名录: 鳞足腹足类动物被列为濒危物种, 完成区域喷口特有物种评估草案(Sigwart等人, 2019年)

盆地	资源勘探和开发	累积压力增加的风险(包括气候变化)	养护评估和努力
北太平洋	<p>日本石油天然气和金属国有公司在冲绳海槽测试海底块状硫化物提取(Okamoto等人, 2019年)</p> <p>南海: 渗漏天然气水合物开发生产试验(Li等人, 2018年)</p>	<p>东北太平洋拖网捕捞压力增加, 出现海洋变暖趋势</p> <p>甲烷水合物解离风险增加(Ruppel和Kessler, 2017年; Hautala等人, 2014年)</p>	<p>加拿大: 专属经济区太平洋喷口为太平洋近海利益区; 加拿大太平洋冷渗漏区为具有重要生态或生物意义的海洋区域(加拿大渔业及海洋部, 2018年)</p> <p>墨西哥: 专属经济区海洋保护区系统瓜伊马斯盆地和东太平洋海隆保护区(2009年颁布, 2014年公布管理计划)</p> <p>具有重要生态或生物意义的海洋区域: 瓜伊马斯盆地</p> <p>热液喷口保护区(2016年); 墨西哥太平洋深海生物圈保护区(2018年)</p> <p>美国太平洋渔业管理委员会(2019年)将渗漏处指定为基本鱼类生境</p> <p>具有重要生态或生物意义的海洋区域: 台湾盆地西南部冷渗漏处</p>
南太平洋	<p>西南太平洋专属经济区喷口海底块状硫化物勘探许可证</p>	<p>地雷尾矿喷口/渗漏影响(Samadi等人, 2015年)</p>	<p>新西兰专属经济区: 88%活跃热液喷口是海洋保护区</p> <p>法国—新喀里多尼亚专属经济区(2014年): 珊瑚海海洋公园海洋保护区浅喷口和未勘探的海脊系统</p> <p>几个岛国制定采矿业法规和环境政策</p>
南大洋		<p>气候变暖、环流和碳通量变化对东斯科舍海脊喷口和南极渗漏产生影响(Römer等人, 2014年b)</p>	<p>南极海洋生物资源保护委员会脆弱海洋生态系统类名分类准则(2009年)确定喷口和渗漏物种</p>

## 5. 展望

喷口和渗漏生物区系和生境条件的记录仍然很少, 包括正在进行矿物勘探的喷口地区(例如印度洋)。渗漏的生物地理学没有描述(Olu等人, 2010年)。海底块状硫化物开发对活跃喷口的生态系统及其外围的影响尚不清楚。预期影响包括沉积物羽流、有毒化合物释放、生境损失和集合种群连通性中断(Dunn等人, 2018年)。已经开始开发幼体扩散模型, 最新结果表明西太平洋等区域间连通性有限(Mitarai等人, 2016年)。渗漏生态系统基础物种的长寿(最长达200年)进一步表明干扰恢复缓慢(Fisher等人, 2016年)。拖网捕捞(见上文第2.1.2节)和化石燃料开发也可能产生长期影响(Amon等

人, 2017年)。由于缺乏渗漏基线数据, 仍然无法预测群落复原力(Cordes等人, 2016年)。

除酸化外, 氧气耗竭、气候干扰引起的甲烷通量和水动力条件变化也影响了拥有喷口和渗漏生态系统的大片区域, 并可能与关键生物过程相互作用, 尽管尚无具体影响报告。温度升高对渗漏的直接影响预计将是甲烷水合物的解离(Ruppel和Kessler, 2017年)。水柱上层的变化也可能影响喷口和渗漏繁殖体的扩散(Yahagi等人, 2017年; Mullineaux等人, 2018年)。

## 6. 知识方面仍然存在的主要差距

喷口物种发现率仍然很高，表明物种丰度采样不足(Thaler和Amon, 2019年)。通过化能合成动物数据库(ChEssBase, 2019年; Chapman等人, 2019年), 人们将能够进行全球范围的分析并使用eDNA高通量测序等新技术, 而集合群落模型将有助于解决连通模式的问题(Chen等人, 2015年; Breusing等人, 2016年; Mullineaux等人, 2018年)。

长期生态系统研究对于阐明喷口和渗漏群落与气候变化压力因素之间的联系至关重要(气专委, 2019年)。需要对生理反应和生态系统功能变化进行原位测量, 以评估气候变化脆弱性。气

候压力因素耐受阈值基本属于未知, 特别是对于在外围缺氧区域生长良好的物种而言(Fischer等人, 2012年)。

喷口和渗漏处的碳储量缺乏定量估计, 包括喷口和渗漏生产力的范围和控制因素(Marlow等人, 2014年; Le Bris等人, 2019年)以及病毒作为原核生物生态介质的作用(Corinaldesi等人, 2012年; Ortmann和Suttle, 2005年)。需要对海洋生物地球化学循环中的喷口热液进行综合评估, 以评估铁注入对表层水生产力的影响(Guieu等人, 2018年; Ardyna等人, 2019年)。

## 7. 能力建设方面仍然存在的主要差距

欠发达国家的能力差距更大, 特别是拥有来自喷口和渗漏的资源的小岛屿发展中国家。政府间海洋学委员会方案认识到, 在环境相关学科中培养新的深海科学家是一项挑战(联合国教育、科学及文化组织(教科文组织—海委会)政府间海洋学委员会, 2016年)。生态评估需要动物群知识, 而分子工

具需要实地验证结果。海洋学数据和物种清单是生态系统功能模型的基础, 有助于预测脆弱性和恢复情况。知识转让包括分类学能力, 以及为深海研究和监测(Levin等人, 2019年)及测绘开发低成本技术, 而探索和制定监测战略则需对科学家、青年学生、特别是妇女进行培训。

## 参考资料

- Adloff, Fanny, and others (2015). Mediterranean Sea response to climate change in an ensemble of twenty first century scenarios. *Climate Dynamics*, vol. 45, pp. 2775–2802.
- Almada, Gustavo Vaz de Mello Baez, and Angelo Fraga Bernardino (2017). Conservation of deep-sea ecosystems within offshore oil fields on the Brazilian margin, SW Atlantic. *Biological Conservation*, vol. 206, pp. 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.12.026>.
- Amon, Diva J., and others (2017). Characterization of methane-seep communities in a deep-sea area designated for oil and natural gas exploitation off Trinidad and Tobago. *Frontiers in Marine Science*, vol. 4, art. 342.
- Andreassen, Karin, and others (2017). Massive blow-out craters formed by hydrate-controlled methane expulsion from the Arctic seafloor. *Science*, vol. 356, No. 6341, pp. 948–953.
- Ardyna, Mathieu, and others (2019). Hydrothermal vents trigger massive phytoplankton blooms in the Southern Ocean. *Nature Communications*, vol. 10, No. 1, pp. 1–8.
- Baker, Edward T., and others (2016). How many vent fields? New estimates of vent field populations on ocean ridges from precise mapping of hydrothermal discharge locations. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 449, pp. 186–196.

- Baker, Edward T., and others (2017). The effect of arc proximity on hydrothermal activity along spreading centers: new evidence from the Mariana Back Arc (12.7°N–18.3°N). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol. 18, No. 11, pp. 4211–4228.
- Beaulieu, Stace E., and Kamil M. Szafranski (2020). InterRidge Global Database of Active Submarine Hydrothermal Vent Fields Version 3.4. PANGAEA. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.917894>.
- Baumberger, Tamara, and others (2018). Mantle-derived helium and multiple methane sources in gas bubbles of cold seeps along the Cascadia Continental Margin. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol. 19, No. 11, pp. 4476–4486.
- Bax, Nicholas J., and others (2016). Results of efforts by the Convention on Biological Diversity to describe ecologically or biologically significant marine areas. *Conservation Biology*, vol. 30, No. 3, pp. 571–581.
- Bernardino, Angelo F., and Paulo Y.G. Sumida (2017). Deep risks from offshore development. *Science*, vol. 358, No. 6361, pp. 312–312.
- Boetius, Antje, and Frank Wenzhöfer (2013). Seafloor oxygen consumption fuelled by methane from cold seeps. *Nature Geoscience*, vol. 6, No. 9, pp. 725–734.
- Bowden, David A., and others (2013). Cold seep epifaunal communities on the Hikurangi Margin, New Zealand: composition, succession, and vulnerability to human activities. *PLoS One*, vol. 8, No. 10, e76869.
- Breitburg, Denise, and others (2018). Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, vol. 359, No. 6371, eaam7240.
- Breusing, Corinna, and others (2016). Biophysical and population genetic models predict the presence of “phantom” stepping stones connecting Mid-Atlantic Ridge vent ecosystems. *Current Biology*, vol. 26, No. 17, pp. 2257–2267.
- Chapman, Abbie S.A., and others (2019). sFDvent: A global trait database for deep-sea hydrothermal-vent fauna. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 28, No. 11, pp. 1538–1551.
- Chapman, Abbie S.A., and others (2018). Both rare and common species make unique contributions to functional diversity in an ecosystem unaffected by human activities. *Diversity and Distributions*, vol. 24, No. 5, pp. 568–578.
- Chen, Chong, and others (2015). Low connectivity between “scaly-foot gastropod” (Mollusca: Peltospiridae) populations at hydrothermal vents on the Southwest Indian Ridge and the Central Indian Ridge. *Organisms Diversity & Evolution*, vol. 15, No. 4, pp. 663–670.
- ChEssBase (2019). <http://ipt.vliz.be/eurobis/resource?r=chessbase>.
- Chiba, Sanae, and others (2018). Human footprint in the abyss: 30 year records of deep-sea plastic debris. *Marine Policy*, vol. 96, pp. 204–212.
- Childress, J.J., and Peter R. Girguis (2011). The metabolic demands of endosymbiotic chemoautotrophic metabolism on host physiological capacities. *Journal of Experimental Biology*, vol. 214, No. 2, pp. 312–325.
- Colaço, Ana, and others (2006). Bioaccumulation of Hg, Cu, and Zn in the Azores triple junction hydrothermal vent fields food web. *Chemosphere*, vol. 65, No. 11, pp. 2260–2267.
- Copley, Jonathan T.P., and others (1999). Subannual temporal variation in faunal distributions at the TAG hydrothermal mound (26° N, Mid-Atlantic Ridge). *Marine Ecology*, vol. 20, Nos. 3–4, pp. 291–306.
- Copley, J.T., and others (2016). Ecology and biogeography of megafauna and macrofauna at the first known deep-sea hydrothermal vents on the ultraslow-spreading Southwest Indian Ridge. *Scientific Reports*, vol. 6, art. 39158.
- Cordes, Erik E., and others (2016). Environmental impacts of the deep-water oil and gas industry: a review to guide management strategies. *Frontiers in Environmental Science*, vol. 4, art. 58.

- Cordes, Erik E., and others (2009). Macro-ecology of Gulf of Mexico cold seeps. *Annual Review of Marine Science*, vol. 1, pp. 143–168.
- Corinaldesi, Cinzia, and others (2012). Viral infections stimulate the metabolism and shape prokaryotic assemblages in submarine mud volcanoes. *The ISME Journal*, vol. 6, No. 6, pp. 1250–1259. <https://doi.org/10.1038/ismej.2011.185>.
- Couvelier, Daphne, and others (2011). Community dynamics over 14 years at the Eiffel Tower hydrothermal edifice on the Mid-Atlantic Ridge. *Limnology and Oceanography*, vol. 56, No. 5, pp. 1624–1640.
- Di Carlo, Marta, and others (2017). Trace elements and arsenic speciation in tissues of tube dwelling polychaetes from hydrothermal vent ecosystems (East Pacific Rise): an ecological role as anti-predatory strategy? *Marine Environmental Research*, vol. 132, pp. 1–13.
- Digby, Adrian, and others (2016). Cold seeps associated with structured benthic communities: more accurate identification and evaluation using a new multibeam survey methodology in the offshore Southern Colombian Caribbean. *International Journal of Geosciences*, vol. 7, No. 5, pp. 761–774.
- Dubilier, Nicole, and others (2008). Symbiotic diversity in marine animals: the art of harnessing chemosynthesis. *Nature Reviews Microbiology*, vol. 6, No. 10, p. 725.
- Du Preez, Cherisse, and Charles R. Fisher (2018). Long-term stability of back-arc basin hydrothermal vents. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 54.
- Dunn, Daniel C., and others (2014). The Convention on Biological Diversity's ecologically or biologically significant areas: origins, development, and current status. *Marine Policy*, vol. 49, pp. 137–145.
- Dunn, Daniel C., and others (2018). A strategy for the conservation of biodiversity on mid-ocean ridges from deep-sea mining. *Science Advances*, vol. 4, No. 7.
- Etioppe, Giuseppe, and others (2019). Gridded maps of geological methane emissions and their isotopic signature. *Earth System Science Data*, vol. 11, pp. 1–22.
- Fisheries and Oceans Canada (DFO) (2018). *Assessment of Canadian Pacific Cold Seeps against Criteria for Determining Ecologically and Biologically Significant Areas*. DFO Canadian Science Advisory Secretariat. Science Response 2018/002.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2009). *International Guidelines for the Management of Deep-Sea Fisheries in the High-Seas*. Rome.
- \_\_\_\_\_ (2016). *Vulnerable Marine Ecosystems: Processes and Practices in the High Seas*, Anthony Thompson and others, eds. Fisheries and Aquaculture Technical Paper 595. Rome.
- \_\_\_\_\_ (2018). *Deep-Ocean Climate Change Impacts on Habitat, Fish and Fisheries*, Lisa Levin, Maria Baker and Anthony Thompson, eds. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 638. Rome.
- Feng, Dong, and others (2018). Cold seep systems in the South China Sea: An overview. *Journal of Asian Earth Sciences*, vol. 168, pp. 3–16.
- Fischer, David, and others (2012). Interaction between hydrocarbon seepage, chemosynthetic communities, and bottom water redox at cold seeps of the Makran accretionary prism: insights from habitat-specific pore water sampling and modeling. *Biogeosciences*, vol. 9, No. 6, pp. 2013–2031.
- Fisher, Charles R., and others (2016). How Did the Deepwater Horizon Oil Spill Impact Deep-Sea Ecosystems?, *Oceanography*, vol. 29, No. 3, pp. 182–195.
- Gehlen, Marion, and others (2014). Projected pH reductions by 2100 might put deep North Atlantic biodiversity at risk. *Biogeosciences*, vol. 11, pp. 6955–6967.
- General Fisheries Commission for the Mediterranean of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (GFCM-FAO) (2018). *Forty-Second Session of the Commission. Final Report English (before editing)*. FAO Headquarters, Rome, Italy, 22–26 October 2018.
- Gerdes, Klaas, and others (2019). Detailed mapping of hydrothermal vent fauna: a 3D reconstruction approach based on video imagery. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 96.

- German, Christopher R., and others (2016). Hydrothermal impacts on trace element and isotope ocean biogeochemistry. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 374, No. 2081, 20160035.
- Goffredi, Shana K., and others (2017). Hydrothermal vent fields discovered in the southern Gulf of California clarify role of habitat in augmenting regional diversity. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 284, No. 1859, 20170817.
- Gollner, Sabine, and others (2017). Resilience of benthic deep-sea fauna to mining activities. *Marine Environmental Research*, vol. 129, pp. 76–101.
- Govenar, Breea (2010). Shaping vent and seep communities: habitat provision and modification by foundation species. In *The Vent and Seep Biota*, pp. 403–432. Springer.
- Grupe, Benjamin M., and others (2015). Methane seep ecosystem functions and services from a recently discovered southern California seep. *Marine Ecology*, vol. 36, pp. 91–108.
- Guieu, Cécile, and others (2018). Iron from a submarine source impacts the productive layer of the Western Tropical South Pacific (WTSP). *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, art. 9075.
- Hall-Spencer, Jason M., and others (2008). Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification. *Nature*, vol. 454, No. 7200, pp. 96–99.
- Hautala, Susan L., and others (2014). Dissociation of Cascadia margin gas hydrates in response to contemporary ocean warming. *Geophysical Research Letters*, vol. 41, No. 23, pp. 8486–8494.
- Intergovernmental Oceanographic Commission of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO-IOC) (2016). *UNESCO-IOC Capacity Building Strategy 2015-2021*. Paris. IOC/INF-1332.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2019). Summary for Policymakers. In *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, H-O. Pörtner and others, eds.
- James, Rachael H., and others (2016). Effects of climate change on methane emissions from seafloor sediments in the Arctic Ocean: a review. *Limnology and Oceanography*, vol. 61, No. S1, pp. S283–S299.
- Johnson, Gregory C., and Sarah G. Purkey (2009). Deep Caribbean Sea warming. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 56, No. 5, pp. 827–834.
- Ketzer, Marcelo, and others (2019). Gas seeps at the edge of the gas hydrate stability zone on Brazil's continental margin. *Geosciences*, vol. 9, No. 5, art. 193.
- Le Bris, Nadine, and others (2019). Hydrothermal energy transfer and organic carbon production at the deep seafloor. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5.
- Levin, Lisa A., and others (2016). Hydrothermal vents and methane seeps: rethinking the sphere of influence. *Frontiers in Marine Science*, vol. 3, art. 72.
- \_\_\_\_\_ (2019). Global observing needs in the deep ocean. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 241.
- Levin, Lisa A., and Myriam Sibuet (2012). Understanding continental margin biodiversity: a new imperative. *Annual Review of Marine Science*, vol. 4, pp. 79–112.
- Levin, Lisa A., and Nadine Le Bris (2015). The deep ocean under climate change. *Science*, vol. 350, No. 6262, pp. 766–768.
- Li, Jin-fa, and others (2018). The first offshore natural gas hydrate production test in South China Sea. *China Geology*, vol. 1, No. 1, pp. 5–16.
- Linse, Katrin, and others (2019). Fauna of the Kemp Caldera and its upper bathyal hydrothermal vents (South Sandwich Arc, Antarctica). *Royal Society Open Science*, vol. 6, No. 11, 191501.
- MacDonald, Ian R., and others (2020). The Asphalt Ecosystem of the Southern Gulf of Mexico: Abyssal Habitats Across Space and Time. In: *Scenarios and Responses to Future Deep Oil Spills*, pp. 132–146. Springer.

- Marques, Ana F., and others (2020). The Seven Sisters Hydrothermal System: first record of shallow hybrid mineralization hosted in mafic volcanoclasts on the Arctic mid-ocean ridge. *Minerals*, vol. 10, No. 5, art. 439. <https://doi.org/10.3390/min10050439>.
- Marlow, Jeffrey J., and others (2014). Carbonate-hosted methanotrophy represents an unrecognized methane sink in the deep sea. *Nature Communications*, vol. 5, art. 5094.
- Mazumdar, A., and others (2019). The first record of active methane (cold) seep ecosystem associated with shallow methane hydrate from the Indian EEZ. *Journal of Earth System Science*, vol. 128, No. 1, art. 18.
- Menini, Elisabetta, and Cindy Lee Van Dover (2019). An atlas of protected hydrothermal vents. *Marine Policy*, vol. 108, art. 103654.
- Mitarai, Satoshi, and others (2016). Quantifying dispersal from hydrothermal vent fields in the western Pacific Ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, No. 11, pp. 2976–2981.
- Moalic, Yann, and others (2012). Biogeography revisited with network theory: retracing the history of hydrothermal vent communities. *Systematic Biology*, vol. 61, No. 1, p. 127.
- Mullineaux, Lauren S., and others (2018). Exploring the ecology of deep-sea hydrothermal vents in a meta-community framework. *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, art. 49.
- Nakajima, Ryota, and others (2015). Post-drilling changes in seabed landscape and megabenthos in a deep-sea hydrothermal system, the Iheya North field, Okinawa Trough. *PLoS One*, vol. 10, No. 4, e0123095.
- Okamoto, Nobuyuki, and others (2019). World's first lifting test for seafloor massive sulphides in the Okinawa Trough in the EEZ of Japan. In *The 29th International Ocean and Polar Engineering Conference*. International Society of Offshore and Polar Engineers.
- Olu, Karine, and others (2010). Biogeography and potential exchanges among the Atlantic equatorial belt cold-seep faunas. *PloS One*, vol. 5, No. 8, e11967.
- Orcutt, Beth N., and others (2011). Microbial ecology of the dark ocean above, at, and below the seafloor. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, vol. 75, No. 2, pp. 361–422.
- Ortmann, Alice C., and Curtis A. Suttle (2005). High abundances of viruses in a deep-sea hydrothermal vent system indicates viral mediated microbial mortality. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 52, No. 8, pp. 1515–27. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2005.04.002>.
- OSPAR Commission for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic (OSPAR) (2014). *Recommendation 2014/11 on Furthering the Protection and Conservation of Hydrothermal Vents/Fields Occurring on Oceanic Ridges in Region V of the OSPAR Maritime Area*. OSPAR 14/21/1, Annex 16.
- \_\_\_\_\_ (2018). *Status Report on the OSPAR Network of Marine Protected Areas*.
- Papot, Claire, and others (2017). Antagonistic evolution of an antibiotic and its molecular chaperone: how to maintain a vital ectosymbiosis in a highly fluctuating habitat. *Scientific Reports*, vol. 7, No. 1, art. 1454.
- Petersen, Sven, and others (2016). News from the seabed – geological characteristics and resource potential of deep-sea mineral resources. *Marine Policy*, vol. 70, pp. 175–187.
- QGIS Development Team (2018). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.
- Quattrini, Andrea M., and others (2015). Exploration of the canyon-incised continental margin of the northeastern United States reveals dynamic habitats and diverse communities. *PLoS One*, vol. 10, No. 10, e0139904.
- Ramirez-Llodra, Eva, and others (2011). Man and the last great wilderness: human impact on the deep sea. *PLoS One*, vol. 6, No. 8, e22588.

- Resing, Joseph A., and others (2015). Basin-scale transport of hydrothermal dissolved metals across the South Pacific Ocean. *Nature*, vol. 523, No. 7559, pp. 200–203.
- Riboulot, Vincent, and others (2018). Freshwater lake to salt-water sea causing widespread hydrate dissociation in the Black Sea. *Nature Communications*, vol. 9, No. 1, art. 117.
- Rogers, Alex D., and others (2012). The discovery of new deep-sea hydrothermal vent communities in the Southern Ocean and implications for biogeography. *PLoS Biology*, vol. 10, No. 1, e1001234.
- Römer, Miriam, and others (2014a). First evidence of widespread active methane seepage in the Southern Ocean, off the sub-Antarctic island of South Georgia. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 403, pp. 166–177.
- Römer, Miriam, and others (2014b). Methane fluxes and carbonate deposits at a cold seep area of the Central Nile Deep Sea Fan, Eastern Mediterranean Sea. *Marine Geology*, vol. 347, pp. 27–42.
- Rossi, Giulia S., and Verena Tunnicliffe (2017). Trade-offs in a high CO<sub>2</sub> habitat on a subsea volcano: condition and reproductive features of a bathymodioline mussel. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 574, pp. 49–64.
- Rubin-Blum, and others (2019). Genetic Evidence for Two Carbon Fixation Pathways (the Calvin-Benson-Bassham Cycle and the Reverse Tricarboxylic Acid Cycle) in Symbiotic and Free-Living Bacteria. *MSphere*, vol. 4, No. 1, e00394–18.
- Ruppel, Carolyn D., and John D. Kessler (2017). The interaction of climate change and methane hydrates. *Reviews of Geophysics*, vol. 55, No. 1, pp. 126–168.
- Samadi, Sarah, and others (2015). Patchiness of deep-sea communities in Papua New Guinea and potential susceptibility to anthropogenic disturbances illustrated by seep organisms. *Marine Ecology*, vol. 36, pp. 109–132.
- Scott, Kathleen M., and others (2018). Diversity in CO<sub>2</sub>-concentrating mechanisms among chemolithoautotrophs from the genera *Hydrogenovibrio*, *Thiomicrohabdus*, and *Thiomicrospira*, ubiquitous in sulfidic habitats worldwide. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 85, No. 3.
- Seabrook, Sarah, and others (2019). Heterogeneity of methane seep biomes in the Northeast Pacific. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 150, pp. 195–209.
- Sigwart, Julia D., and others (2019). Red Listing can protect deep-sea biodiversity. *Nature Ecology & Evolution*, vol. 3, No. 8, p. 1134.
- Suzuki, Kenta, and others (2018). Mapping the resilience of chemosynthetic communities in hydrothermal vent fields. *Scientific Reports*, vol. 8, No. 1, art. 9364.
- Sweetman Andrew K., and others (2017). Major impacts of climate change on deep-sea benthic ecosystems. *Elementa Science of the Anthropocene*, vol. 5, No. 4, art. 203.
- Tagliabue, Alessandro, and Joseph Resing (2016). Impact of hydrothermalism on the ocean iron cycle. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 374, 20150291.
- Tasiemski, Aurélie, and others (2014). Characterization and function of the first antibiotic isolated from a vent organism: the extremophile metazoan *Alvinella pompejana*. *PLoS One*, vol. 9, No. 4, e95737.
- Thaler, Andrew D., and Diva Amon (2019). 262 Voyages Beneath the Sea: a global assessment of macro- and megafaunal biodiversity and research effort at deep-sea hydrothermal vents. *PeerJ*, vol. 7, e7397.
- Thornton, Blair, and others (2016). Biometric assessment of deep-sea vent megabenthic communities using multi-resolution 3D image reconstructions. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 116, pp. 200–219.
- Thurber, Andrew R., and others (2014). Ecosystem function and services provided by the deep sea. *Biogeosciences*, vol. 11, No. 14, pp. 3941–3963.

- Tunnickliffe, Verena, and others (2009). Survival of mussels in extremely acidic waters on a submarine volcano. *Nature Geoscience*, vol. 2, No. 5, p. 344.
- United Nations (2017a). Chapter 45: Hydrothermal vents and cold seeps. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2017b). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- United Nations Environment Programme, Mediterranean Action Plan (2017). *Draft Guidelines for Inventing and Monitoring of Dark Habitats*. UNEP(DEPI)/MED WG. 431/Inf.12. Nairobi: UNEP.
- United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre and International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (2019). Protected Planet: The World Database on Protected Areas, Cambridge, United Kingdom. [www.protectedplanet.net](http://www.protectedplanet.net).
- United States Pacific Fishery Management Council (2019). *Pacific Coast Groundfish Fishery Management Plan For The California, Oregon, And Washington Groundfish Fishery. Appendix B Part 2. Groundfish Essential Fish Habitat And Life History Descriptions, Habitat Use Database Description, and Habitat Suitability Probability Information*. [www.pcouncil.org/wp-content/uploads/2019/06/Appendix-B2-FINAL-Am28.pdf](http://www.pcouncil.org/wp-content/uploads/2019/06/Appendix-B2-FINAL-Am28.pdf).
- Van Dover, Cindy Lee (2019). Inactive sulfide ecosystems in the deep sea: a review. *Frontiers in Marine Science*, vol. 6, art. 461.
- Vetriani, Costantino, and others (2005). Mercury adaptation among bacteria from a deep-sea hydrothermal vent. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 71, No. 1, pp. 220–226.
- Wankel, Scott D., and others (2011). Influence of subsurface biosphere on geochemical fluxes from diffuse hydrothermal fluids. *Nature Geoscience*, vol. 4, No. 7, p. 461.
- Watanabe, Hiromi, and others (2010). Japan: vents and seeps in close proximity. In *The Vent and Seep Biota*, pp. 379–401. Springer.
- Yahagi, Takuya, and others (2017). Do larvae from deep-sea hydrothermal vents disperse in surface waters? *Ecology*, vol. 98, No. 6, pp. 1524–1534.
- Zhou, Yadong, and others (2018). Characterization of vent fauna at three hydrothermal vent fields on the Southwest Indian Ridge: implications for biogeography and interannual dynamics on ultraslow-spreading ridges. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 137, pp. 1–12.

# 第 70 章 马尾藻海

撰稿人：Howard S.J. Roe (召集人)、David Freestone、Laurence Kell、Brian E. Luckhurst和Tammy Warren。



## 主旨要点

- 马尾藻海是公海的一个区域, 由于其在气候调节方面的作用和独特的生态系统, 被国际公认为全球海洋具有根本重要性的组成部分之一。
- 百慕大大西洋时间序列研究继续收集观测数据, 从而能够推断气候变化对海洋的影响, 并增进对海洋过程的了解。继续这项基础的长期研究是至关重要的。
- 自2011年以来, 马尾藻的大量繁殖和滞留归因于一种以前罕见的漂浮马尾藻。这正在给该区域造成重大的社会经济问题, 并可能对独特的海洋马尾藻群落产生不利影响。
- 卫星对成体的跟踪和广泛的幼体调查已显示, 马尾藻海作为欧洲鳗鲡和美洲鳗鲡产卵区十分重要。随着人们对商业金枪鱼和类似金枪鱼种生态的认知日益加深, 以及对濒危和受威胁物种利用该区域的认识不断提高, 越来越需要以生态系统为基础的渔业管理。
- 大多数变化和威胁, 包括气候变化、过度捕捞鳗鲡、塑料污染和马尾藻大量繁殖, 都是外部驱动的。在这些日益严重的威胁下, 马尾藻海对可持续发展目标14(保护和可持续利用海洋和海洋资源以促进可持续发展)以及其他目标的贡献将会受到不利影响。<sup>1</sup>
- 在马尾藻海活动日益增多, 显示了消除人类活动对公海累积影响的重要性。

## 1. 引言

本章以《第一次世界海洋评估》(联合国, 2017年)第50章所报告的以前基线状态的发展和知识为基础。百慕大海洋科学研究所主持的围绕海洋时间序列的持续研究支撑了对基本海洋过程的认知, 包括对微生物重要性和气候变化影响的认知。其中描述了对马尾藻海整体生态的认知进展, 特别是: 马尾藻杂草、其分布、相关动物以及近期藻华对沿海社区的潜在影响; 对欧洲鳗鲡(*Anguilla anguilla*)和美洲鳗鲡(*Anguilla rostrata*)的生命周期的现有研究; 对某些商业鱼种生物学认识的提高及生态系统模型现有的进展; 以及来自塑料污染越来越大的威胁。本章考虑到正在举行的根据《联合国海洋法公约》的规定就国家管辖范围以外区域海洋生物多样性的养护和可持续利用问题拟订一份具有法律约束力的国际文书政府间会议,<sup>2</sup>概述了马尾藻海目前和最近的国际进展。

2016年基线案例介绍了马尾藻海的背景海洋学、基于两种马尾藻漂浮聚集的独特表面生态系统和群落及其作为鱼类、幼龟和海鸟的摄食区和育幼区的作用。许多动物通过马尾藻海迁徙, 许多动物迁徙到那里繁殖。它是欧洲鳗鲡(*Anguilla anguilla*)和美洲鳗鲡(*Anguilla rostrata*)唯一已知的产卵区。生活在马尾藻海的许多物种濒临灭绝或受到威胁, 被列入《国际自然保护联盟受威胁物种红色名录》、《濒危野生动植物种国际贸易公约》、<sup>3</sup>《保护和开发大加勒比区域海洋环境公约关于特别保护区和受保护的野生生物议定书》(Laffoley等人, 2011年)。<sup>4</sup>该案例还总结了威胁、经济价值和保护对策。

此后该基线案例有所变化和发展, 但由于物理海洋学、其生态系统及其在全球海洋和地球系统进程中的作用等多种互依互融的因素, 马尾藻海仍然是全球海洋具有根本重要性的组成部分之一。

<sup>1</sup> 见大会第70/1号决议。

<sup>2</sup> 联合国, 《条约汇编》, 第1833卷, 第31363号。

<sup>3</sup> 同上, 第993卷, 第14537号。

<sup>4</sup> 同上, 第2180卷, 第25974号。

其对地方和全球经济的贡献很大,这一贡献既直接来自高度洄游物种(包括欧洲鳗鲡和美洲鳗鲡)、珊瑚礁、观鲸和“海龟旅游”的渔业,也间接来自它在气候调节、保护遗传多样性和营养循环

## 2. 状态的改变

### 2.1. 海洋时间序列

长期海洋时间序列在认知海洋和海洋过程的变异性方面具有持续重要性,这一点在当地通过水文站S和百慕大大西洋时间序列研究的结果得到强化,而在全球则通过无数次审查得到强化(Neuer等人,2017年;O'Brien等人,2017年)。百慕大大西洋时间序列研究方案是为数不多的具有足够长记录的海洋时间序列之一,能够将人为变化与自然变异性区分开来(Henson等人,2016年)。百慕大大西洋时间序列研究网站总结了利用这些数据进行研究的广度。<sup>5</sup>

### 2.2. 马尾藻

基线案例描述了两个物种的作用,即漂浮马尾藻和漂流马尾藻,主要是它们在作为专门的动物群落宿主和充当育幼和摄食区方面的作用。这些社区知识的增进对未来的保护措施有影响。群落在时间和空间上各异。Huffard等人发现,在40年的时间里,以及在相隔一年的样本之间,存在着相当大的变异性(2014年)。原因尚不清楚,但海洋酸度的增加可能是苔藓虫等钙质附生生物减少的原因。物种内分子水平的变异性发生在广泛分布的细长马尾藻虾中,建议对这类物种的保护措施应覆盖较大区域或建立保护区网络(Sehein等人,2014年)。

自从2011年数千吨马尾藻大规模滞留在加勒比海和墨西哥湾的海滩以及西非和南美洲海岸以来,人们做出了相当大的努力,利用卫星跟踪、模拟、海上直接采样和不同技术的组合来识别藻华、产生藻华的原因及其行踪(Schell等人,2015年;Franks

等人的作用(Laffoley等人,2011年;Pendleton等人,2015年)。另一方面,马尾藻海也受到气候变化、污染、捕鱼活动增加和航运增加的威胁。

等人,2016年;Djakouré等人,2017年;Brooks等人,2018年;Putnam等人,2018年)。这些藻华被Schell等人鉴定为一种以前罕见的马尾藻(漂浮马尾藻第八类)(2015年)。这一鉴定随后被遗传学研究证实(Amaral-Zettler等人,2017年)。根据Parr(1939年)的描述,漂浮马尾藻第八类来自加勒比海,但后来它基本上被遗忘了。它在形态上不同于漂流马尾藻和漂浮马尾藻,以其为宿主的动物群落减少,这反过来又降低了它对以马尾藻垫为食或在马尾藻垫下觅食的鱼类、海龟和海鸟的吸引力(Martin,2016年)。因此,马尾藻类型或分布的变化可能会影响物种多样性和丰度。马尾藻的不同种类和形态在空间和时间上的分布都不同,而漂浮马尾藻第八类被认为受到温度的限制,因为它在马尾藻海和加勒比海以南的温暖水域中最为丰富。这种马尾藻在更靠北的地方很少见,但自2016年以来一直见于百慕大附近(Clover,2017年)。到目前为止,藻华还没有直接影响马尾藻海,但它们有可能通过减少马尾藻群落来造成影响,因为它们阻止了海龟在加勒比海周围受影响的海滩上成功筑巢。

藻华起源于马尾藻海以南的北赤道回流区,并从那里被带到加勒比海(Johnson等人,2013年;Franks等人,2016年;Djakouré等人,2017年;Putnam等人,2018年)自2011年首次观察到这样的藻华以来,它们一年出现一次。据报道,在北赤道回流区下的维玛断裂带的海底也发现了大量从海面沉没的马尾藻,这可能为深海底栖生态系统提供食物来源(Baker等人,2018年)。产生藻华的原因是正在进行的研究的主题,但可能包括气候变化引起的变化,例如温度升高和洋流变化,

<sup>5</sup> 可查阅: <http://stats.oecd.org>。

源自刚果、奥里诺科河以及特别是亚马逊河的营养物水平增加,赤道上升流和撒哈拉沙漠的尘埃(Djakouré等人,2017年)。问题是热带和亚热带大西洋的稳态转化是否主要是由人类活动引起的。例如,各种监测卫星向马尾藻监测系统提供信息,告知社区藻华的位置,并警示提醒潜在的堆积事件(Hu等人,2016年)。

### 2.3. 鱼类

马尾藻海对欧洲鳗鲡和美洲鳗鲡的重要性得到了加强。这两个物种的幼体都已知出现在马尾藻海西南部季节性副热带辐合带附近(Munk等人,2010年;Pendleton等人,2015年)。卫星标记跟踪了从欧洲河流一直到亚速尔群岛的欧洲鳗鲡迁徙(Righton等人,2016年)。对美洲鳗鲡的类似标记则显示了该物种从加拿大到马尾藻海的迁徙(Béguer-Pons等人,2015年)。最近,有研究表明,欧洲鳗鲡在马尾藻海南部2000公里的狭长海域产卵,该区域以温度锋为界(Miller等人,2019年)。宽阔的产卵区范围可能反映不同的迁徙开始时间、不同的游动能力或幼体在洋流中的漂移。这两个物种的渔业可捕获数量已经大幅下降,与之相应的是马尾藻海鳗鲡幼体数量的下降(Hanel等人,2014年)。气候变化、海洋温度上升、洋流变化和北大西洋涛动都可能对鳗鲡的海洋生命周期产生不利影响(Miller等人,2016年)。

由国际大西洋金枪鱼养护委员会管理的关于金枪鱼和类似金枪鱼种的食物网和产卵地点的新信息强化了马尾藻海在为这些物种提供生境、觅食和产卵场所以及迁徙走廊方面的重要性(Luckhurst,2015年a;Luckhurst和Arocha,2016年;匿名者,2016年)。西北大西洋渔业组织已采取行动保护马尾藻海北部的海山,在2020年前禁止该区域进行底拖网捕捞(西北大西洋渔业组织,2015年)。

尽管全球渔获量和主要商业中上层物种的相对丰度下降,但全球捕捞船队的能力继续增加(Rousseau等人,2019年)。马尾藻海委员会无法提

供捕捞活动的空间估计。在没有这些信息的情况下,已标绘主要委员会鱼种(委员会界定的种群边界)的渔获量百分比,作为马尾藻海随时间推移捕捞水平的指标。

下图包含Luckhurst(2015年b)所作的最新分析,该分析提供了1992年至2011年主要委员会鱼种的渔获量分析,以及委员会报告的最新渔获量。<sup>6</sup>最新报告的渔获量为直至2017年(含)的渔获量;由于委员会收到报告和处理方面的延误,无法获得更新的数据。最多有12%的北大西洋长鳍金枪鱼和10%的西大西洋蓝鳍金枪鱼是在该区域捕捞的。热带金枪鱼(大眼鲷、黄鳍金枪鱼和鲣鱼)和长咀鱼(剑旗鱼、旗鱼、蓝枪鱼和白枪鱼)的渔获量较小,但仍然很重要。在马尾藻海捕捞的渔获量比例随时间变化很大,这可能是由于延绳钓船队目标的变化,但委员会没有提供用于评估的渔捞努力量数据。之所以显示延绳钓船队,是因为副渔获物,如长咀鱼、鲨鱼、海鸟和海龟的生态重要性。为在马尾藻海实现基于生态系统的渔业管理,必须了解渔捞努力量和非目标物种行为之间的空间重叠,包括所有使用马尾藻海的物种的迁徙路线、聚集行为和生境使用情况(Kell和Luckhurst,2018年;Boerder等人,2019年)。

### 2.4. 塑料污染

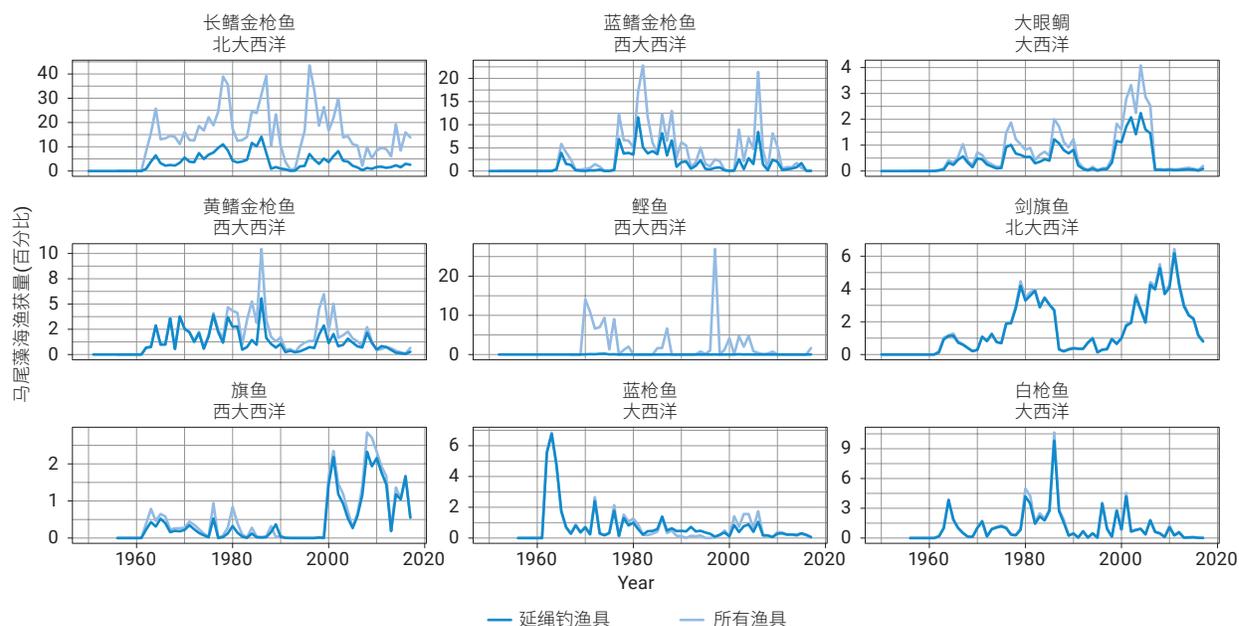
马尾藻海的塑料污染最早是在1972年观察到的(Carpenter和Smith,1972年)。研究发现,海面上微塑料的浓度比以前记录的要高出几个数量级,其中亚热带汇聚区的浓度最高(Law等人,2010年)。2014年“第七大陆”探险队用来指导采样的模型预测了该区域表层颗粒物的积聚。据估计,2014年北大西洋副热带环流,即马尾藻海,大约有56 000吨漂浮塑料(Eriksen等人,2014年)。据推测,如今塑料更多。对塑料污染及其在全球海洋和海洋环流中的影响进行了广泛的审查(海洋环境保护的科学方面联合专家组(GESAMP),2014年,2016年;Law,2017年;Eriksen等人,2016年)。最近,实验室实验发现塑料渗滤液对光合细

<sup>6</sup> 见[www.iccat.int/en/accesingdb.html](http://www.iccat.int/en/accesingdb.html)。

菌原氯球菌有不利影响(Tetu等人, 2019年)。原氯球菌产生高达20%的大气氧气。如果结果在原位得到证实, 塑料污染对全球海洋细菌产生的氧气构成威胁。各项审查中描述的不利影响将适用于

马尾藻海, 而海洋环流和副热带汇聚区的汇集效应将塑料困在海藻垫中, 这使得马尾藻海特别容易受到影响。

### 显示马尾藻海域总渔获量和延绳钓渔获量百分比的时间序列



资料来源: 数据来自国际大西洋金枪鱼养护委员会(CATDIS)。

## 3. 体制安排

马尾藻海面临的主要挑战之一是法律挑战。马尾藻海属于公海——占地球上国家管辖范围以外区域的50%(Freestone, 2015年)。为了应对这一挑战, 五国政府于2014年共同签署了《合作保护马尾藻海汉密尔顿宣言》, 并成立了马尾藻海委员会, 负责管理这一特殊区域(Freestone和Morrison, 2014年)。自那以后, 又有五个国家的政府加入, 其他国家可能会效仿(马尾藻海洋委员会, 2018年)。

马尾藻海委员会以养护国家管辖范围以外区域的新模式为基础, 召集来自多个国家和组织的利

益攸关方解决国家议程以外的问题。生物多样性公约缔约方已同意将马尾藻海列入具有重要生态或生物意义的区域清单(生物多样性公约秘书处, 2012年)<sup>7</sup>以此为基础, 2015年, 西北大西洋渔业组织同意采取养护措施, 宣布暂停在该组织区域内的马尾藻海山进行底拖网捕捞, 并限制在水中进行中层拖网捕捞(西北大西洋渔业组织, 2015年; Diz, 2016年)。

该委员会正在与一些政府和合作伙伴一道努力保护马尾藻海。该委员会正在与《养护野生动物移栖物种公约》秘书处和分布区缔约国协作, 努

<sup>7</sup> 联合国, 《条约汇编》, 第1760卷, 第30619号。

力保护欧洲鳗鲡通过马尾藻海的迁徙范围。<sup>8</sup>该委员会还在探索如何管制船只活动的影响,并与国际大西洋金枪鱼养护委员会合作,将马尾藻海作为渔业管理生态系统办法的试点项目(Kell和

Luckhurst, 2018年),并正在与美国国家航空和航天局合作,后者正在形成马尾藻海域的综合卫星图像。

## 4. 变化的后果

上面概述的变化主要是由外部驱动的。在全球范围内,气候变化影响海洋温度、海洋酸度和海洋环流,从而导致马尾藻及依赖马尾藻的群落以及深海和底栖生物群落的生态系统变化。这些影响有可能对鳗鲡和其他鱼类的产卵、幼体摄食和迁徙产生不利影响。在全球海洋总体变暖的同时,全球海洋热浪的频率也在增加,这对生物多样性产生了不利影响,并有可能扰乱海洋某些区域的生态系统服务(Smale等人,2019年)。马尾藻海南部已被确定为受严重影响的地区。包括塑料在内的大部分污染来自陆地,被洋流聚集在马尾藻海中。鳗鲡种群受到专属经济区和国家水域过度捕捞的影响。此外,它们在淡水阶段面临各种威胁,包括污染物以及大坝和水电站造成的阻碍(Hanel等人,2019年)。

全球环境变化对海洋的影响、对渔业和治理问题的未来预测总结载于日本财团—海神项目(2015年)的一份报告中,与可持续发展目标有关的海洋问题总结载于日本财团—海神项目(2017年)的第二份报告中。监测海洋温度和化学变化并了解这些变化对生态系统的影响直接关系到关于气候行动的目标13和目标14。百慕大附近现有的时间序列观测站是全球监测的核心(Neuer等人,2017年)。马尾藻在海滩上的大规模滞留给当地社区带来了广泛的社会经济问题,对旅游业、渔业和健康产生了不利影响,并导致包括海龟和鱼类在内的

生物群死亡。清理海滩的费用高达数百万美元,受影响国家正在制定管理计划和开发技术,以将影响降至最低,并寻求马尾藻的潜在用途(Milledge和Harvey,2016年;Wabnitz等人,2019年)。由于藻华对人类以及对当地和海洋生态的广泛影响,它直接影响到所有目标。美洲鳗鲡和欧洲鳗鲡是大西洋两岸许多国家重要渔业以及亚洲利润丰厚的水产养殖业务的支柱产品,但这两个物种的种群数量近年来都大幅下降(Hanel等人,2019年;大西洋国家海洋渔业委员会,2018年)。原因是多方面的,生态和社会经济的变化也会影响到所有的目标。

海洋变暖和酸度增加带来的食物网的变化可能会显著影响顶级捕食者的数量,如高度洄游的金枪鱼和旗鱼(Fernandes等人,2013年)。大西洋转向环流的减弱引起的变化可能会导致物种分布的变化(Caesar等人,2018年)。海洋变暖、海洋酸化和脱氧,再加上其他压力,可能会改变鱼类种群的初级生产力、生长和分布(Barange等人,2018年)。这反过来将导致被开发海洋物种的潜在产量以及它们提供的相关经济和社会效益的变化(Gattuso等人,2015年)。这些影响将随之影响所有目标。最后,海洋中塑料数量增加的影响和潜在影响已有较多记录(例如,Beaumont等人,2019年),并将影响所有目标。

## 5. 展望

马尾藻海的短期和长期前景取决于国际决定、优先事项及合作。马尾藻海的重要性在国际上是公

认的,而且因为它位于公海,所以其保护属于若干组织的职权范围。马尾藻海所处的偏远位置以及

<sup>8</sup> 同上,第1651卷,第28395号。

规模意味着,以开阔洋的标准来看,尽管有旋转洋流的汇集效应,它仍然保持着相对原始的状态。然而,其完整性受到上述变化和其他变化的威胁,包括使用自动识别系统数据估计的约28个国家在过去三年中捕捞活动的增加(马尾藻海委员会,2019

年),该区域的航运活动增加也对完整性造成威胁。马尾藻海附近区域深海采矿的发展构成了新的威胁(Dunn等人,2018年)。马尾藻海显示了现有部门机构在整体管理公海生态系统方面面临的挑战。

## 参考资料

- Amaral-Zettler, Linda A., and others (2017). Comparative mitochondrial and chloroplast genomics of a genetically distinct form of *Sargassum* contributing to recent “Golden Tides” in the Western Atlantic. *Ecology and Evolution*, vol. 7, No. 2, pp. 516–525.
- Anonymous (2016). An assessment of the ecological importance of the Sargasso Sea to tuna and tuna-like species and ecologically associated species. *ICCAT Collective Volume of Scientific Papers*, vol. 72, No. 28, pp. 2007–2015.
- Atlantic States Marine Fisheries Commission (2018). American Eel. [www.asmfmc.org/species/american-eel](http://www.asmfmc.org/species/american-eel).
- Baker, Philip, and others (2018). Potential contribution of surface-dwelling *Sargassum* algae to deep-sea ecosystems in the southern North Atlantic. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 148, pp. 21–34.
- Barange, Manuel, and others (2018). Impacts of climate change on fisheries and aquaculture. *Synthesis of Current Knowledge, Adaptation and Mitigation Options*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Beaumont, Nicola J., and others (2019). Global ecological, social and economic impacts of marine plastic. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 142, pp. 189–195.
- Béguier-Pon, Mélanie, and others (2015). Direct observations of American eels migrating across the continental shelf to the Sargasso Sea. *Nature Communications*, vol. 6, art. 8705.
- Bermuda Atlantic Time-series Study (BATS) (n.d.). Accessed 8 November 2019. <http://bats.bios.edu>.
- Boerder, Kristina, and others (2019). Not all who wander are lost: improving spatial protection for large pelagic fishes. *Marine Policy*, vol. 105, pp. 80–90.
- Brooks, Maureen T., and others (2018). Factors controlling the seasonal distribution of pelagic *Sargassum*. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 599, pp. 1–18.
- Caesar, Levke, and others (2018). Observed fingerprint of a weakening Atlantic Ocean overturning circulation. *Nature*, vol. 556, No. 7700, p. 191.
- Carpenter, Edward J., and K.L. Smith (1972). Plastics on the Sargasso Sea surface. *Science*, vol. 175, No. 4027, pp. 1240–1241.
- Clover, Charles (2017). *Sargassum* is weird stuff – and it gets weirder. Blue Marine Foundation. 16 May 2017. [www.bluemarinefoundation.com/2017/05/16/sargassum-is-weird-stuff-and-it-gets-weirder](http://www.bluemarinefoundation.com/2017/05/16/sargassum-is-weird-stuff-and-it-gets-weirder).
- Diz, Daniela (2016). The Sargasso Sea. *International Journal of Marine and Coastal Law*, vol. 31, No. 2, pp. 359–370.
- Djakouré, Sandrine, and others (2017). On the potential causes of the recent Pelagic *Sargassum* blooms events in the tropical North Atlantic Ocean. *Biogeosciences*.
- Dunn, Daniel C., and others (2018). A strategy for the conservation of biodiversity on mid-ocean ridges from deep-sea mining. *Science Advances*, vol. 4, No. 7, eaar4313.
- Eriksen, Marcus, and others (2014). Plastic pollution in the world’s oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PLoS One*, vol. 9, No.12, e111913.

- Eriksen, Marcus, and others (2016). Nature of plastic marine pollution in the subtropical gyres. In *Hazardous Chemicals Associated with Plastics in the Marine Environment*, pp. 135–162. Springer.
- Fernandes, Jose A., and others (2013). Modelling the effects of climate change on the distribution and production of marine fishes: accounting for trophic interactions in a dynamic bioclimate envelope model. *Global Change Biology*, vol. 19, No. 8, pp. 2596–2607.
- Franks, James S., and others (2016). Pelagic *Sargassum* in the tropical North Atlantic. *Gulf and Caribbean Research*, vol. 27, No. 1, pp. SC6–SC11.
- Freestone, David (2015). Governance of Areas Beyond National Jurisdiction: An Unfinished Agenda of the 1982 Convention. *UNCLOS At 30*.
- Freestone, David, and Kate Killerlain Morrison (2014). The signing of the Hamilton Declaration on Collaboration for the Conservation of the Sargasso Sea: a new paradigm for high seas conservation? *International Journal of Marine and Coastal Law*, vol. 29, pp. 345–362.
- Gattuso, J.-P., and others (2015). Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions scenarios. *Science*, vol. 349, No. 6243, aac4722.
- Hanel, Reinhold, and others (2014). Low larval abundance in the Sargasso Sea: new evidence about reduced recruitment of the Atlantic eels. *Naturwissenschaften*, vol. 101, No. 12, pp. 1041–1054.
- Hanel, Reinhold, and others (2019). *Research for PECH Committee – Environmental, Social and Economic Sustainability of European Eel Management*. Brussels: European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies.
- Henson, Stephanie A., and others (2016). Observing climate change trends in ocean biogeochemistry: when and where. *Global Change Biology*, vol. 22, No. 4, pp. 1561–1571.
- Hu, Chuanmin, and others (2016). *Sargassum* watch warns of incoming seaweed. *Eos*, vol. 97, pp. 10–15.
- Huffard, C.L., and others (2014). Pelagic *Sargassum* community change over a 40-year period: temporal and spatial variability. *Marine Biology*, vol. 161, No. 12, pp. 2735–2751.
- International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT). Access to ICCAT Statistical Databases. [www.iccat.int/en/accesingdb.htm](http://www.iccat.int/en/accesingdb.htm).
- Johnson, Donald R., and others (2013). The *Sargassum* Invasion of the Eastern Caribbean and Dynamics of the Equatorial North Atlantic; pp. 102–103 in Proceedings of the 65th Gulf and Caribbean Fisheries Institute Conference, 5–9 November 2012. Gulf and Caribbean Fisheries Institute, Santa Marta, Colombia.
- Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP) (2014). *Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: A Global Assessment*. GESAMP Reports and Studies 90.
- \_\_\_\_\_ (2016). *Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: A Global Assessment*. GESAMP Reports and Studies 93.
- Kell, L., and B.E. Luckhurst (2018). Extending the indicator-based Ecosystem Report Card to the whole ecosystem; a preliminary example based on the Sargasso Sea. *ICCAT Collective Volume of Scientific Papers*, vol. 75, No. 67, pp. 258–275.
- Laffoley, D.d'A., and others (2011). The Protection and Management of the Sargasso Sea. Sargasso Sea Alliance.
- Law, Kara Lavender, and others (2010). Plastic accumulation in the North Atlantic subtropical gyre. *Science*, vol. 329, No. 5996, pp. 1185–1188.
- Law, K.L. (2017). Plastics in the Marine Environment. *Annual Review of Marine Science*, vol. 9, No. 1, pp. 205–229. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010816-060409>.

- Luckhurst, B.E., and Freddy Arocha (2016). Evidence of spawning in the southern Sargasso Sea of fish species managed by ICCAT – albacore tuna, swordfish and white marlin. *Collection Volume of Scientific Papers ICCAT*, vol. 72, No. 8, pp. 1949–1969.
- Luckhurst, Brian E. (2015a). A preliminary food web of the pelagic environment of the Sargasso Sea with a focus on the fish species of interest to ICCAT. *Collected Volume of Scientific Papers, International Commission for the Conservation of Atlantic Tuna*, vol. 71, pp. 2913–2932.
- Luckhurst, Brian E. (2015b) Analysis of ICCAT reported catches of tuna and swordfish in the Sargasso Sea (1992–2011). *Collected Volume of Scientific Papers, International Commission for the Conservation of Atlantic Tuna*, vol. 71, pp. 2900–2912.
- Martin, Lindsay Margaret (2016). Pelagic *Sargassum* and Its Associated Mobile Fauna in the Caribbean, Gulf of Mexico, and Sargasso Sea. PhD Thesis. Texas A & M University.
- Milledge, John J., and Patricia J. Harvey (2016). Golden tides: problem or golden opportunity? The valorisation of *Sargassum* from beach inundations. *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 4, No. 3, art. 60.
- Miller, Michael J., and others (2015). A century of research on the larval distributions of the Atlantic eels: a re-examination of the data. *Biological Reviews*, vol. 90, No. 4, pp. 1035–1064.
- Miller, Michael J., and others (2016). Did a “perfect storm” of oceanic changes and continental anthropogenic impacts cause northern hemisphere anguillid recruitment reductions? *ICES Journal of Marine Science*, vol. 73, No. 1, pp. 43–56.
- Miller, Michael J., and others (2019). Spawning by the European eel across 2000 km of the Sargasso Sea. *Biology Letters*, vol. 15, No. 4, 20180835.
- Munk, Peter, and others (2010). Oceanic fronts in the Sargasso Sea control the early life and drift of Atlantic eels. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 277, No. 1700, pp. 3593–3599.
- Neuer, Susanne, and others (2017). Monitoring Ocean Change in the 21st Century. *Eos*, vol. 98. <https://eos.org/features/monitoring-ocean-change-in-the-21st-century>.
- Nippon Foundation-Nereus Programme (2015). *Predicting Future Oceans : Climate Change, Oceans & Fisheries*.
- \_\_\_\_\_ (2017). *Oceans and the Sustainable Development Goals: Co-Benefits, Climate Change & Social Equity*.
- Northwest Atlantic Fisheries Organization (NAFO) (2015). Report of the Fisheries Commission and its Subsidiary Body (STACTIC), 37th Annual Meeting of NAFO, 21–25 September 2015, Halifax, Canada. NAFO/FC Doc. 15/23.
- O'Brien, T.D., and others (2017). *What Are Marine Ecological Time Series Telling Us about the Ocean? A Status Report*. IOC-UNESCO. IOC Technical Series 129.
- Parr, Albert Eide (1939). Quantitative observations on the pelagic *Sargassum* vegetation of the western North Atlantic with preliminary discussion of morphology and relationships. *Bulletin of the Bingham Oceanographic Collection*, vol. 7, pp. 1–94.
- Pendleton, L., and others (2015). *Assessing the economic contribution of marine and coastal ecosystem services in the Sargasso Sea*. Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions, Report NI R 14-05. Durham, North Carolina, United States: Duke University.
- Putnam, Nathan F., and others (2018). Simulating transport pathways of pelagic *Sargassum* from the Equatorial Atlantic into the Caribbean Sea. *Progress in Oceanography*, vol. 165, pp. 205–214.
- Righton, David, and others (2016). Empirical observations of the spawning migration of European eels: the long and dangerous road to the Sargasso Sea. *Science Advances*, vol. 2, No. 10, e1501694.
- Rousseau, Yannick, and others (2019). Evolution of global marine fishing fleets and the response of fished resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 116, No. 25, pp. 12238–12243.

- Sargasso Sea Commission (2018). [www.sargassoseacommission.org/about-the-commission/hamilton-declaration](http://www.sargassoseacommission.org/about-the-commission/hamilton-declaration).
- Sargasso Sea Commission (2019). [www.sargassoseacommission.org/storage/Strengthening\\_Stewardship\\_of\\_the\\_Sargasso\\_Sea.pdf](http://www.sargassoseacommission.org/storage/Strengthening_Stewardship_of_the_Sargasso_Sea.pdf).
- Schell, Jeffrey M., and others (2015). Recent *Sargassum* inundation events in the Caribbean: shipboard observations reveal dominance of a previously rare form. *Oceanography*, vol. 28, No. 3, pp. 8–11.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2012). UNEP/CBD/CoP/11/35.
- Sehein, Taylor, and others (2014). Connectivity in the slender *Sargassum* shrimp (*Latreutes fucorum*): implications for a Sargasso Sea protected area. *Journal of Plankton Research*, vol. 36, No. 6, pp. 1408–1412.
- Smale, Dan A., and others (2019). Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services. *Nature Climate Change*, vol. 9, No. 4, p. 306.
- Tetu, Sasha G., and others (2019). Plastic leachates impair growth and oxygen production in *Prochlorococcus*, the ocean's most abundant photosynthetic bacteria. *Communications Biology*, vol. 2, No. 1, art. 184.
- United Nations (2017). Chapter 50: Sargasso Sea. In *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wabnitz, Colette, and others (2019). The *Sargassum* Mass-Bloom of 2018. *Nereus Program - The Nippon Foundation* (blog). <https://nereusprogram.org/works/the-sargassum-mass-bloom-of-2018>.





