

贝类礁体 修复指南

编者: James Fitzsimons、Simon Branigan、Robert D. Brumbaugh、
Tein McDonald 和 Philine S.E. zu Ermgassen



致 谢

指南撰写得到了中国全球保护基金 (China Global Conservation Fund, CGCF) 的支持, 该基金由大自然保护协会 (TNC) 大中华理事会发起, 是一项全球性倡议。感谢首版指南作者Mike Beck和Loren Coen, 感谢程琨和Lynne Hale的全程支持和鼓励, 感谢绘制生命周期信息图的Luke Helmer和为第9章提供信息的Cherie Wagner。感谢慷慨地为我们提供配图的个人和机构: Anne Birch、Joy Brown、Lori Cheung、Ben Diggles、Andrew Jeffs、Shaun Lee、Verena Merk、欧阳凯、刘青、D.J. McGlashan、Anita Nedosyko、Joe Rieger、John Torgan、马里兰大学环境科学中心 (University of Maryland Center for Environmental Science)、Matt Uttley、Stephanie Westby、Shmuel Yozari、伦敦动物学会 (Zoological Society of London) 和Philine zu Ermgassen。排版设计由Johanna Villani Design公司的Tanya White 和 Johanna Villani负责。简体中文版译者为赵东涛, 编译程琨、刘青、王月。感谢对译文提供专家指导的全为民研究员、喻子牛研究员和王海艳研究员。

推荐引用格式: Fitzsimons, J., Branigan, S., Brumbaugh, R.D., McDonald, T.和zu Ermgassen, P.S.E. (编者) (2019). 贝类礁体修复指南. 大自然保护协会 (TNC), 弗吉尼亚州阿灵顿, 美国。

章节推荐引用格式 (举例): Brumbaugh, R.D.和 Hancock, B. (2019). 贝类礁体修复: 简介. 贝类礁体修复指南 (编者Fitzsimons, J., Branigan, S., Brumbaugh, R.D., McDonald, T.和zu Ermgassen, P.S.E.), 页码: 2-6. 大自然保护协会 (TNC), 弗吉尼亚州阿灵顿, 美国。

原文ISBN编号: 978-0-6485677-1-4

随着栖息地带来的生态和社会效益得到更广泛的认可, 修复这些栖息地已经成为许多民众和政府的优先考虑。



贻贝礁体。图源: Alan Cottingham, 莫道克大学(Murdoch University)

编者

James Fitzsimons, 大自然保护协会 (The Nature Conservancy), Suite 2-01, 60 Leicester Street, Carlton VIC 3053, Australia; 迪肯大学生命与环境科学学院 (School of Life and Environmental Sciences, Deakin University), 221 Burwood Highway, Burwood VIC 3125, Australia. 邮箱地址: jfitzsimons@tnc.org

Simon Branigan, 大自然保护协会 (The Nature Conservancy), Suite 2-01, 60 Leicester Street, Carlton VIC 3053, Australia. 邮箱地址: simon.branigan@tnc.org

Robert D. Brumbaugh, 大自然保护协会 (The Nature Conservancy), 255 Alhambra Circle, Suite 640, Coral Gables, FL, 33134, USA. 邮箱地址: rbrumbaugh@tnc.org

Tein McDonald, 澳大利亚澳大拉西亚生态恢复协会 (Society for Ecological Restoration Australasia). 邮箱地址: tein.mcdonald@seraustralasia.com

Philine S.E. zu Ermgassen, 爱丁堡大学地球科学学院 改变海洋集团格兰特研究所 (University of Edinburgh, School of Geosciences, Changing Oceans Group, Grant Institute), James Hutton Road, Edinburgh EH9 3FE, UK. 邮箱地址: philine.zuermgassen@cantab.net

章节作者:

Simon Branigan, 大自然保护协会 (The Nature Conservancy), Suite 2-01, 60 Leicester Street, Carlton VIC 3053, Australia. 邮箱地址: simon.branigan@tnc.org

Robert D. Brumbaugh, 大自然保护协会 (The Nature Conservancy), 255 Alhambra Circle, Suite 640, Coral Gables, FL, 33134, USA. 邮箱地址: rbrumbaugh@tnc.org

Bryan M. DeAngelis, 大自然保护协会 (The Nature Conservancy), 罗德岛大学海湾校区 (University of Rhode Island Bay Campus), Narragansett, RI 02882, USA. 邮箱地址: bdeangelis@tnc.org

Laura Geselbracht, 大自然保护协会 (The Nature Conservancy), 2500 Maitland Center Pkwy #311, Maitland, FL 32751, USA. 邮箱地址: lgeselbracht@tnc.org

Chris L. Gillies, 大自然保护协会 (The Nature Conservancy), Suite 2-01, 60 Leicester Street, Carlton VIC 3053, Australia. 邮箱地址: chris.gillies@tnc.org

Boze Hancock, 大自然保护协会 (The Nature Conservancy), 兼罗德岛大学海洋科学学院 (URI Graduate School of Oceanography), 215 South Ferry Rd. Narragansett, RI, 02882, USA. 邮箱地址: bhancock@tnc.org

Andrew Jeffs, 奥克兰大学海洋科学研究所 (Institute of Marine Science, University of Auckland), 新西兰奥克兰. 邮箱地址: a.jeffs@auckland.ac.nz

Ian McLeod, 詹姆斯库克大学热带水域和水生生态系统研究中心 TropWATER (Centre for Tropical Water and Aquatic Ecosystem Research, James Cook University), Townsville, Queensland, Australia. 邮箱地址: ian.mcleod@jcu.edu.au

Bernadette Pogoda, 阿尔弗雷德·韦格纳研究所赫尔姆霍尔兹极地及海洋研究中心 (Alfred Wegener Institute Helmholtz Centre for Polar and Marine Research), Am Handelshafen 12, 27570 Bremerhaven, Germany. 邮箱地址: bernadette.pogoda@awi.de

Stephanie Westby, 美国国家海洋和大气管理局 (National Oceanic and Atmospheric Administration), 200 Harry S. Truman Parkway, Annapolis, MD 21401, USA. 邮箱地址: stephanie.westby@noaa.gov

Philine S.E. zu Ermgassen, 爱丁堡大学地球科学学院海洋变化格兰特研究所 (University of Edinburgh, School of Geosciences, Changing Oceans Group, Grant Institute), James Hutton Road, Edinburgh EH9 3FE, UK. 邮箱地址: philine.zuermgassen@cantab.net

其他贡献者

Seth Theuerkauf, 大自然保护协会 (The Nature Conservancy), 全球办公室, 4245 N, Fairfax Dr, Arlington, VA 22203, USA. 邮箱地址: seth.theuerkauf@tnc.org

Marine Thomas, 大自然保护协会 (The Nature Conservancy), 中国香港北角英皇道663号荣昌千禧广场 2107-08室. 邮箱地址: marine.thomas@tnc.org

从业者参考清单

本表格是可供从业者参考的概括性清单，旨在为贝类修复项目的规划和实施提供指导。

了解工作所在的系统 (第一章、第二章)	熟悉项目当地环境中的生态系统(如历史分布*)、退化原因、当前威胁(包括病害)、双壳类动物生命周期和繁殖方式,以及群落特征。通过已有研究结果、观测、水产养殖经营者和附着板实验等渠道,收集补充量和附着时机的相关信息。
开发修复概念书,与项目的潜在利益相关方和支持者交流 (第一章、第二章)	建议开发一份简短的文件,概述项目的期望和潜在方法。利用其获得反馈和支持,从而制定更详细的可行性方案和融资建议书。尽早对接监管机构。
设计可行性方案 (第三章)	建议可行性方案包括以下内容: <ul style="list-style-type: none">· 识别参照生态系统或参照模型及衍生目标· 明确界定的S.M.A.R.T.子目标· 识别项目利益相关方和支持者· 潜在的资金方案· 不同的修复方法· 亲贝的可获得性和抗病性,以及幼苗来源(如果补充量受限)
识别资金来源,保障项目资金 (第二章)	建议把生态系统服务功能的成效与受益者关联起来,并且着重寻找与生态系统服务功能效益挂钩的资助机会。探索撬动和匹配初期资金的机会。
建立项目管理体系 (第三、四、五章)	制定详细的项目和实施计划、传播策略、志愿者管理、法律框架和合同、详细的风险评估、实地管理计划、投标和报价等。
熟知生物安全风险和许可要求 (第四章)	识别野生种群、水产养殖和渔业面临的生物安全和病害风险。了解获得许可证的要求和所需时间。了解并应对修复礁体中的贝类遭到捕捞的潜在威胁。
开展栖息地适宜性评估和试点研究 (第三、五章)	利用适宜性评估、贝类礁体的最近历史分布及试点研究,识别修复该系统的最佳地点。
确定修复所需技术方法,包括礁体设计 (第五、六、七、八章)	生态系统是否需要重建(如添加底质物和贝类)、辅助再生(如添加底质物或贝类)或减轻威胁因子(如沉积物、病害或捕食者)。使用什么样的礁体设计来支持这些技术手段?
开展修复 (第五、六章)	与社区志愿者、承包商及第三方合作,运输并投放底质物和贝类,同时减轻/消除威胁。
开展监测、评估和报告 (第七章)	根据预设的修复目标及参照生态系统和模型,监测修复进度。监测通用指标。
向利益相关方、从业者和研究人员有效沟通项目成果 (第九章)	规划传播策略,打好基础,着重视觉手段和社交媒体。

* 该地区贝类礁体的历史生态记录是修复规划非常重要的信息。

本指南旨在为贝类礁体修复项目
提供基础信息



玛格丽特礁 (Margaret's Rock) , 澳大利亚菲利普港湾 (Port Phillip Bay) 。图源: Paul Hamer

术语表

- **适应性管理 (Adaptive management)**：在执行中学习、适应的结构化决策过程，以及将学习纳入未来决策的监测评估。
- **辅助再生 (Assisted regeneration)**：退化程度中等（甚至较高）地区的恢复需要在消除退化原因的同时采取进一步的主动干预，从而纠正非生物性损害，促进生物性恢复。
- **直方区间 (Bins)**：在直方图中，将整个取值范围划分为一系列间隔，然后计算落在每个间隔中的数值有多少个。直方区间通常被指定为连续的、不重叠的变量间隔。
- **双壳类 (Bivalves)**：拥有一对外壳的水生软体动物，如牡蛎、蛤、贻贝和扇贝。
- **附着基 (Cultch)**：贝类幼苗附着或可能附着的任何底质物。
- **附着基苗 (Cultched seed)**：附着在天然或人工底质物上的贝类幼苗。
- **无附着基苗 (Cultchless seed)**：贝类幼苗附着在沙粒或贝壳碎片等极小的附着基上，因此看起来似乎没有附着在任何底质物上。
- **执行监测 (Implementation monitoring)**：直接评估修复工作是否按照预期设计和规划进行和完成。
- **适应性管理监测 (Monitoring for adaptive management)**：为后续修复管理提供信息从而完善未来修复设计的监测。
- **自然再生 (Natural regeneration)**：在退化程度相对较低（或者时间充足且附近存在能够再次繁衍的种群）的地方，动植物也许能够在导致退化的原因消除后得到自我恢复。
- **修复目标和子目标 (Restoration goals and objectives)**：修复目标描述修复位点未来预期的状况。这些长期目标由更多短期子目标支持。修复子目标应该明确修复的规模和时间，并且是可衡量的，以便评估实现目标的进展情况。
- **成效指标 (Performance criteria)**：在预计时间框架内，需要完成的实际、可衡量的目标，用于指示目标完成的进度。该指标应包括度量单位、目标值和时间范围。成效指标可以采用参照点的状况，也可以代表根据周围土地利用或其他当地情况而设定的目标。
- **成效监测 (Performance monitoring)**：监测修复活动是否达成预期的栖息地响应，如贝类总体补充量、生物量或其他种群水平的参数的变化。
- **生态重建 (Reconstruction)**：在退化严重的地区，不仅要消除或扭转所有退化原因，纠正所有生物和非生物性损害，以调整到当地参照生态系统的状态，并且需要在可行的情况下尽可能地重新引入所有或大部分应有的生物群。
- **补充量受限环境 (Recruitment-limited environment)**：附近缺乏足够的亲贝（成熟且具有繁殖能力的目标贝类）为现存礁体结构提供天然补充量。
- **参照生态系统 (Reference ecosystem)**：为确定修复项目的目标生态系统而采用的参照模型。该模型描述达到预期结果（修复后状态）所需要恢复的特定生态系统组成、结构和功能性属性。
- **可修复的海床 (Restorable bottom)**：根据现有知识和当前限制因素得出能够进行修复的海底区域范围。
- **基于修复目标的可衡量指标 (Restoration goal-based metrics)**：用于评估贝类礁体修复项目的自然和社会效益的一套可监测衡量的修复目标。
- **贝类幼苗 (Seed)**：渔业术语中通常指幼年贝类。
- **SER**：国际生态恢复协会。
- **幼体 (Spat)**：通常指附着在硬质底质物上的已渡过幼虫时期的幼年牡蛎或贻贝。
- **贝壳预算 (Shell budget)**：贝壳损耗和增长之间的差值。
- **贝类苗圃 (Shellfish gardening)**：在码头附近海域的浮板或网箱中养殖贝类，然后移植到修复区域的项目。
- **贝类礁体 (Shellfish reefs)**：沿海水域中通过如牡蛎和贻贝等双壳类软体动物的聚集和堆积而形成的结构特征。
- **附壳幼体 (Spat-on-shell)**：附着在同类或其他种类空壳上的幼年牡蛎。
- **底质物受限环境 (Substrate-limited environment)**：缺乏可供贝类幼虫附着的礁体结构的潜在贝类栖息地环境。
- **通用衡量指标和通用环境变量 (Universal metrics and universal environmental variables)**：一套可用于所有项目、不受修复目标限制的标准指标和环境变量。通用衡量指标既可以对每个礁体的基本情况进行长时间评估，又可以与其它项目进行比较。对通用环境变量的取样也能提供有价值的信息，有助于解读礁体监测活动期间收集的数据。

生态修复正被逐渐视为
全球海洋和海岸带管理的
重要组成部分

目 录

编 者	iii
从业者参考清单	iv
术语表	vi
第一章 贝类礁体修复：简介	2
第二章 贝类礁体修复及融资	7
第三章 启动：贝类礁体修复的规划、 目标设定以及可行性	18
第四章 贝类礁体修复的生物安全与许可	30
第五章 贝类礁体修复实践	36
第六章 大规模贝类礁体修复	49
第七章 为什么要监测贝类礁体？	58
第八章 贝类礁体修复：牡蛎礁之外	64
第九章 贝类礁体修复项目的传播策略	69

第一章

贝类礁体修复：简介

Robert D. Brumbaugh 和 Boze Hancock

过去十年间，海洋栖息地修复领域进展急剧加快，一部分是因为世界各地的人们越来越多地意识到海洋栖息地的退化，还有一部分是因为人类量化栖息地经济价值的的能力有所提升。随着栖息地的生态效益和社会效益得到了更好的传播，许多民众和政府已经将修复栖息地作为一项优先策略。伴随这种科学论证而来的是人们普遍认识到，世界上许多地方已经没有足够的栖息地来提供维持社会环境系统所需的服务和效益。这样一来，除了保护尚存的栖息地以外，修复成为了一项必要的管理干预措施。

海洋曾是地球上“最后的边疆”。如今，人们对它寄予厚望，期望它能成为保障人类福祉的关键驱动。事实也的确如此，世界各国都在依靠“蓝色经济”推动经济增长，联合国 2030 年可持续发展目标（Sustainable Development Goals, SDGs）也突出了海洋的重要性。为不断增长的人口提供粮食，支持经济增长和繁荣，以及适应和减缓气候变化，这些期望都贯穿在整个联合国可持续发展目标中。因此，生态修复正逐渐被视为全球海洋和海岸带管理的一个组成部分。

全球《面临威胁的贝类礁体》评估报告（Beck 等，

重要背景

“贝类礁体”是本指南全文通用的一个术语，指牡蛎和贻贝等双壳类软体动物通过聚集和堆积而形成的沿海水域的结构特征。这些结构特征在高度上可能因物种、水深以及其所在海湾、河口、潟湖的其他物理属性不同而有所变化（图1.1）。如果聚合体只有一层，且不互相叠加，那它们通常被称为“礁床”（但在本文中也认为是“贝类礁体”）。贝类礁体从本质上讲类似于更加广为人知的热带珊瑚形成的珊瑚礁。我们试图通过这个术语传达一个重要的理念：目前正在开展的修复行动通常既要达到种群层面目标（系统中有更多双壳类）又要达到结构性目标（海湾、河口或潟湖本身的物理属性）。“贝类”（shellfish）一词在一些国家和语境中的定义相当广泛，但在本文中我们将它作“双壳贝类”（bivalves）的同义词使用。

牡蛎和贻贝都是喜欢聚集生活的双壳贝类，生成结构化的种群或贝类礁体。这两种双壳贝类都经历了过度捕捞和生境退化，也是世界各地生态修复的对象。它们的生命周期、栖息地要求和其他生态属性可能有所不同，修复项目要想取得成功，就需要考虑特定物种的生物学特征。即便都是牡蛎，物种之间也存在差异，对修复项目的设计和执行影响重大。例如，凹壳的巨牡蛎属（*Crassostrea*）为卵生型，其幼虫阶段可以自由浮游，而平牡蛎的牡蛎属（*Ostrea*）则是胎生型，在外套腔内孕育后代（图1.2）。这种生殖生物学上的差异会影响修复项目的选址等。我们将尽可能明确每个章节中讨论的双壳类动物的类型，并说明特定类型的贝类修复项目是否有需要特别考虑的重要因素。



图1.1 中国江苏省的潮间带牡蛎礁。图源：刘青

2009、2011）显示形成栖息地的双壳类生物的原生种群数量广泛出现急剧下降。该发现在2011年国际生态恢复协会（Society for Ecological Restoration, SER）会议上得以提出，强调了这一区域性、乃至全球性的挑战。随后在2012年，贝类礁体被列入《拉姆萨尔湿地公约（Ramsar Convention on Wetlands）》保护的湿地类型名单。2012年以来，贝类礁体修复已经成为一项全球实践，从亚太地区、到欧洲大陆、英国和美洲大陆，规模不断扩大。

首版贝类礁体修复《从业者指南》（Brumbaugh等，2006）主要侧重于支持美国的基于社区的修复工作。通常由牡蛎捕捞业的衰落推动，持续地激发出人们解决当地牡蛎礁丧失这一问题的浓厚兴趣。科学研究揭示了完好的贝类礁体带来的潜在生态效益，如让水体更加清澈，以及为鱼类和甲壳类动物提供礁体栖息地，而这也成为许多修复项目的主要动机。无论目标如何，

美国已有足够的知识和经验为修复项目设计和监测编写基本指导原则。

这本新指南的目的是为贝类礁体修复项目的决策过程提供指导，并且通过实例介绍经验丰富的从业者在各种地理、环境和社会背景下采取的不同修复方法。新指南充分利用沿海环境中双壳类动物生态功能相关知识的进步，以及全球现有经验的深度和广度，对原《从业者指南》进行了升级和拓展。重要的是，许多现有修复工程的规模大大超过了第一代指南所反映的项目规模。本指南和旧版一样旨在提供基础信息，为启动修复工作起到帮助作用。本指南利用各国的新技术、反映不同社会和政治环境的管理框架以及较新的监测指南，在全球范围内都能得到应用。

海洋生态修复已经迅速发展为一门学科，其内容远不止贝类礁体栖息地一项。海洋领域中其他许多重要的海岸带栖息地已经成为栖息地修复的焦点，包括珊

珊瑚、海藻林、红树林、盐沼湿地和海草床栖息地。尽管陆地修复与海洋修复相比更加先进，作为一项管理干预措施也有更加扎实的基础，但二者的轨迹正在快速重合，进一步合作的机会日益显现。虽然陆地和海洋修复各自都面临一些独特的挑战，但为指导开展生态修复而制定的概念框架是通用的。

此外，采用通用的框架来描述生态修复，并在不同海洋栖息地类型以及陆地和淡水领域的从业者网络中使用相同的语言，将有助于强化生态修复的学科性，让项目之间的可比性更强，经验交流变得更加顺畅。对这种通用框架和语言的开发和阐述得最全面的是国际生态恢复协会的《国际生态修复准则和实践标准》（Gann 等，2019）（简称“SER 标准”）。本指南中开展修复的过程和用于描述贝类礁体修复的术语都尽可能采用了 SER 标准。

“修复轮盘”是 SER 标准中一个很有用的沟通工具，用于记录生态系统恢复至参照条件的进度（图 1.3）。这项工具已经成功地经过调适，使其适用于海洋栖息地修复，并可以被进一步运用到实践中。修复轮盘识别了 6 个关键的生态系统属性，或者说是生态系统功能和结构的宽泛类别，其中也涉及每个项目需制定的具体、可衡量的目标和子目标。同时，此报告框架在项目规模、战略重要性以及社会参与度等更高级别的项目关键考量之外，充分考虑生态系统属性，有助于在总结汇报进度的过程中将单个项目置于更广泛的生态环境中。修复轮盘中的 5 个同心圆环代表与当地“参照”生态系统相似程度的 5 个等级，第 1 层是持续恶化得到了终止，而第 5 层是已经建立特征性生物聚落，在没有进一步干预的情况下也可以发展出结构和营养级的复杂性（Gann 等，2019）。



中国江苏省的潮间带牡蛎礁。图源：程珺

参考文献

Beck, M.W., Brumbaugh, R.D., Airoidi, L., Carranza, A., Coen, L.D., Crawford, C., Defeo, O., Edgar, G., Hancock, B., Kay, M., Lenihan, H., Luckenbach, M., Toropova, C. and Zhang, G. (2009). *Shellfish Reefs at Risk: A Global Analysis of Problems and Solutions*. The Nature Conservancy, Arlington, VA, USA.

Beck, M.W., Brumbaugh, R.D., Airoidi, L., Carranza, A., Coen, L.D., Crawford, C., Defeo, O., Edgar, G., Hancock, B., Kay, M., Lenihan, H., Luckenbach, M., Toropova, C., Zhang, G. and Guo, X. (2011). Oyster reefs at risk and recommendations for conservation, restoration and management. *BioScience* **61**, 107-116.

Brumbaugh, R.D., Beck, M.W., Coen, L.D., Craig, L. and Hicks, P. (2006). *A Practitioners Guide to the Design and Monitoring of Shellfish Restoration Projects: An Ecosystem Services Approach*. The Nature Conservancy, Arlington, Virginia, USA.

Gann, G.D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C.R., Jonson, J., Hallett, J.G., Eisenberg, C., Guariguata, M.R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K. and Dixon, K.W. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology* **27**(S1), doi: 10.1111/rec.13035.

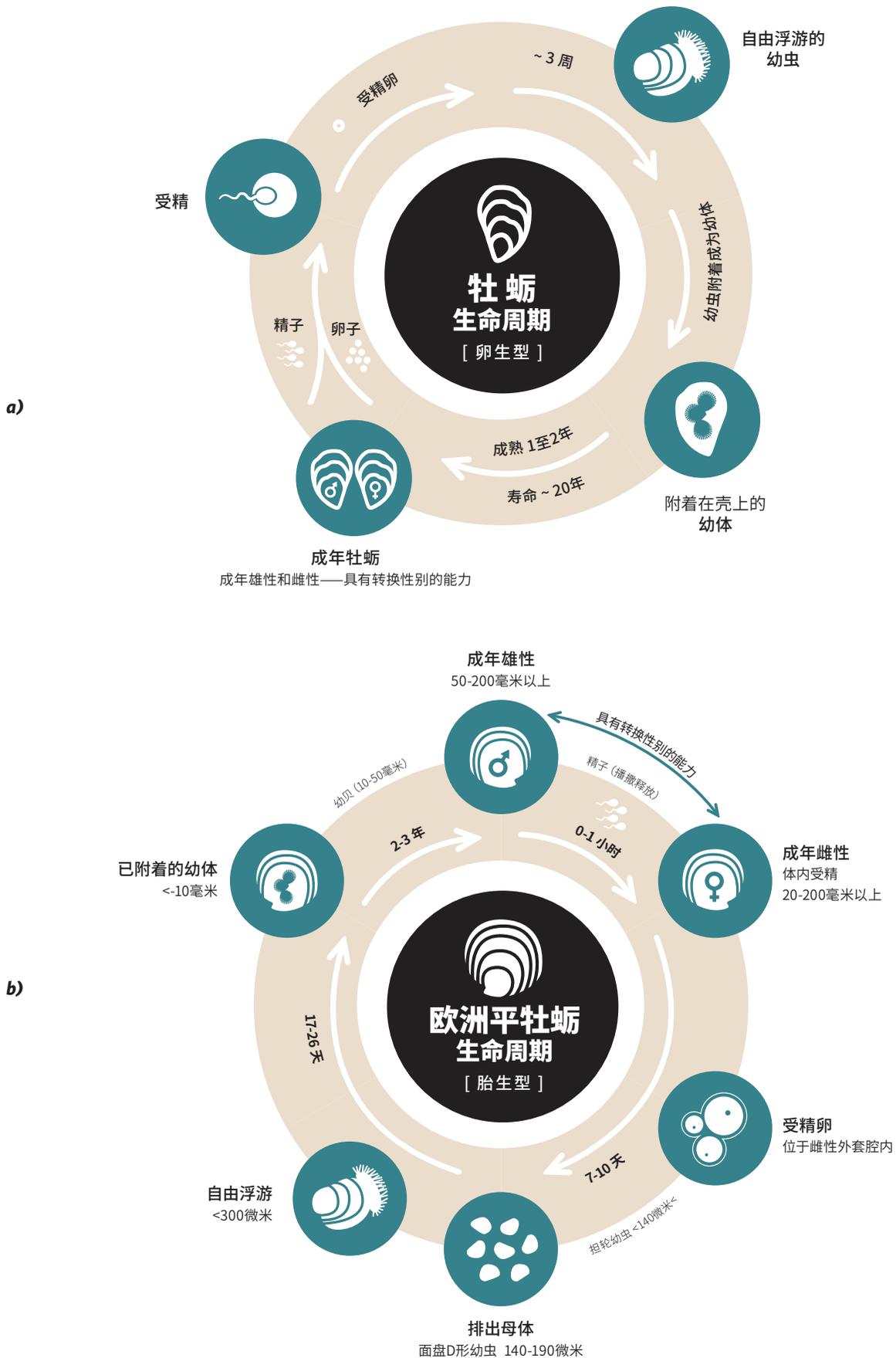


图1.2 a) 美洲牡蛎 (*Crassostrea virginica*) 和 **b)** 欧洲平牡蛎 (*Ostrea edulis*) 的生命周期。不同属的牡蛎生命周期各有不同，一些牡蛎幼虫可以自由浮游，其他则需在成年牡蛎的外套腔中孵化并度过幼虫阶段。上图展示的差异对于修复项目的设计和实施方案而言都是重要的考量因素。

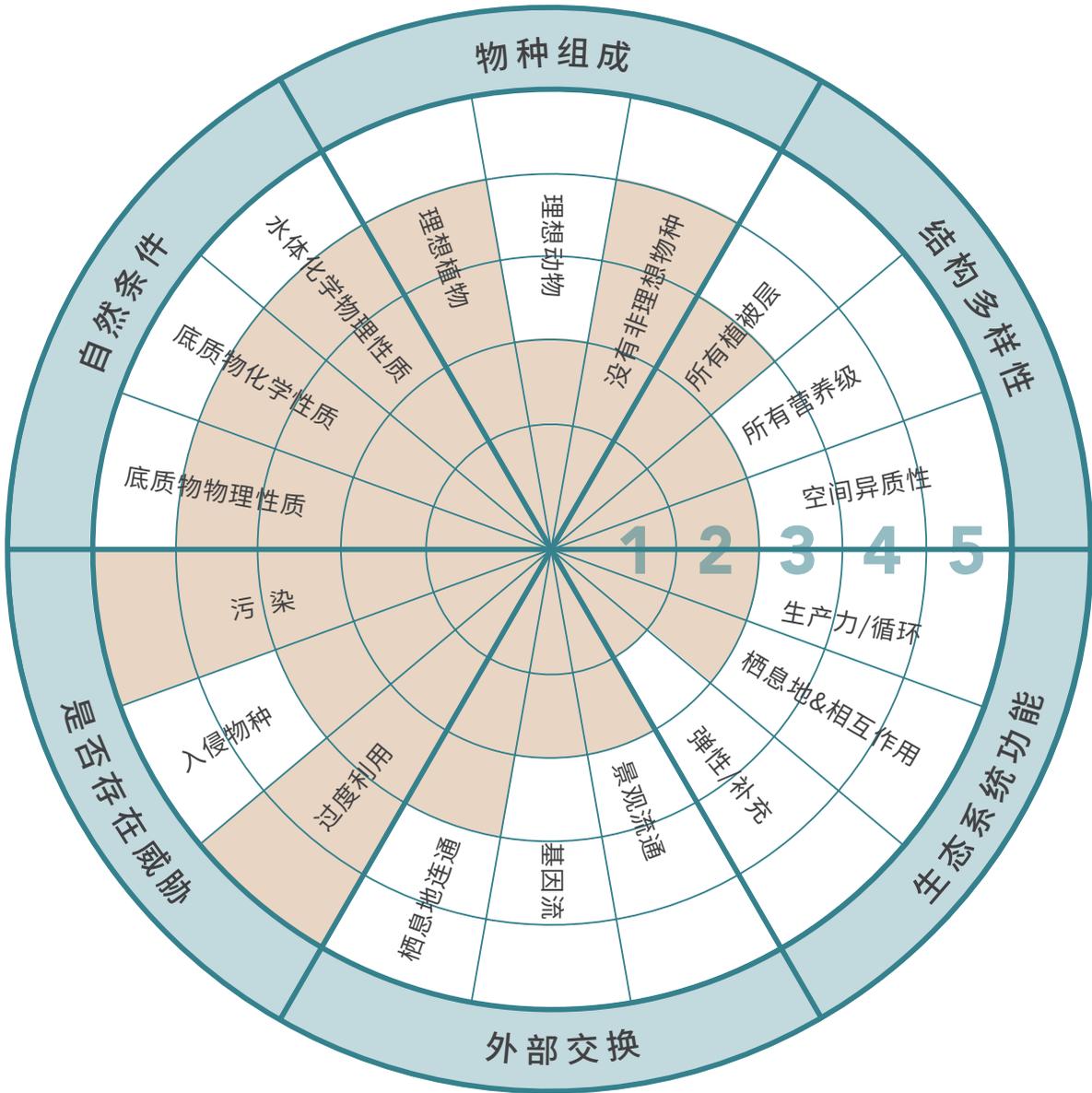


图1.3 “修复轮盘”让项目管理者能够展示进行修复的生态系统随着时间的推移所到达的恢复程度。熟知项目目标、子目标和实地情况相关指标以及当前修复水平的从业者可以在正式或非正式评估时突出每个子属性得分。Gann等（2019）文章中提供了该图表及其附表的空白模板。

第二章

贝类礁体修复及融资

Philine zu Ermgassen 和 Rob D. Brumbaugh

要点

- 贝类礁体生态系统面临威胁，但其具有很高的生物多样性价值，不论是在地方小环境还是在全球都是如此。
- 贝类礁体生态系统“对每个人都有价值”，通过渔业实现的价值只是其总价值的一小部分，贝类礁体生态系统还提供了大量其他的社会效益。
- 修复工作的资金通常来自公共拨款或慈善款项，但影响力投资和企业社会责任投资等新型资金流可能会发挥越来越大的作用。

贝类礁体修复的益处 ——对每个人都有价值

贝类礁体和礁床是全球受威胁最严重的海洋栖息地之一（Beck 等，2011）。这些生态系统也为人类提供了大量效益，包括提高生物多样性、改善水质、自身作为一项渔业产品（双壳类）、为其他渔业物种（如鳍鱼和甲壳类）提供重要生境、减少海岸线侵蚀、以及拥有重要的文化价值等。过去十年间，全球贝类修

复工作取得显著进展。

修复贝类礁体生态系统不仅能造福生态系统本身、相关物种、以及那些直接依靠采捞贝类为生的人，而且对社会方方面面都有深远的实质性益处（图 2.1）。贝类礁体修复的受益者包括当地社区（得益于水质改善或海岸线侵蚀减少）和海钓者（得益于鱼类种群增殖，以及礁体结构对鱼类的聚集作用）。如今，人们充分认识到由贝类礁体产生的大量生态系统服务功能（表 2.1）。修复这些宝贵的生态系统不仅关系到这些造福人类的生态系统服务功能，而且还可以通过提高海钓消费、促进休闲渔业和商业性捕捞的增长、减少海水中的硝酸盐含量，带来经济收益（Grabowski 等，2012）。

贝类礁体给人们提供了各种各样的益处（图 2.1）。虽然目前只有少数物种提供的生态系统服务功能得到了量化，但是所有双壳类物种都能够带来这些生境价值，这是它们的生长机制天然创造的（图 2.2）。双壳类是滤食性生物，它们过滤水体中的微粒，并将消化后的和不可食用的物质沉积到海底，有助于清理水体中的微粒，提高清澈度。将物质沉积到海底也有助于刺激细菌群落通过脱氮作用将硝酸盐污染转化为惰性氮气（图 2.2）。根据最近对苏格兰地区偏顶蛤（*Modiolus modiolus*）形成的贝类礁床周围的测量（Kent 等，2017），随时间推移，不断堆积的沉积物还能增



加碳埋藏量，起到积极的固碳作用。牡蛎等贝类在构建礁体时需要坚硬的表面或至少某种形式的坚固底质物供其附着。牡蛎倾向于附着在其他活的牡蛎和贝壳材质上，从而建立礁体系统。

构建礁体或礁床的双壳类生物是天生的栖息地创造者，这正是其提供生态系统服务功能的关键。这些复杂的三维结构创造的微生境为其他相关物种提供了避难所（图 2.3）。贝类礁体上发现的其他物种的数量和丰度通常远超过软质沉积物生境（也是退化礁体最终会演变成的形态）。这样复杂的三维结构支持其他物种的生存，包括为固着生活的动物提供附着点、为小型生物提供躲避捕食者的缝隙。上述这些，再加上微粒沉积所带来的更加丰富的食物供应，使贝类礁体成为许多幼年鱼类、甲壳类动物和其他生物的理想家园（图 2.2）。《利用生态系统服务功能制定牡蛎栖息地修复目标：管理者指南》（Setting objectives for oyster habitat restoration using ecosystem services: A manager's guide, zu Ermgassen 等, 2016）对美国贝类礁体提供的服务功能的机制与量化进行了详细的综述。

贝类礁体修复通过栖息地提供的许多生态系统服务功能，可以做到“为自己买单”，或者至少从社会

角度来看，能够获得良好的投资回报（Grabowski 等, 2012）。但如果仍对修复后礁体上的双壳类进行捕捞，那这些经济回报可就不一定了——过度捕捞向来是造成礁体自然资源枯竭、无法长期维系可持续回报的历史原因。然而，贝类礁体修复可以凭借“溢出”效应为当地双壳类渔业带来效益。在双壳类目标物种的数量仅为历史水平一小部分的地区，该效应尤为重要。这种情况下，双壳类可能由于数量少而难以形成有效繁殖。简单来说，如果双壳类个体之间距离很远，卵子和精子结合的可能性就比较小。栖息地修复可以解决这一问题，为双壳类动物提供可以高密度聚集的区



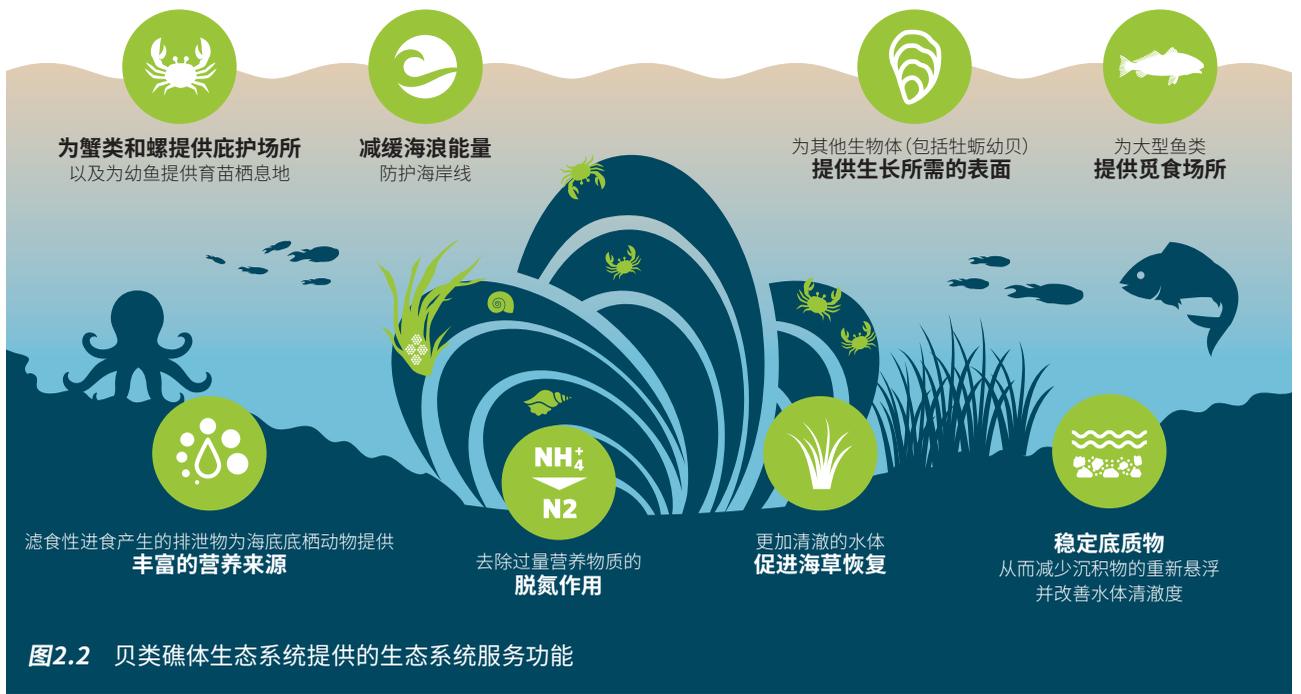


图2.3 德国北海的底表动物微生境。图源: Verena Merk

域，从而提高成功繁殖的概率。又由于幼虫都要经历一个浮游阶段，它们很可能在修复区域以外、允许捕捞的区域附着生长。生态系统修复还能为正处于敏感的幼年期的蟹类、鱼类等重要的渔业捕捞物种提供栖息地，从而为非双壳类渔业带来益处（zu Ermgassen 等，2016）。

许多双壳类动物已有长达千年的捕捞史。虽然过度捕捞也是导致这一关键生境退化的主要因素之一，但可持续捕捞和水产养殖不仅可以创造经济价值，也使全球各地许多地方社区与其环境之间有着深厚文化纽带。修复栖息地、为非修复区域创造幼虫溢出效应、支持贝类水产养殖，都有利于建立、重振以及维系与这些通常可食用物种之间的丰富的文化关联。例如英国的牡蛎节又再度兴起，吸引当地人到海边，提高了

大家对几乎已经被遗忘的欧洲平牡蛎（又称食用牡蛎，*Ostrea edulis*）的认识（图 2.4）。

贝类礁体修复和保护的融资

修复项目的成功实施不仅依靠贝类礁体修复工作本身的科学和实践，也有赖于融资。没有足够的资金，项目要么可能在规划阶段或执行过程中就陷入停滞，要么可能没有足够的资源来支持项目成效监测这项重要的工作。通常来说，需要多个来源的资金才能满足修复项目的所有需求，并且很有必要识别出可能提供额外资金的来源（或实物资源）以支持项目各方面的资金需求。例如，提供资金的机构有的支持科学，有的支持社区参与和对外联系，有的可能只支持修复项



图2.4 英国埃塞克斯郡默西岛 (Mersea, Essex) 一年一度的默西采牡蛎大赛上，一艘艘传统牡蛎手工采挖船扬帆起航。当地人聚集在船上和岸边观看参赛者徒手采捞牡蛎，然后根据他们的技术和总捕获量选出胜利者（也会品尝当地产的牡蛎）。默西岛拥有一个保护当地牡蛎的海洋保护区，这片河口的部分区域已经禁止牡蛎捕捞，且正在积极进行修复工作。

图源：Philine zu Ermgassen

表2.1: 贝类礁体生态系统提供的生态系统服务功能、受益者以及通过何种机制提供该功能。需要注意的是并非所有贝类礁体都提供以下所有服务功能，其种类会根据所在地和物种不同而有所差异。

生态系统服务功能	受益者	机制
鲭鱼类和甲壳类动物增殖	商业和休闲海钓者、原住民社区、沿海文化	通过三维礁体结构，提供避难所以及充足的饵料
减少岸线侵蚀	沿海土地所有者、当地社区和政府	通过消减波浪能、充当防波堤以及加固水道
提高海水清澈度	当地社区和休闲游客	通过滤食将沉积物和藻类沉降于海床
减少水体污染	当地社区、下游社区、休闲游客、商业捕捞者、政府	通过促进沿海水域中的氮移除（即周围沉积物中细菌的脱氮作用）
碳埋藏	政府和全球人口	通过将沉积物沉降于海底并以高于周边区域的速度将其稳定
牡蛎/贻贝渔业增殖	商业和休闲海钓者、原住民社区	幼虫从修复区域向周边地区溢出及扩散
文化价值	原住民社区、当地社区、休闲游客	支持具有数百年历史的文化生活方式和相关社区意识
增加生物多样性和生态系统稳定	从当地居民到全球人类	通过提供复杂的三维栖息地、净化海水、让微小颗粒沉入海底，使当地，乃至全球的众多物种得到增殖。丰富的生物多样性可以提升生态系统的稳定性。此外，在全球范围内开展双壳类动物修复行动，能够确保形成栖息地的双壳动物本身的多样性在当地和全球范围内都得到保护。

目本身使用材料的投放。了解资助者的优先事项，是为整个项目建立足够的资金水平迈出的第一步。

社区主导的试点项目

修复往往从小规模的“概念验证”项目开始，目的是对增加目标双壳类物种数量的方法和手段进行检验，通常是为了应对记录到的捕捞量下降、栖息地范围缩小或二者兼而有之。虽然生态系统服务功能可能是其长期的修复目标，但这种小规模修复通常只侧重于双壳类动物本身；通常考虑它们的存活和生长情况如何，如何改善它们的状况从而最大化在这些指标上取得的效果。在全球大多数地方，这些初期尝试一般由

慈善资金或有针对性的公共拨款提供支持。资助者支持此类规模的修复项目的动机通常是为了改善沿海系统的状况和解决系统中双壳类动物的历史性退化。因此，典型的资助者通常是提供社区或环境赠款的机构组织，包括政府、私人信托或企业慈善事业等。例如，英国埃塞克斯郡（Essex）的黑水（Blackwater）、罗奇（Roach）、克劳奇（Crouch）和科尔恩（Colne）海洋保护区的试点工作就获得了私人赠款、企业捐赠（塞尔福里奇百货公司，Selfridges）以及牡蛎养殖户、自然保护组织和大学等利益相关方在时间和资源上的直接投入（图 2.5）。试点工作为管理计划的制定和暂定成本的核算提供了依据，对后续成功获得欧盟和英

国政府更大的拨款起到决定性作用。

支持对社区主导项目进行监测往往具有挑战性，这是由于支持试点项目的拨款通常属于短期性质，而设计并开展科学监测又必须严谨且保证信息有效性。若要对修复成果进行论证，尽可能地进行监测是必不可少的。监测结果不仅能够维持利益相关方对项目的兴趣和支持（参见第七章），而且是对修复工作进行适应性管理的关键所在。某些情况下，监测所需的资金支持可能能够被纳入赠款的资助范畴中，但“公民科学家”的价值更值得关注——他们既对此感兴趣，也有技术能力开展此类监测（图 2.6）。可以参考大自然保护协会（TNC）与美国国家海洋和大气管理局（NOAA）编制的牡蛎修复监测手册，其中为监测工作提供了建议（Baggett 等，2014）。

扩大项目规模

贝类礁体修复的可行性一旦通过社区主导的前期项目的验证，下一个挑战就是大规模推广。这就需要对于一般用于中小型项目的公共资金进行配套，以撬动私人资金。此类“配套”资金的来源可以是行业和企业，以及包括私人信托和基金会的慈善来源。一些资助者会给予“实物”支持，比如底质物材料、工作人员和志愿者时间，或是提供驳船、起重机和船只等设备。这一阶段相关的政府资金可能包括大型计划性拨款项目，如区域发展拨款等。在整个项目周期中，对规模较小的组织而言，处理极其复杂的报告要求以及负责多个来源的资金可能会极具挑战性，与具备此类能力和经验的组织合作可能会有所帮助。如果修复目标与落实国际生物多样性承诺相契合的话（例如德国的



图2.5 英国埃塞克斯郡的附着基投放。图源：Matt Uttley



图2.6 志愿者在美国佛罗里达州夏洛特港湾 (Charlotte Harbour) 监测贝类礁体。图源: Anne Birch

RESTORE, <https://www.awi.de/en/science/biosciences/shelf-sea-system-ecology/main-research-focus/european-oyster.html>), 扩大项目规模所需的资金则有可能完全由政府提供。

美国切萨皮克湾 (Chesapeake Bay) 的早期试点修复工作旨在评估礁体结构的重要性, 以及小范围增殖放流能否有效增加种群补充量。切萨皮克湾基金会 (Chesapeake Bay Foundation)、美国鱼类基金会 (Fish America Foundation)、国家鱼类和野生动植物基金会 (National Fish and Wildlife Foundation) 以及美国环境保护局 (U.S. Environmental Protection Agency) 等关注栖息地保护的资助方为该项目提供了多个小额 (5-10 万美元) 赠款。随着相关知识的增加和经验的积累, 越来越多的公众也开始支持此类项目, 进而促使更多公共资金 (主要来自联邦政府) 投入到修复工作中, 最终见证了历史上著名的公共牡蛎捕捞业的复苏。

迄今为止, 最大规模的修复工作主要源自政治承诺, 其中往往还伴有行业发展或刺激就业的成分。对

资助者而言, 修复后的生态系统服务功能作为预期投资回报往往也是一大激励因素。例如, 在美国德克萨斯州墨西哥湾沿岸的马塔戈达湾 (Matagorda Bay), 大规模修复工作就是通过 2000 年的《河口修复法案》 (Estuary Restoration Act of 2000) 获得了联邦政府的资金支持。这项联邦法案旨在修复河口地区 100 万英亩退化的栖息地, 牡蛎礁也属于目标栖息地之一。德克萨斯州的休闲渔业非常发达, 牡蛎礁修复预计将促进重要的休闲渔业物种的产量增长, 这为马塔戈达湾的修复工作提供了强大的动力。大自然保护协会 (TNC) 和德州海洋赠款组织 (Texas Sea Grant) 联合开展的一项经济研究表明, 仅当地渔业捕捞机会的增长就带来了相当可观的投资回报 (Carlton 等, 2016)。

此类规模的拨款通常需要以大量的 (甚至可能是繁复的) 证据为基础, 甚至在拨款前, 可能还需要投入资金进行投资分析, 对潜在的投资回报, 或旅游等其它生态系统带来的收益进行评估, 以证明该项目能够获得已知环境效益以外的协同效益。拨款所要求的产

出通常包括对社会、经济和环境效益进行回顾报告，因此就需要增加额外的投入和专业知识，以确保收集和分析正确的指标信息，并及时向投资者汇报。在以生物多样性保护为首要目标的情况下（如国际承诺），证明生物多样性目标得到落实也同样重要。方框 2.2 中是成功撬动资金进行大规模修复的案例。

未来修复资金的其他来源

与生计挂钩

许多作为修复目标的双壳类动物同时也是捕捞和食用的对象，因此资助修复工作的同时还有潜力发展可持续生计。例如，由欧盟出资、伦敦动物学会管理的“我们的海洋，我们的生活”项目（Our Seas Our Life, <https://www.zsl.org/conservation/regions/africa/our-life>）



南澳大利亚州温达拉礁 (Windara Reef) 上生长的安加西牡蛎 (*Ostrea angasi*)。图源：大自然保护协会 (TNC)

方框2.2: 温达拉礁 (Windara Reef) : 礁体修复资金撬动案例研究

CHRIS GILLIES

2014 年，南澳大利亚州政府承诺投资 60 万澳元用于人工鱼礁建设（通常是混凝土块）以“补偿”因新建海洋保护区而失去的休闲海钓渔场。项目进行了公开意见征询，大自然保护协会 (TNC) 也和其他各方一起，应邀出席了公开论坛，探讨用修复贝类礁体所发挥的鱼类增殖效益代替人工礁体。

公开意见征询的结果是，公众选择了贝类礁体修复，而非人工鱼礁。于是在 2015 年初，南澳大利亚州政府将 60 万澳元拨款全部用于修复牡蛎礁。与此同时，大自然保护协会和南澳大利亚州政府就该州修复的牡蛎礁所带来的社会与经济效益，共同委托机构开展了一项经济研究和商业案例研究。

经济研究、商业案例和南澳大利亚州政府的财政承诺是申请到澳大利亚（联邦）政府区域发展计划——国家扶持偏远地区发展基金 (National Stronger Regions Fund, NSRF) 的关键组成部分。该基金提供了额外的 100 万澳元资金。与之相配套的是：南澳大利亚州政府最初提供的 60 万澳元，大自然保护协会的 139 万澳元，约克半岛地方政府的 10 万澳元，以及南澳大利亚州政府下属的两个机构（环境和渔业）额外贡献的 61 万澳元。除了总额约 420 万澳元的资金，私人基金会伊恩·波特基金会 (Ian Potter Foundation) 还为阿德莱德大学开展相关支持性研究提供了进一步资源。

该项目成功的关键因素包括：1) 使用贝类礁体修复的环境和社会效益的相关案例研究（尤其是美国的经验），帮助社区和政府利益相关方了解（与人工鱼礁相比）自然栖息地修复的益处；2) 明确社会受益者（即休闲海钓者）和经济受益者（即从该区域休闲渔业的预期增长中获得经济利益的当地服务行业）；以及 3) 成功将海洋生态系统定义为“自然基础设施”，为社区提供的有益服务等同于人造基础设施，并且可以像其他类型的基础设施一样，对其发挥的效益加以量化。

sea-our-life)正努力在莫桑比克的卡波德尔加多省(Cabo Delgado Province)建立基于社区的牡蛎养殖场,其目的是开发具有经济可行性并且环境友好的生计,以替代对海洋资源的不可持续捕捞,同时为社区女性提供生计机会(图2.7)。

在经济发达国家,支持生计发展的资金也是潜在资金来源。例如,欧洲海洋渔业基金(European Maritime Fisheries Fund)正在资助英国多个牡蛎修复项目,目的是支持相关渔业、生物多样性以及发展相关的水产养殖。

生物多样性补偿

对于陆地生态系统来说,通过修复栖息地来减缓工业发展造成的栖息地丧失是很常见的。在应对发展给生物多样性带来的负面影响的减缓措施的等级划分中,生物多样性补偿是其中一项,并且被多个国家纳入到政府政策中。虽然目前很少在海洋环境中开展生物多样性补偿,但决策者和极具企业责任感的公司对此正表现出日益浓厚的兴趣(详见方框2.3)。开展针对贝类礁体修复的生物多样性补偿行动,需要在制定投标计划前,提前与相关行业建立密切的伙伴关系,或使



图2.7 莫桑比克卡波德尔加多省当地社区的牡蛎养殖场。图源:伦敦动物学会

其发挥领导作用。早期参与非常关键，以确保项目规划中包含生物多样性补偿所需的成本，以及相关效益得到正确认识。而政府部门也需要对这些效益有充分的认识，才能有效审核各种投标计划。因此，教育、政策和规章都将发挥重要作用，共同推进生物多样性补偿在修复海洋环境中的潜力，为贝类礁体的修复提供资金。

为生态系统服务功能付费

为生态系统服务功能付费（Payments for Ecosystem Services, PES）是确保贝类礁体的管理和维护有长期资金流的另一条潜在途径。这种方式已在红树林保护上得到过实践，由当地渔民为保护附近的红树林提供资金支持；尽管贝类礁体保护尚未出现类似的实践，但随着更多的增殖非双壳类渔业和清除营养物等生态效益相关数据的积累，类似的操作应该会成为可能。例如，如果其价值有强有力的科研结论支撑，那么通过双壳类修复来清除过多营养物就有可能被纳入减少海水氮磷营养物的目标中。切萨皮克湾已在草拟相关建议（Malmquist, 2018）。

蓝色债券和影响力投资

随着贝类礁体修复相关科学的不断进步，人们愈发希望开发以长期可持续资金为目标的融资模式。各国政府和越来越多的多边投资者正在探索“蓝色债券”的潜力，募集资金以资助将已量化出经济价值的生态系统服务功能作为核心产出的环境倡议方案。

另一大新兴融资领域是“影响力投资”，为私人资本投资者寻找能够创造显著社会和环境效益、且最终能够收回初始资本的投资方案（这一过程中本金可能会、也可能不会产生可观的额外利息）。若产生的效益具独立市场价值（如氮额度、提升渔业产量或减缓风暴影响），那么将其融入到修复方案中则更有可能获得此类资金支持。

方框2.3

格伦莫兰吉公司与多尔诺奇环境改善项目：行业伙伴关系案例研究

多尔诺奇环境改善项目（DEEP）是格伦莫兰吉（Glenmorangie）公司、赫瑞-瓦特大学和海洋保护学会之间的合作项目，旨在恢复苏格兰高地多尔诺奇峡湾保护区的欧洲平牡蛎（图 2.8 和 2.9）

格伦莫兰吉公司酿酒厂自 1843 年以来一直位于多尔诺奇峡湾畔的苏格兰高地，因此有很强的地域意识，且长期关注酿酒厂在当地社区和环境中的作用。此外，奢侈威士忌的消费群体在道德上的要求越来越高，因此良好的管理甚至可以以品牌价值的形式带来投资回报。修复受损已久的牡蛎礁有助于提高生物多样性，而且能和格伦莫兰吉（2017 年）新增的厌氧消化设备联合净化蒸馏过程中的副产品——对酿酒厂来说，这是环保第一原则。该设备预计将净化高达 95% 的废水，剩余 5% 的有机废物由牡蛎负责清理。

总体而言，DEEP 项目的整体目标是促进威士忌酒厂在符合排放标准之余，达到极高的环境标准。



图2.8 格伦莫兰吉公司的Hamish Torrie和赫瑞-瓦特大学 (Heriot-Watt University) 的Bill Sanderson博士正在检查欧洲平牡蛎，之后这些牡蛎就要在多尔诺奇峡湾新建的栖息地中定居下来。

图源: Rich Shucksmith



图2.9 作为DEEP项目的一部分, 科学家将欧洲平牡蛎放置在多诺奇峡湾重建的礁体上。图源: Rich Shucksmith

参考文献

- Baggett, L.P., Powers, S.P., Brumbaugh, R., Coen, L.D., DeAngelis, B., Greene, J., Hancock, B. and Morlock, S. (2014). *Oyster Habitat Restoration Monitoring and Assessment Handbook*. The Nature Conservancy, Arlington, VA. Available: <http://www.oyster-restoration.org/wp-content/uploads/2014/01/Oyster-Habitat-Restoration-Monitoring-and-Assessment-Handbook.pdf>
- Beck, M.W., Brumbaugh, R.D., Airoidi, L., Carranza, A., Coen, L. D., Crawford, C., Defeo, O., Edgar, G.J., Hancock, B., Kay, M., Lenihan, H.S., Luckenbach, M.W., Toropova, C.L., Zhang, G. and Guo, X. (2011). Oyster reefs at risk and recommendations for conservation, restoration and management. *BioScience* **61**, 107-116.
- Carlton, J.S., Ropicki, A. and Balboa, B. (2016). *The Half Moon Reef Restoration: A Socioeconomic Evaluation*. Texas Sea Grant Publication TAMU-SG-16-211. Texas Sea Grant College Program, College Station, Texas.
- Cornwell, J., Rose, J., Kellogg, L. M., Luckenbach, M., Bricker, S., Paynter, K., Moore, C., Parker, M., Sanford, L., Wolinski, B., Lacatell, A., Fegley, L. and Hudson, K. (2016). Panel recommendations on the oyster BMP nutrient and suspended sediment reduction effectiveness determination decision framework and nitrogen and phosphorous assimilation in oyster tissue reduction effectiveness for oyster aquaculture practices. Oyster BMP expert panel first report. Chesapeake Bay Program (CBP) Partnership. Available: https://www.chesapeakebay.net/documents/Oyster_BMP_1st_Report_Final_Approved_2016-12-19.pdf
- Grabowski, J.H., Brumbaugh, R.D., Conrad, R.F., Keeler, A.G., Opaluch, J.J. Peterson, C.H., Piehler, M.F. Powers, S.P. and Smyth, A.R. (2012). Economic valuation of ecosystem services provided by oyster reefs. *BioScience* **62**, 900-909.
- Kent, F.E.A., Last, K.S., Harries, D.B. and Sanderson, W.G. (2017). In situ biodeposition measurements on a *Modiolus modiolus* (horse mussel) reef provide insights into ecosystem services. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **184**, 151-157.
- Malmquist, D. (2018). Interactive model helps stakeholders plan for Bay health goals. Available: https://www.vims.edu/newsandevents/topstories/2018/oyster_tmdl_model.php.
- zu Ermgassen, P., Hancock, B., DeAngelis, B., Greene, J., Schuster, E., Spalding, M. and Brumbaugh, R.D. (2016). *Setting Objectives for Oyster Habitat Restoration Using Ecosystem Services: A Manager's Guide*. The Nature Conservancy, Arlington VA. Available: https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Marine/Area-basedManagement/mow/mow-library/Documents/OysterHabitatRestoration_ManagersGuide.pdf

第三章

启动：贝类礁体修复的规划、目标设定以及可行性

Chris L. Gillies

要 点

- 考虑修复背后的主要和次要动机对于明确利益相关方的期望、设定目标和子目标、以及指导详细的项目设计和实施都非常重要。
- 在实际投入大量时间和资源之前，首先制定书面的规划设计并开展可行性研究，是审议不同备选方案及其成效、识别具体行动方案的风险和挑战、以及了解现状最简单且最具成本效益的方法。
- 需选定参照生态系统或模型作为修复的生态目标，用于指导项目规划、设定生态目标以及支持监测。

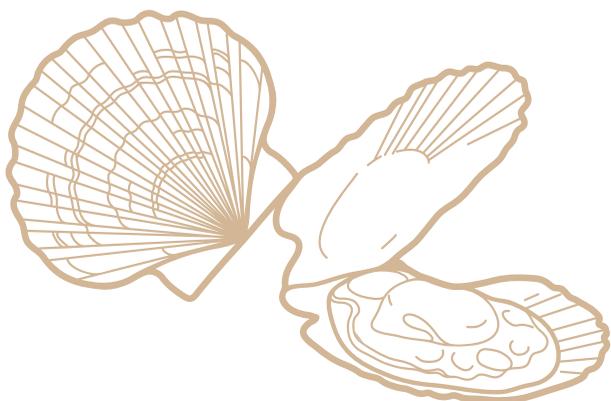
引 言

任何修复项目的第一阶段都应该是审议并制定书面的规划设计，清楚明确项目目标、原理、关键策略或活动、以及预期成果。在实际投入大量时间和资源之前，制定书面计划是审议不同备选方案及其成效、识别具体行动方案的风险和挑战、以及了解现状最简单且最具成本效益的方法。虽然规划并不能保证项目中所有潜在的问题都能得到识别或解决，但可以促使项目支持者“仔细思考”，基于证据或全面的知识，得出符合逻辑、条理清晰的决策。

有许多免费的指南和资源可以为修复项目的规划提供帮助，其中一些是为了支持保育和修复项目而专门制定的，例如本指南、《保育实践公开标准》（Open Standards for the Practice of Conservation, CMP, 2013）、《自然保护系统工程》（Conservation by Design, 大自然保护协会 TNC, 2016）、以及《国际生态修复准则和实践标准》（即 SER 标准, Gann 等, 2019）。

一个典型的项目规划应包括：

- 描述目标生态系统或参照模型，明确本章“可行性研究”部分中提到的主要结构性组成、生物群落、重要物种间的相互作用和功能性过程（即生态系统服务功能）
- 明确项目最终希望实现的众多目标
- 项目子目标（应满足具体 Specific、可衡量



Measurable、可实现 Attainable、相关 Relevant、有时限 Time-bound 这五个要求，即 S.M.A.R.T 目标），用于描述项目里独立的工作部分（如社区参与、礁体修复、项目管理、监测）

- 概述策略（也称活动或行动）及时间线。每个策略应描述实现项目子目标所需的主要任务
- 项目持续时间、产出（每个子目标需交付的产出）和最终成果
- 负责执行和支持各项工作的人员名单，及每个人的角色和责任
- 概述初步可行性分析以及知识和信息方面存在的空缺或限制
- 风险评估和许可要求
- 预算
- 监测评估和报告框架（即如何根据既定目标衡量项目成功与否）
- 传播策略框架（即如何宣传推广该项目）

由于修复项目持续时间长，所以规划过程必须使用适应性管理原则。简单来说，适应性管理融入了“边做边学”的理念，在过程中学习（例如通过监测、试点实验、科学研究），并将学之所得融入到未来的决策中。适应性管理对于贝类修复尤为重要，因为每个项目都是独一无二的，贝类修复不太可能出现两个地点、生态群落或起始状态完全相同的情况。

设定修复目标

每个修复项目都应以一套明确的、预期实现的修复目标为指导，可以包括生态目标（如修复至目标生态系统的状态）、社会和经济目标（如志愿者参与、提供就业）和项目效率目标（如在给定的预算和时间内开展工作）。设定生态目标有时会很困难，尤其是不同的利益相关方对项目的预期可能会有所不同。例如，目标可能是“在某时间节点前，修复生态系统从而改善海洋生物多样性”或“修复生态系统以提升休闲渔业”。这两个目标都要求修复生态系统，但后者在修复之余更强调特定物种的多样性（即具有休闲渔业价

值的鱼类物种）和特定类型的生态系统服务功能（即提高渔业产量）。虽然这两个目标寻求的都是生态系统得到修复，但理解其主要修复动机将有助于规划项目设计、构建和监测的方式，决定目标生态系统或模型（详见下文）的选择，并且最终影响利益相关方对项目成功与否的认定（关于不同的子目标对项目设计的影响，详见表 3.1）。出于这些原因，花时间思考项目真正的动机，以及这些动机对修复可行性和方法的影响是非常重要的。

如果项目支持者希望从单个项目中获得多个成果，那就必须明确一个让所有利益相关方都能认可的主要目标（或动机），这有助于确保整个项目有可以指导其决策的主要目标。其他期望达成的成效，如多种生态系统服务功能（休闲渔业鱼类增殖、岸线防护、过滤水体）等，则需明确定义为次要成效或动机——它们之间若不能相互吻合，就需要对其进行“权衡”。例如，几乎不太可能设计出修复项目以既满足捕捞又具有岸线防护效益，因此在规划阶段就需要选择以其中一个为优先。

关于设定恰当的贝类生态系统修复目标以及如何让利益相关方参与目标设定过程的进一步指导详见第三、四章（以及 zu Ermgassen 等，2016）。明确项目目标、制定实现该目标所需的具体子目标之后，下一阶段就是评估项目是否可行。

为什么要开展可行性研究？

可行性研究的目的是了解拟修复位点的贝类礁体生态系统的已知（和未知）信息，以及评估项目在其所处的环境、社会和经济背景下能否达到目标。可行性研究并不难，但应包括以下几个简单的步骤：

1. 确定在预期的地理范围内开展生态系统修复是否可行
2. 了解应参与该项目的人员，以及他们参与项目的背景和阶段
3. 了解用于指导修复过程的当地可用于参照的生态系统或生态目标（即生态系统目标）

表3.1: 举例说明目标相似、但动机或预期成效存在的细微差异将如何影响修复项目决策。

	不同设计的考量因素	
	修复生态系统的主要目标是生物多样性	修复生态系统的主要目标是某种特定的生态系统服务功能（如渔业产量）
选 址	考虑是否靠近其他礁体生态系统，最大限度地增加可供繁殖扩散的物种库。	考虑礁体是否靠近目标鱼类种群，以及与该鱼类其他生境之间的连通性。
修复设计	设计应最大限度地增加不同生态位生存空间的多样性（例如大大小小的缝隙空间、不同的礁体尺寸、高粗糙度等）。	设计应最大限度地促进鱼类幼苗的补充、保护和生长（例如加高礁体高度以降低水流速度、选择合适的底质物材料以营造适合鱼类栖息的缝隙空间）。
监 测	使用通用的生物多样性监测，侧重物种丰富度（或目标指标）。所有物种同等重要。	侧重衡量鱼类补充量、生物量和丰度，以此为主要生物多样性目标。
融 资	以常见的环境资助和社区资金为目标。	以休闲渔业和商业捕捞业、捕捞许可费、海钓俱乐部、渔业管理机构为目标。
利益相关方支持	涉及只希望修复生态系统，而不需要实际投资回报的群体。	涉及休闲渔业和商业捕捞业、渔业及水产研究机构和渔业管理机构。
衡量成效	力求提高生物多样性，达到参照生态系统或模型的标准。	力求提高具有休闲渔业或商业捕捞价值的鱼类生物量，达到参照生态系统或模型的标准。

关注以下事项将有助于指导项目规划的制定，包括：识别支持和维系生态系统的主要物理和生物属性、以及正向的种间相互作用（通常从类似的参照生态系统得出，即生态目标），设定 S.M.A.R.T 子目标，确定重点区域内可修复的面积和可行的修复位点，明确具体的修复或建设方法，识别修复工作面临的风险（以及减轻这些风险的方法），确定用于监测和评估的关键指标。可行性评估还有助于开发项目建议书，并向利益相关方、监管机构和潜在的项目资助者证明项目已开展尽职调查。

可行性研究不必是一个冗长的文件，但必须足够详

细，才能回答项目内容、所在地、时间和管理方式等基本问题。

开展可行性研究的方法和信息来源

很多信息来源都可用于确定修复所需达到的以及开展可行性研究所需的生态参照或目标生态系统，其中包括：

- 科学期刊文章（通常可以在 Google Scholar 或 ResearchGate 上免费访问，也可以直接联系文章作者）

- 历史报纸文章、照片、地图和书籍（当地图书馆、图书馆线上数据库、当地历史学会）
- 社区和传统生态知识（可以通过对当地居民、长期业主、当地环保组织、渔民、潜水员、教师进行采访和调查获得）
- 贝类养殖和贝类捕捞业、贝类养殖户 / 捕捞者
- 软体动物学会、地理学会、科学学会、高校
- 政府报告和调查（历史纪录和当前现状）
- 直接观测和实验

与当地高校、历史学会或愿意提供帮助的图书馆工作人员合作，通过他们的帮助能够获取原本受到限制或难以找到的信息，以及了解开展科学研究与观测的规则。建议前后一致的使用“牡蛎”、“牡蛎捕捞”、“贻贝生态系统”等关键词，并将搜索限定在特定地理区域内，有助于系统的搜索信息。记录下搜索的关键词及方法，这样不仅方便未来继续研究，也方便他人参与这一过程。

第 1 步：确定在预期的地理范围内开展生态系统修复是否可行

要了解在某一河口或沿海地区开展修复工作是否可行，既可以采用对现有信息进行简单总结的方式，也可

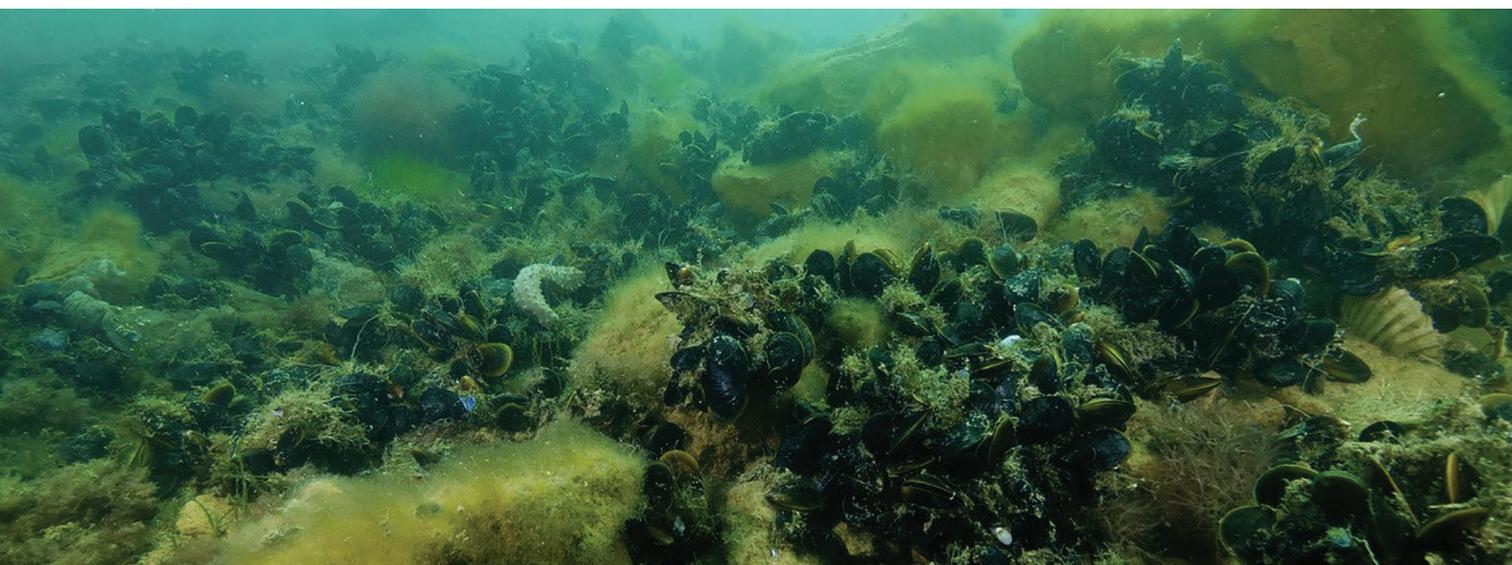
以借助更复杂的修复适宜性模型及地理信息系统（GIS）进行空间分析（方框 3.1）。所有方法都建立在一系列基本问题的基础上，根据生态系统的生物和物理属性需求，确定开展修复工作的可行区域。附录 3.1 中详细列出的问题可以作为可行性研究的基础。这些问题通常可分为三个方向：

1. **（最初导致生态系统退化的）威胁因子是否已经被解决或得到充分的控制？**要回答这个问题，可以考虑对以下几个方面进行评估：过去和现在的捕捞压力、污染和水质状况、病害流行和传播的风险、沉积物和捕食者状况。

2. **对于形成生境的主要双壳类动物以及相关生态群落而言，该地区的环境和物理参数（如盐度、酸碱度、溶氧量、波浪能、底质条件）是否在其耐受性范围内？**如果不是，能否通过主动修复轻易地加以改善或管理（如添加底质物以改善底质条件、选择具有抗病性的贝类、限定位点选择等）？

3. **修复活动是否有后勤保障的需求或者能够满足监管要求，以及其是否在预算范围内？**（包括：能否使用或获得海运装载设施、牡蛎育苗场、贝类附着基、底质物、必须的许可、开发申请、生物安全许可、动物转移许可等）。

对这些条件支持与否则的证据应来自于直接观测、科



修复后的贻贝礁体，澳大利亚菲利普港湾。图源：Jarrod Boord

学研究、坊间信息和传统知识、或政府报告。其他需考虑的因素包括：

- 靠近使用率高或文化敏感的地区（如水产养殖区、海洋保护区、航道、游憩区、传统捕捞区、文化遗址）。若该区域存在此类用途，则应再次考虑选址和修复项目在该环境下是否适宜，并让牵涉到的利益相关方参与进来。
- 生态系统的历史分布区域范围，即残存有礁体或礁床，或者可能提供天然幼苗补充的牡蛎或贻贝生物量密集的区域。
- 靠近其他结构化生态系统（有助于加强生态系统连通性和可供物种的物种库）。
- 外部机构识别出的保护优先区。
- 贝类礁体的建立对其他生态系统或濒危物种造成的潜在不良影响（方框 3.2）。

一张标注有这些区域的简单地图，或者精度更高的 GIS 分析或模型（方框 3.1）更便于识别：1）可修复的海床总面积，即理论上生态修复可行的范围（可用于制定长期规划和目标设定），2）初步进行修复实验或者深入开展实地调查的首选地点，以及 3）初步实验或试点项目和大规模修复期间应解决的风险。

最后，还应考虑气候变化或未来潜在的开发利用所导致的当地条件变化。例如，气候变化可能会带来新的威胁，如入侵物种、海平面上升、海水酸化、当地盐度和温度变化等。



第 2 步：了解应参与该项目的人员，以及他们参与项目的背景和阶段

利益相关方识别和分析是确定项目参与人员及其参与方式的最简单方法。首先按照类别或具有相似观念的群体，列出所有利益相关方，然后评估他们可能的需求和在项目中的参与程度。这么做有助于确定项目规划和实施期间需优先咨询的群体。

举例说明分类或群体包括：

- 河口或沿海区域使用者（游憩、工业、文化）
- 陆地及海洋管理者和监管者、有威望者、周边居民
- 潜在的项目资助者
- 项目支持者和志愿者
- 相关课题的专家（如海洋生态学家、牡蛎和贝类生物学家、资源管理者、牡蛎捕捞者）
- 项目批评者

需针对每个利益相关方做出决策，是知会、邀其参与、还是征询其意见，以及应在哪个阶段（即可行性研究、规划、实施、监测）采取这些应对方式。了解谁从修复项目中获利（或损失）最多将有助于识别项目合作伙伴、支持者、资助者，以及合作和参与工作的重点。

第 3 步：了解用于指导修复过程的当地参照生态系统或生态目标

国际生态恢复协会对修复项目的基本建议便是使用参照生态系统（可以是综合参照“位点”或模拟生态系统）。参照生态系统或模型可用于指导项目设计、生态目标制定，以及支持监测（Gann 等，2019）。参照生态系统或参考模型应描述生态系统已知的生态和物理特征信息（模拟贝类生态系统的模型示例详见 Gillies 等，2016），就好比是建筑师要复制一座现有房屋所需的详细工程图纸。参照位点或模型应提供的有关信息包括关键物种、物理属性、结构和生态属性、功能性过程以及典型动物群。

这些信息可用于：

1. 比较修复位点和参照生态系统，识别修复过程中需要恢复的主要结构特征、生物组成和种间相互作用（如增加底质物、牡蛎幼体、植食物种）
2. 确认修复位点能否与附近现有的生态系统连通，以加快物种和基因的交流
3. 为修复位点制定具体的生物学目标，如牡蛎（或其他双壳类物种）密度、生物多样性、功能性群体和生态系统服务功能，或帮助确定指标、关键种或正向的种间相互作用
4. （在使用参照生态系统而非模型的情况下）“实时”评估修复进度。使用“修复前 - 修复后 - 控制变量 - 影响 - 参照”（Before-After-Control-Impact-Reference）的监测框架设计时，气候变化等宏观因素的现状基线可用参照生态系统来代表（见 Baggett 等，2014）。

概念图或修复轮盘是对管控着生态系统的关键过程的现有信息进行概括总结的一种有效方法（图 1.3），并且有助于更深入地了解维系生态系统的关键过程以及生物和物理属性。

如果其中一些问题找不到答案怎么办？

无论评估有多么详细，能够对项目可行性相关的所有问题给出确切答案的项目少之又少。因此，可行性研究应根据当时掌握的证据，判断项目（通常是小规模试点——详见第五、六章）是否应该（或不应该）进入下一阶段。可行性评估中识别出的问题可能仍需在大规模修复之前得到解决，而这正是试点研究和进一步科研应关注的方向。其他数据缺口可以通过使用适应性管理原则或纳入项目规划加以管理。

参考文献

- Baggett, L.P., Powers, S.P., Brumbaugh, R., Coen, L.D., DeAngelis, B., Greene, J., Hancock, B. and Morlock, S. (2014). *Oyster Habitat Restoration Monitoring and Assessment Handbook*. The Nature Conservancy, Arlington, VA, USA.
- Casazza, M.L., Overton, C.T., Bui, T.-V.D., Hull, J.M., Albertson, J.D., Bloom, V.K., Bobzien, S., McBroom, J., Latta, M., Olofson, P., Rohmer, T.M., Schwarzbach, S., Strong, D.R., Grijalva, E., Wood, J.K., Skalos, S.M. and Takekawa, J. (2016). Endangered species management and ecosystem restoration: finding the common ground. *Ecology and Society* **21**, 19.
- CMP (2013). The Open Standards for the Practice of Conservation, Version 3.0. April 2013. The Conservation Measures Partnership Available: <http://cmp-openstandards.org/>
- Gann, G.D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C.R., Jonson, J., Hallett, J.G., Eisenberg, C., Guariguata, M.R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K. and Dixon, K.W. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology* **27**(S1), doi: 10.1111/rec.13035.
- Gillies, C.L., Crawford, C. and Hancock, B. (2017). Restoring Angasi oyster reefs: What is the endpoint ecosystem we are aiming for and how do we get there? *Ecological Management & Restoration* **18**, 214-222.
- Kwan, B.K.Y., Chan, H.K. and Cheung, S.G. (2017). Habitat use of globally threatened juvenile Chinese horseshoe crab, *Tachypleus tridentatus* under the influence of simulated intertidal oyster culture structures in Hong Kong. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **28**, 124-132.
- Puckett, B.J., Theuerkauf, S.J., Eggleston, D.B., Guajardo, R., Hardy, C., Gao, J. and Luettich, R.A. (2018). Integrating larval dispersal, permitting, and logistical factors within a validated habitat suitability index for oyster restoration. *Frontiers in Marine Science* **5**, 76.
- Theuerkauf, S.J. and Lipcius, R.N. (2016). Quantitative validation of a habitat suitability index for oyster restoration. *Frontiers in Marine Science* **3**, 64.
- TNC (2016). *Conservation by Design 2.0. Version 1*. The Nature Conservancy, Arlington VA. Available: <https://www.conservationbydesign.org/>
- zu Ermgassen, P., Hancock, B., DeAngelis, B., Greene, J., Schuster, E., Spalding, M. and Brumbaugh, R. (2016). *Setting Objectives for Oyster Habitat Restoration Using Ecosystem Services: A Manager's Guide*. The Nature Conservancy, Arlington VA. Available: https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Marine/Area-basedManagement/mow/mow-library/Documents/OysterHabitatRestoration_ManagersGuide.pdf

方框 3.1: 贝类生态系统修复选址: 地理空间决策支持工具的价值

SETH THEUERKAUF

贝类礁体修复项目的选址往往决定着项目能否成功。例如，选址若位于幼虫补充量不足或定期发生低溶氧事件的地区，修复的礁体或许将永远无法成活，也可能会发生周期性的高死亡率事件。牡蛎礁的历史分布图经常作为指导修复工作的工具，但在这些分布覆盖范围以外的区域，或者修复地点位于已经城市化、环境条件发生变化的河口，这些分布图的用处可能有限。过去 10 年间，针对牡蛎修复的地理空间决策支持工具（通常称为栖息地适宜性指数，Habitat Suitability Indices，以下简称“HSI”）已成为综合多元空间数据（包括环境、生物、后勤保障等标准）的强有力工具。

学术文献中阐述过多个采用 HSI 成功规划和实施的牡蛎修复案例，其框架也为开发新的 HSI 打下基础。Theuerkauf 和 Lipcius（2016）对这些工具以及每个 HSI 中考虑的空间标准进行了综述。因为用于牡蛎修复 HSI 的技术方法明确且易复制，开发新的 HSI 通常只需决定关键空间指标，这些指标可从利益相关方以及后续整合的适用的空间数据集（例如来自政府自然资源部门或遥感数据源）中获得。需要注意的是，尽管 HSI 的开发相对简单，但必须采用多种评估方法来确保其对牡蛎修复做出的建议的可靠性（例如，灵敏度分析、使用独立的牡蛎密度数据验证其结果）。此外，基于网络的制图工具，例如大自然保护协会（TNC）为位于美国的工作开发的修复探索工具（Restoration Explorer），示范了易于使用的平台如何帮助从业者更好地根据修复需求制定最适宜的规划（图 3.1）。



中国浙江省三门县的贝类礁体投放。图源：董大正

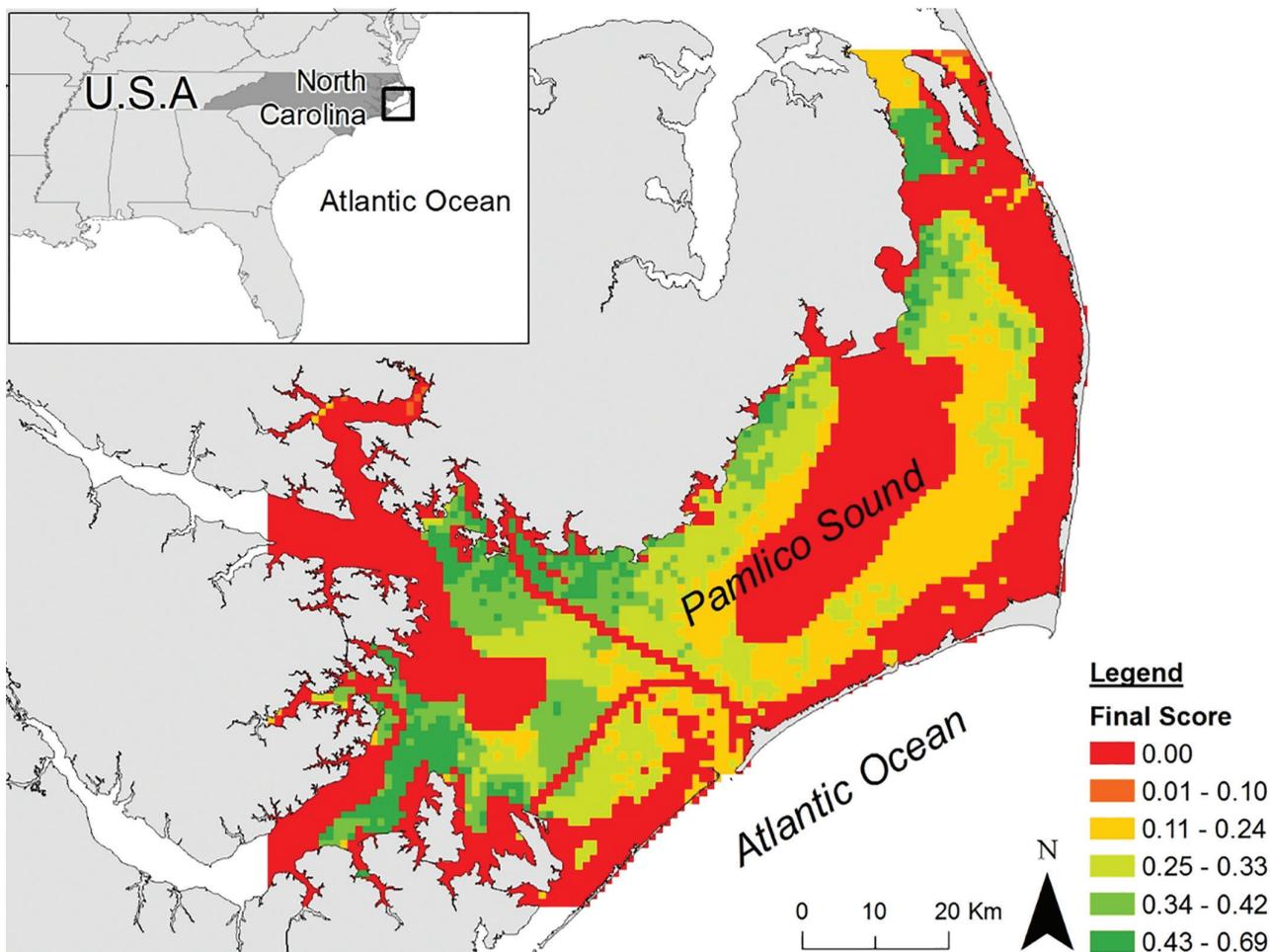


图3.1a 美国北卡罗来纳州牡蛎修复的栖息地适宜性指数 (HSI) 结果输出示例。该指数整合了环境、生物和后勤保障等多个关键指标 (改编自Puckett等, 2018)。修复适宜性从低 (红色) 到高 (绿色)。

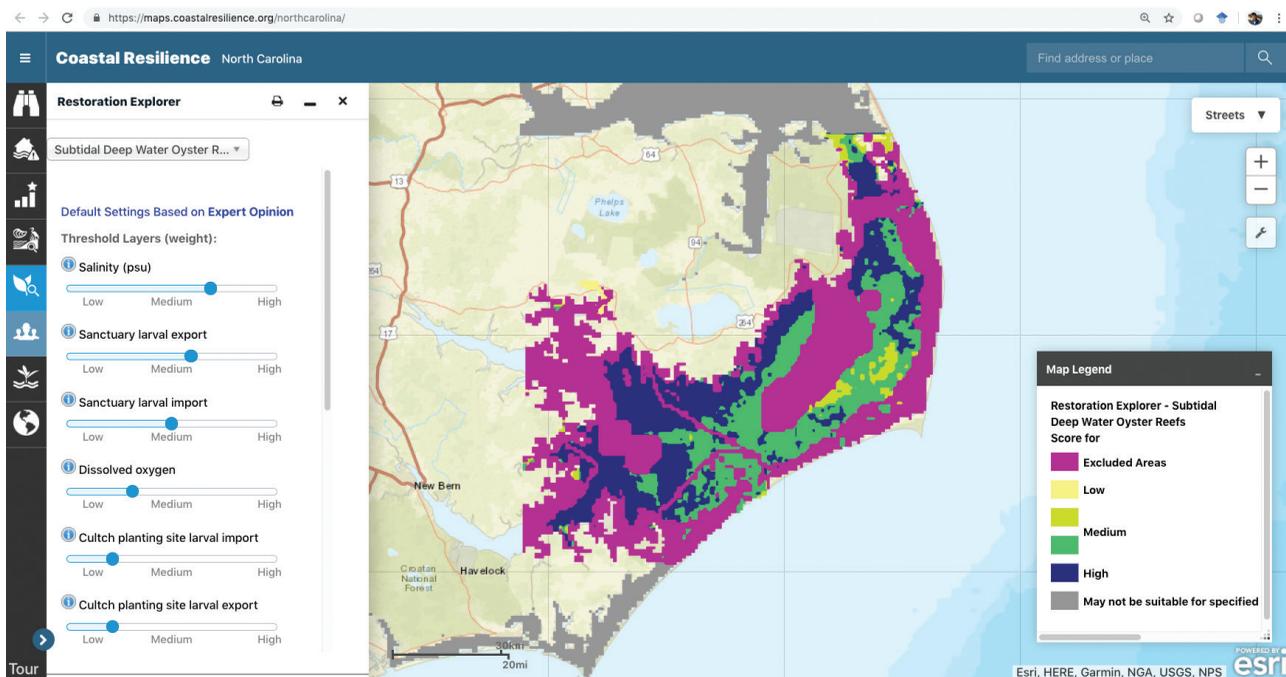


图3.1b 北卡罗来纳州经整合了牡蛎修复HSI的修复探索工具——在线制图平台, 可以对模型参数进行动态调整 (大自然保护协会TNC)。

方框 3.2: 案例研究: 在濒危物种生境开展修复工作所面临的挑战

MARINE THOMAS

中国深圳湾的香港一侧是中华鲎 (*Tachypleus tridentatus*) 和圆尾鲎 (*Carcinoscorpius rotundicauda*) 这两种濒危鲎类的重要繁育地。尽管这个生态系统中也天然生存着本地牡蛎, 但并没有相关天然牡蛎栖息地范围的历史基线数据。这是因为 700 多年来, 传统的牡蛎养殖方式所投放的硬质结构 (石头和水泥杆) 改变了当地的地貌。如今, 这种养殖方式正在消亡, 大片废弃的牡蛎附着基占据着海岸线 (图 3.2)。这些养殖场与天然牡蛎礁床的不同之处在于废弃的养殖附着基零散地分布在大片区域上, 而自然环境中的牡蛎则会形成更小、更集中的栖息地斑块。

2018 年初, 大自然保护协会 (TNC) 应邀在鲎类重要繁育地附近开展小规模牡蛎礁修复试点项目, 目标是将一片废弃的牡蛎养殖场改造成多个小块的牡蛎礁床。修复工作开始前不久, 鲎类保护者表达了疑虑, 担心牡蛎礁的结构可能对濒危的鲎类物种造成负面影响 (Kwan 等, 2017), 并提倡彻底清除该区域的牡蛎。这两种方法 (改变生境或彻底清除) 所造成的生态影响都存在知识空缺, 因此双方未能达成共识。致使项目被撤销, 耗时数月的规划和已经投入的资源都浪费了。

在濒危物种生境开展工作时, 需考量的因素和最佳实践包括 (改编自 Cassazza 等, 2016) :

- 生态系统修复和物种保育的目标通常是兼容的, 但二者看待栖息地的视角不同——修复倾向于优先考虑更广泛的生态系统功能, 而物种保育则侧重于保护特定的生境条件。
- 基于生态系统的保育方法的好处正日益得到认可, 但仍然是相对较新的领域。对于长期退化的环境, 关于其基础生态系统过程的认知必然会存在空缺。如果改变栖息地对个别物种带来的影响难以预测, 那么修复项目可能就会引起争议或遭到拒绝。
- 濒危物种带来的敏感问题可能会导致项目延期、混乱、激烈辩论, 并最终影响项目目标。尽早发现潜在问题、积极地与利益相关方建立关系、以及灵活的规划过程是成功的关键所在。为此, 有效的适应性管理框架应包括:
 - > 对敏感物种和利益相关方进行梳理和研究, 以评估选址是否适合开展修复工作;
 - > 积极鼓励利益相关方参与, 共同探讨预期愿景、可能存在的冲突、以及修复工作如何融入当地管理规划等问题;
 - > 就现有的基线状况和知识空缺达成共识;
 - > 合作开展监测、数据共享、以及对调研结果的说明和解读应以达成共识为导向;
 - > 在评估影响时, 量化对其他生态系统组成部分所造成的负面影响和益处;
 - > 就需要启动替代管理方案的阈值明确达成一致 (如濒危物种个体死亡率上升);
 - > 寻找替代方案, 尽管可能耗时更长、且需要进一步研究和更多资源。

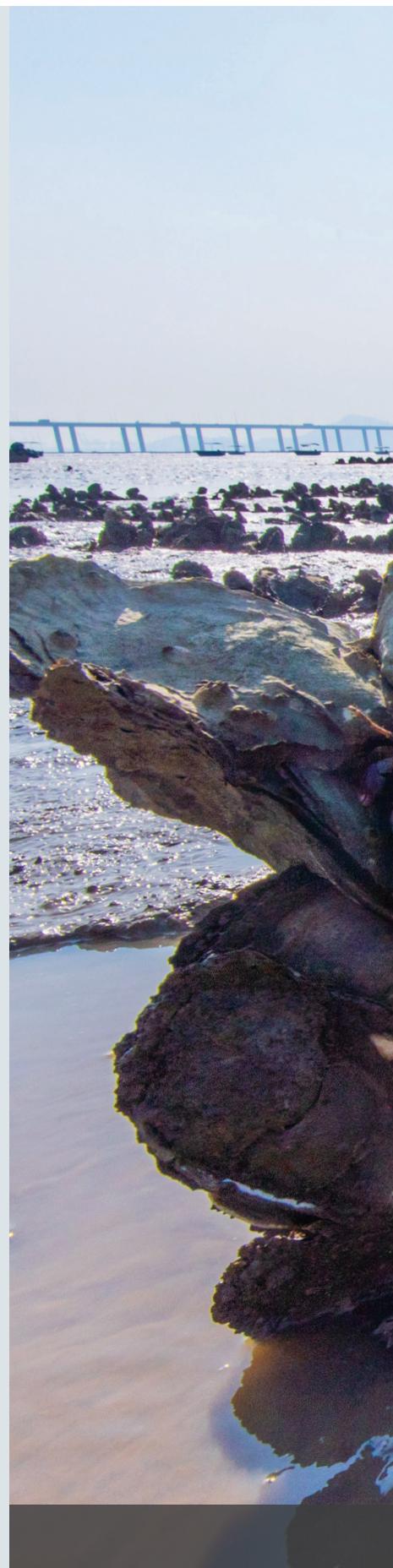


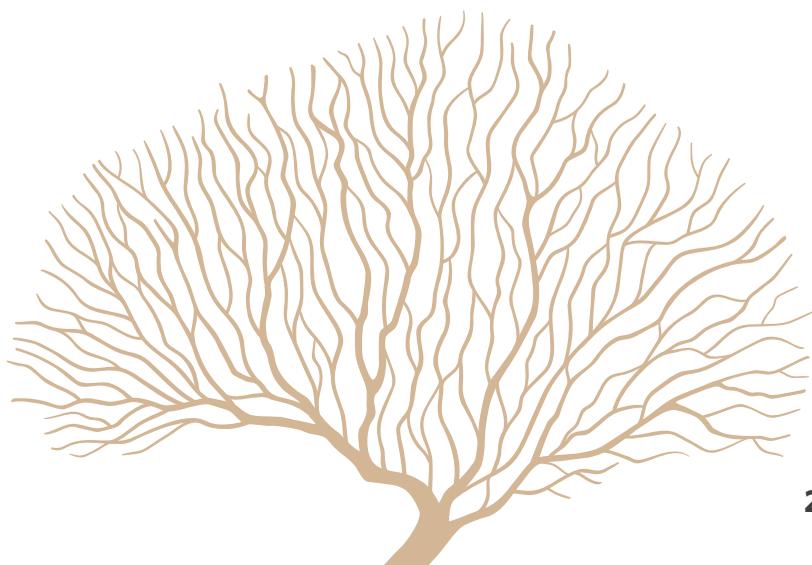


图3.2 中国深圳湾香港一侧的废弃牡蛎养殖场，远处就是深圳。图源：欧阳凯

附录3.1: 修复的可行性清单。这些问题旨在帮助和指导贝类礁体修复可行性研究的开展。

	问题示例	说明
<p>目标和子目标设定</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 主要修复目标是什么? • 项目预期的成果有什么? • 项目的子目标是否做到S.M.A.R.T. (具体、可衡量、可实现、相关、有时限)? 	<p>需考虑, 例如: 恢复退化的生态系统、提升当地生物多样性、改善牡蛎捕捞业、增加鱼类栖息地、改善水质、脱氮、为当地创造就业、提供志愿服务机会</p>
<p>礁体历史分布</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 是否有证据表明现存或曾经存在贝类礁体和礁床生态系统? 	<p>如果有证据表明现存或曾经存在贝类礁体和礁床, 则有助于确认区域内哪些位点适合修复, 也有助于论证应在特定地点采取的人为干预措施</p>
<p>理化属性和威胁</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 对于当地主要的双壳类动物以及相关生态群落而言, 该地区的物理及化学属性是否处于它们的耐受范围之内? 	<p>考虑: 承受海浪冲刷的暴露度、洋流/潮汐运动、沉积状况、沉积物成分和动力学、溶氧量、水污染、酸碱度、盐度、太阳照射情况、温度、可供附着的底质物</p>
<p>生态属性和威胁</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 修复位点的生态属性是否处在生态系统工程师 (牡蛎或贻贝) 的耐受范围内? 	<p>考虑: 与其他生态系统的连通性、食物供应、目前的繁殖能力和牡蛎生物量、与其他 (牡蛎或贻贝) 礁体间距离、病害流行、捕食者</p>
<p>利益相关方参与</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 哪些群体/个人会支持修复? 为什么? • 哪些群体会反对修复? 为什么? • 是否需要志愿者? 如果需要, 谁会来做志愿者? • 周边居民/土地所有者是否会支持? 	<p>对利益相关方、支持者和潜在的批评者进行评估, 将有助于了解项目的潜在合作伙伴和合作战略</p>

	问题示例	说明
后勤保障考量	<ul style="list-style-type: none"> 开展修复工作需要取得哪些批准和许可？ 是否需要获得批准才能进入修复位点？ 礁体材料来自哪里？ 构建礁体需要什么设备？ 在岸上何处放置设备及开展建设活动？ 修复位点是否远离主要交通区域或其他用途区域（如工业、水产养殖），或者这些情况是否可以得到妥善处理？ 	<p>可能需要的许可/批准包括：科学采样、开发建设申请、移植、生物安全</p> <p>礁体材料包括：底质物、贝壳、活体牡蛎/贻贝</p> <p>设备包括：驳船、小船、潜水设备、采样工具、摄像机</p> <p>修复位点应尽量远离使用率高的区域（例如，航道），除非是必要的目标区域（如岸线防护）</p>
参照生态系统及修复目标	<ul style="list-style-type: none"> 最近的参照位点在哪里？ 物理和生态属性是否已被测量和描述（以及能否获取相关信息）？ 能否进出参照位点？ 参照位点是否适宜作为该项目的生态目标？ 	<p>更多关于参照生态系统及修复目标的信息，请参见Gann等（2019）的文章</p>
资金	<ul style="list-style-type: none"> 谁会资助该项目？ 提供资金支持的原因是什么？ 	<p>尽早了解项目资助方和关键信息有助于锁定项目资源，并且可以针对特定受众修改项目建议书</p>
项目风险	<ul style="list-style-type: none"> 项目面临什么样的社会、生态和经济风险？如何降低这些风险？ 	<p>项目管理计划中通常需包括详细的风险评估，但尽早评估有助于识别项目面临的主要威胁</p>
监测、评估和报告	<ul style="list-style-type: none"> 谁来负责开展监测、评估和报告？ 使用什么方法？资金是否可持续？ 是否查阅过相关监测指南？ 	<p>应尽早确定项目监测和评估的执行人，确保他们参与并协助前期项目目标和产出的制定</p>



第四章

贝类礁体修复的生物安全与许可

Andrew Jeffs、Boze Hancock、Philine zu Ermgassen

和 Bernadette Pogoda

要 点

- 贝类移植是入侵物种扩散和疾病传播的主要原因，生态环境不同的水体之间应避免贝类移植。
- 入侵的生物在新环境中可能会引发无法预测的生态系统变化,并可能造成负面的生态和经济影响。
- 贝类礁体修复有许多积极的生态效益,不应被未落实生物安全的移植行为(贝类以及贝壳材料)所牵连。
- 栖息地修复时应避免引入外来物种。
- 成功获得许可的基本建议是:
 - (1) 尽早开始,
 - (2) 经常沟通,
 - (3) 加强利益相关方参与,
 - (4) 向经验丰富的贝类修复网络寻求帮助。





图4.1 美洲弓形履螺 (*Crepidula fornicata*)。图源: D.J. McGlashan

生物安全

贝类等水生物种在不同水体间的移植是导致入侵物种、寄生虫、疾病、细菌和病毒传播的主要原因。此类有害生物的传播可能会给生态环境造成不可逆转的破坏性影响，尤其是它们在新环境中成为危险的有害生物的情况下。因此，对所有涉及移植贝类物种（或其贝壳）的贝类礁体修复项目而言，采取生物安全防护措施是必不可少的步骤。

寄生于海洋贝类（尤其是牡蛎和贻贝物种）的天然病原体和寄生虫有很多种（Bower 等，1994）。此类寄生虫和病原体在本地贝类种群（源种群）中往往感染率低，不引人注意，因此很难准确发现，但是一旦扩散到新环境中就会造成严重影响。

过去，水产养殖和渔业增殖放流是水生物种进入新地区的主要原因。现在贝类礁体修复工作可以借鉴过去的经验，并应尽力始终采用最佳环境实践和技术，确保高标准的生物安全。

入侵物种

除了寄生虫和病原体，为了修复而将活体贝类和相关材料移植至新水域时，还存在意外引入其他物种的风险。最大的风险来自于随着贝类移植而被一起转移的贝类外壳上附着的生物污染物种，例如，19 世纪后期随着美洲牡蛎 (*Crassostrea virginica*) 进口而意外引入欧洲的美洲弓形履螺 (*Crepidula fornicata*)。时至今日欧洲仍有部分地区的履螺密度非常高，它们产生的大量废物常常会令当地的底栖群落被覆盖而缺氧。这些履螺可能会与贝类物种竞争食物，或意外吞食贝类幼虫，从而进一步对贝类礁体修复产生不利影响（图 4.1）。

如果计划移植的贝类物种现在未分布于拟修复区域，并且在该处无历史分布，那么引入该贝类物种可能会造成意外的生态紊乱。例如，上世纪 70 年代，欧洲引入太平洋牡蛎 (*Crassostrea gigas*) 进行养殖，如今，这种牡蛎已在欧洲多处形成了野生种群并造成困扰。因此，不应将贝类物种引入其自然分布范围以外的地区（Bartley 和 Minchin，1996）

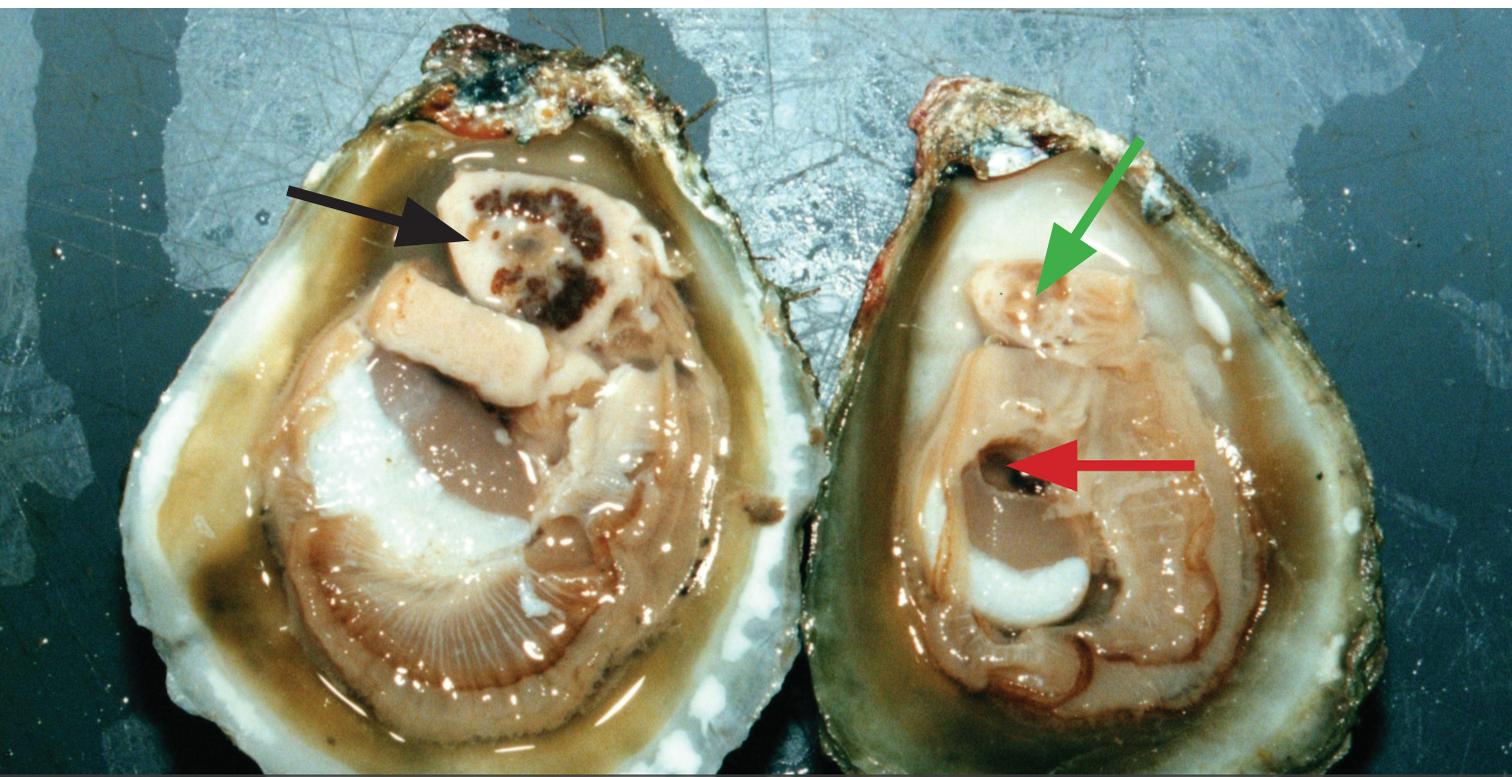


图4.2 布拉夫牡蛎 (*Ostrea chilensis*) 中的包拉米虫病。左边的健康牡蛎有黑色的消化腺和正常大小的性腺 (黑色箭头)，右边的牡蛎感染了杀蛎包拉米虫 (*Bonamia exitiosus*)，消化腺和性腺都相对较小，颜色苍白 (绿色箭头)，心脏增大 (红色箭头)。图源: Ben Diggles

寄生虫和病害

历史上，在为提升贝类捕获量而移植贝类或贝壳材料的过程中，意外引入贝类寄生虫和病原体的状况也曾发生。这常会导致具有重要经济价值的贝类种群大面积受损，造成巨大经济损失。例如，平牡蛎有一种名为牡蛎包拉米虫 (*Bonamia ostreae*) 的寄生虫，这种致命的微生物和平牡蛎一起从北美太平洋沿岸引入至法国，在养殖牡蛎中广泛传播，造成持续损失，北欧的情况尤其严重。这种外来病害造成某些牡蛎种群的初期死亡率几乎高达 80%，说明这些贝类对该病害没有天然抵抗力，极易受到损害。相似的情况也冲击了新西兰的布拉夫牡蛎 (*Ostrea chilensis*) (图 4.2)。

同样，恶性的疱疹病毒 (hepes virus) 是诱发太平洋牡蛎死亡综合症 (Pacific oyster mortality syndrome, POMS) 的病因。2010 年，该病症首次出现在澳大利亚新南威尔士州，导致当地太平洋牡蛎养殖业遭受重创。

2015 年，这种病毒性疾病又传播到塔斯马尼亚州，造成当地太平洋牡蛎大量死亡 (超过 60%)，导致该州支撑着澳大利亚其他地区牡蛎养殖业的牡蛎幼苗出口因此关闭。

有害物种一旦被引入新的海洋环境，即便有根除的可能，也会非常困难。因此，在移植贝类和贝壳等附着基材料时，防止有害物种的引入至关重要。

针对可能已经存在贝类病害或寄生虫的目标修复区域，必须确定用于引种的亲贝或用于移植的源种群对此类病害有抵抗力，从而尽可能确保移植后的存活率。在发病最重、持续时间最长的区域存活下来的贝类最有可能对此种病害产生最大的抵抗力。但同时，必须注意避免将此类病害的病原体扩散至新的地区。因此，繁育出既具有抗病基因又不携带病原体的健康种群，对受病害影响地区的贝类移植非常关键。贝类育苗场在研发和培育经认证的无病害种群方面，发挥着越来越大的作用，此类健康种群能够有效降低贝类病害传播的风险。

为了修复礁体而将大量贝类物种移植至新的区域，可能会改变接收移植的地区现有本地种群的遗传多样性和对当地的适应性。后续两个群体之间的基因混合可能会降低该基因混合种群的适应力。例如，研究发现，经筛选培育出的具有抗病性的美洲牡蛎品种在原产地的生长和存活率是最高的，然而一旦离开原产地，这些优势往往随着距离的增加而减少。如果把这些牡蛎移植到更远的地方，与当地现有的牡蛎种群杂交，可能导致最终产生的牡蛎对当地环境条件的适应能力降低。在某些地区，例如澳大利亚南部和欧洲，贝类原生种群已经在当地灭绝，所以不可能找到适应当地环境的亲贝。

如果可能的话，最好使用当地贝类种群作为修复的根基，避免意外引入贝类病害和遗传干扰的风险。对贝类种群遗传结构的高精度科学研究，是确定拟用于礁体修复的贝类源种群与接收种群间可能存在的基因差异的最佳指导。在缺乏种群遗传学信息的情况下，应尽可能使用来自同一地理区域、并且水体直接毗连的野生贝类种群。如果修复工作必须将贝类移植到相距较远的地点，在开始前需要进行仔细评估。

一些辖区对此类评估有强制性要求，其中可能还涉及向管理机构获得正式许可，或是需要由区域性生物安全机构进行评估。即使没有强制要求，也应开展评估，以避免贝类移植时意外引入寄生虫或病害、反而对环境造成弊大于利的影响。

此类评估通常需要组织专家鉴定会，评估移植贝类的潜在负面影响，一般包括对比来源地和拟进行修复的移植接收地区的寄生虫和病害情况。找到贝类病害和寄生虫领域的合适专家可能具有一定的挑战性，尤其是对社区主导的贝类修复项目而言。此类人才往往就职于监管机构、高校或者其他水生生物科研机构。如果监管机构无法提供指导，可以向水生生物研究人员寻求帮助，他们往往能提供适当的专业知识和指导。

评估的结论可能是建议采取若干个减少贝类移植风险的操作规范（如 ICES, 2008; CEFAS, 2009）。评估中用到的操作规范可能包括：事先检测贝类有无病害，投放到目标地点前对移植贝类进行处理（消灭贝

壳内外的生物体），以及禁止将贝类从已知的病害感染区转移至目前无病害的地区。这正是目前在平牡蛎已感染包拉米寄生虫的欧洲各地以及澳大拉西亚部分地区，牡蛎移植受到限制的原因。

在获准进行贝类移植的情况下，使用淡水或弱醋酸（醋溶液）浸渍或喷洒贝类，可以消灭生物污染，如入侵的海鞘、海藻和帚虫等，防止其转移到其他地点。

与移植活体贝类一样，转移和投放以贝壳为材质的附着基，在某种程度上也存在类似的风险。贝壳回收项目中收集来的贝壳材料若未经处理，可能会携带有害生物的活体或孢子，因此在投放前也应进行生物安全处理。

虽然各地规定不尽相同，但多种措施，例如加热处理、氯处理、长时间浸泡于淡水，或在户外经历长期风化曝晒等，都可以消灭贝壳材料上附着的“搭便车”物种和病原体，或是至少能将其减少到可接受的水平，从而大大降低有害物种意外转移的风险。若有大量贝壳需要处理，除非是会经过充分的高温处理的贝类加工副产品，那么在陆地上进行长期风化曝晒可能是唯一经济有效的办法，通常建议至少要经过6个月的风化曝晒处理。例如，罗德岛生物安全委员会规定贝壳材料的风化期为6个月，需将贝壳材料摊平（厚度小于6英寸或15厘米）并且每2个月翻动一次。如果贝壳材料只能堆得更厚，则需每个月翻动2次（图4.3）。温暖气候下则无需翻动这么频繁。

虽然这些措施看似是增加了贝类修复的复杂程度或障碍，但意外引入有害物种所带来的生态和声誉损失可能会远甚于当地贝类礁体修复所带来的益处，因此不容忽视。

许可

一个成功的修复项目具备很多要素，其中，获得许可所需花费的时间和精力往往是被低估的。在许多司法辖区，许可证是由自然资源管理机构签发的，这些机构肩负着保护公共资源的责任，会考虑到修复工作可能产生的所有影响。完成许可流程需要申请人和审



图4.3 美国罗德岛的社区成员正在处理用于投放的回收贝壳。图源：John Torgan

核人员对整个项目和修复过程有着充分的了解。

申请许可的过程中可能会出现一些复杂情况。从事修复工作的人们往往沉浸在修复过程中，或是忙着量化修复栖息地的生态效益，但管理机构的成员可能对海洋栖息地修复知之甚少。这种情况下，仅靠填写信息表来完成申请可能是不够的，应考虑向监管机构详细介绍具体修复目标和益处。建议通过修复网络，吸引曾经与监管机构打过交道的合作伙伴加入，因为他们更了解监管机构可能关心或担心的问题，有助于促进监管机构认可修复工作。

通常，在没有开展过贝类礁体修复的地区，监管机构可能无法确定他们中间谁有权发放许可证，甚至是需要多少个机构签发许可。管辖权一般取决于所选定的修复位点的所属类型，以及该位点内现有的管理制度（如沿海水域、近海水域、海洋保护区、多用途区域和渔场）。

因为修复是相对新兴的活动，所以很少有地方有针

对“修复活动”的许可证。这就意味着，至少一开始的时候，拟开展的修复项目有可能会作为现有类别的类似或者相关的活动，被发放许可。这些许可程序往往与其他活动相关，例如水产养殖、渔业、生物安全或海洋建设等。

在美国，贝类礁体修复项目拥有较长的历史，各地的许可申请程序都十分繁复，且各不相同。大自然保护协会（TNC）曾委托机构对 21 个沿海各州的贝类修复许可程序进行盘点（Mississippi-Alabama Sea Grant Legal Program and the National Sea Grant Law Center, 2014）。此次盘点描述了各州可能影响贝类礁体修复的监管环境，并将其分为 5 个大类、18 个子类别。由此可见，美国各地影响贝类礁体修复活动开展监管制度存在巨大差异。

从业人员必须尽力熟悉监管程序，并促进监管人员了解贝类礁体修复的历史和效益、以及即将申请许可的项目本身。在不熟悉监管许可要求的情况下，基本

建议如下：

1. 尽早开始
2. 经常沟通
3. 加强利益相关方参与
4. 向有经验的贝类修复网络寻求帮助

在对贝类礁体修复不熟悉的司法辖区中，让监管机构的工作人员和其他利益相关方从初步规划和概念开发阶段就参与到整个修复项目中去，会有很大的益处。提供修复项目旨在达成的参照生态系统或模型的明确构思和描述（参见第三章），也有助于与监管机构之间的沟通，让他们了解修复项目将来要达到的预期状态。

项目规划和许可阶段经常出现的一个需要考量的因素是，修复区域内在修复后是否允许贝类捕捞。过度捕捞是导致贝类种群数量急剧下降的主要威胁，但许多辖区往往没有相关立法框架来禁止修复区域内的捕捞行为，哪怕修复项目的子目标就是为周围渔业资源增补幼苗。因此，建议项目从业人员熟悉能对修复项目边界内渔业捕捞行为进行管理的法律和社会框架，从而维持贝类修复工作的完整性。

在某些辖区，可能还需要额外寻求某些团体或个人的批准，而这一过程可能不会如向政府机构提交书面申请那样简单直接。例如，全球许多地区的原住民团体掌握着沿海资源的历史权属和（或）法定管辖权，其中可能包括对潮间带和贝类的相关习俗尊重或优先使用权。原住民利益相关方一贯与沿海资源有着密切的关系，往往对贝类资源有高度的了解，通常是宝贵的信息来源，也可以成为支持修复工作的强大盟友。尽早征求原住民利益相关方的意见，在整个海岸带修复项目中保持原住民的参与和对话，往往是成功的关键。

另外，还需要尽早识别出社区中可能受修复项目影响的其他人群，征寻他们的意见。相关人士可能包括商业性捕捞和休闲海钓者、潮间带土地所有者或租赁

者，或者水产养殖经营者等。

促进与社区内所有相关群体的公开对话，往往有助于提高他们对修复项目的支持度和认可度，也便于完善项目规划，同时也能够提高公众意识，促进其更为积极的参与到解决沿海环境问题的行动中。

参考文献

Bartley, D.M. and Minchin, D. (1996). Precautionary approach to the introduction and transfer of aquatic species. In: *Precautionary Approach to Fisheries. Part 2: Scientific Papers*. Prepared for the Technical Consultation on the Precautionary Approach to Capture Fisheries (Including Species Introductions). FAO Fisheries Technical Paper. No. 350, Part 2. FAO, Rome.

Bower, S.M., McGladdery, S.E. and Price, I.M. (1994). Synopsis of infectious diseases and parasites of commercially exploited shellfish. *Annual Review of Fish Diseases* **4**, 1-99.

CEFAS (2009). *Shellfish Biosecurity Measures Plan: Guidance and Templates for Shellfish Farmers*. Centre for Environment, Fisheries & Aquaculture Science, Weymouth, UK. Available: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/278580/Shellfish_biosecurity_measures_plan.pdf

ICES (2008). *International Council for the Exploration of the Sea. In: Report of the Working Group on Introduction and Transfers of Marine Organisms*. ICES CM 2008/ACOM:52. International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen, Denmark.

Mississippi-Alabama Sea Grant Legal Program and National Sea Grant Law Center (2014). *Inventory of Shellfish Restoration Permitting & Programs in the Coastal States*. Prepared for The Nature Conservancy by Mississippi-Alabama Sea Grant Legal Program. National Sea Grant Law Center, Ocean Springs, MS. Available: <http://masglp.olemiss.edu/projects/files/tnc-report.pdf>

第五章

贝类礁体修复实践

Stephanie Westby、Laura Geselbracht 和 Bernadette Pogoda

要 点

- 了解拟修复点是否补充量受限、底质物受限，或二者兼而有之。这一点至关重要，将指导修复方法的选择。
- 移植到修复礁体上的贝类可以来自育苗场、池塘或当地亲贝。
- 用于构建修复礁体的底质物有很多种，需要在了解当地物理属性条件以及社会和监管因素的基础上做出选择。
- 病害可能会是贝类礁体修复过程中需要考虑的因素，需在修复开始前对其有所了解。

引 言

成功的修复方法需根据物种、规模以及当地生物、生态和物理属性条件而定，地方监管和社会因素也很重要。从国内外先例中吸取经验固然有用，但关键还是要考虑如何因地制宜地进行调整，以适应具体的区域或位点。了解当地参照生态系统的物理特征和基本功能（礁体斑块面积、礁体高度、产卵季节、牡蛎密度、抗病能力、鱼类和无脊椎动物的群落组成等）有助于决定修复生态系统所需的技术方法，包括自然再生、辅助再生和生态重建等。采用这些方法前，必须消除或减轻造成退化的原因或威胁。这些不同方法可根据其针对的问题，大致概括为以下几种：缺乏礁体底质物、缺乏补充量、病害、或者以上各种问题同时存在，共同阻碍了贝类礁体的自然修复。

识别适当的修复行动

通常而言，需要修复的地区不是“补充量受限”，就是“底质物受限”，或二者兼有（Brumbaugh 和 Coen, 2009），需要进行辅助再生或生态重建（Gann 等, 2019）。补充量受限的环境周围缺乏足够的亲贝（成熟且具备繁殖能力的目标贝类）以补充到现有的礁体结构上。底质物受限的环境缺乏可以供贝类幼虫附着的礁体结构。如果可以在拟修复位点附近的码头、船埠、桥墩、海堤等处观察到大量野生贝类附着，则说明该区域更有可能是底质物受限而非补充量受限。修复位点也常常会同时面临底质物受限和补充量受限的问题，

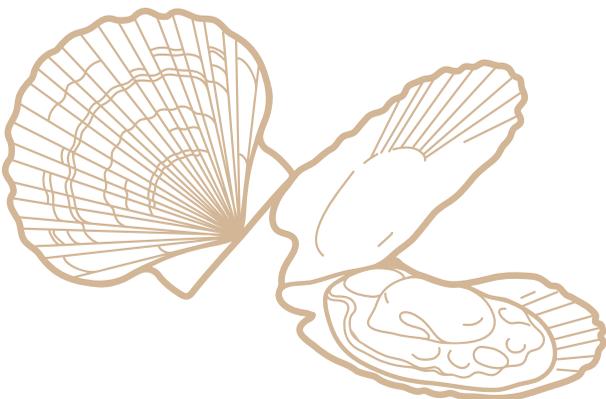




图5.1 中国香港吐露港榕树澳 (Yung Shue O, Tolo Harbour) 放置的附着板。图源: Lori Cheung

了解当地到底是哪种问题，或者是二者兼有，有助于决定使用何种修复手段。

解决补充量受限的技术手段

在补充量受限的地区，从业人员需要往礁体上人为添加目标贝类，可以是成年贝类，但更通常的做法是补充幼年贝类（俗称“幼苗”）。比起成年亲贝，往往更容易获得大量的幼年贝类；在进行大规模修复（0.5公顷及以上）时，更是如此。如果不确定所在地区是否为补充量受限环境，建议使用附着板收集贝类幼体附着率的数据。可以咨询一下当地的学者、研究人员或资源养护管理人员，可能已经有人做过调查了。如果没有现成信息，那么建议从业者在多个不同潮位放置附着板，并且每月检查（图 5.1），最好持续 1 年或更长时间，以了解季节性高峰。但如果时间或资源有限，则至少要在预计的产卵季节（通常是春季到夏末）之前放置附着板。

幼苗来源包括育苗场（幼贝繁育设施）、池塘、以及使用附着基收集的野生幼体（将附着基放置于高补充量地区，被贝类附着后转移至修复点）。

育苗场可以生产“无附着基”苗（即单体苗，附着于非常小块附着基上，如一颗沙粒或微小壳片），也会生产“附着基”苗（一个或若干个幼苗附着于空贝壳等较大块的附着基上）。修复工作通常使用的是附着基苗，因为这样与天然幼虫附着在前几代贝类的壳上所形成的自然礁体结构相似。相比小型的无附着基苗，附着在较大的附着基上的幼苗比较不容易被捕食。而无附着基苗通常用于贝类养殖，尤其是网箱或网袋养殖，作为独立牡蛎个体更容易管理。一种常见的附着基苗是“附壳幼体”，即一个或多个幼贝附着于该相同物种的单个空壳上（图 5.2）。贝壳材料可以通过贝壳回收，从商业贝类加工场或餐馆获取，但必须要在阳光下风化处理至少 6 个月，确保消除可能携带的病原体（见第四章）。

育苗场通常先繁育出贝类幼虫，然后将它们放入装

有附着基的大型水箱中，让幼虫“定居”（附着）在附着基上。一些育苗场可能也会出售未附着的幼虫，它们比附壳幼体更容易运输（例如，就美洲牡蛎（*Crassostrea virginica*）而言，生产 11400 升水箱量的附壳幼体仅需一团柠檬大小的幼虫）。从业人员可以从育苗场直接购买幼虫，然后在异地建一个小型育苗设施，将幼虫附着到附着基上（Congrove 等，2009）。但异地育苗技术因物种而异，比如，至今转移欧洲平牡蛎（*Ostrea edulis*）幼虫的死亡率仍高达 100%。另一种可行的方式是将幼虫直接投放到现存合适底质物的修复位点（Leverone 等，2010；Fredriksson 等，2016）。

当地育苗场的年生产力是另一个需要考虑的因素，

育苗场每年的产量（幼苗、幼虫或组合）通常是有定数的。若没有事先通知，预留足够的准备时间，他们可能难以满足额外的需求量。因此，务必与育苗场管理人员讨论项目计划，从而确定所需数量的可行性和生产时间。

欧洲的传统是在池塘里生产贝类幼苗（图 5.3）。将亲贝放置在封闭池塘里，其较浅的水位会使塘内温度上升，足以令贝类成功繁殖以及确保有充足的天然浮游植物作为食物供应。池塘里放置着附着基，亲贝生产的幼虫就会附着其上。可使用的附着基有多种，包括人工底质物和预制礁体结构。育苗后再将附着基取出，运送至修复位点。



图5.2 育苗场生产的美洲牡蛎（*Crassostrea virginica*），前面为附着基及附壳幼体（红色箭头）。经过一段时间的生长，附着基上就会长出成熟的牡蛎。图源：马里兰大学环境科学中心霍恩普恩特育苗场（Horn Point Hatchery）



图5.3 位于科克 (Cork) 的用于生产欧洲平牡蛎 (*Ostrea edulis*) 种苗的池塘, 爱尔兰。图源: Shmuel Yozari

直接移植天然 (有时也称“野生”) 的贝类幼苗是补充礁体的另一种方式, 有时也许会比育苗场更可行、成本效益更高、更易于大规模应用 (Southworth 和 Mann, 1998)。这种传统手段需要将附着基放置在补充量高的地区, 以捕捉自然繁殖的幼虫, 然后再将着苗后的附着基转移至修复位点。这种方式利用了该地区的现存本地亲贝和其天然繁殖的幼虫。许多地区的私有贝类礁体都是用这种方法补充种苗的。建议咨询当地水产养殖专家或贝类生物学家, 询问合适的附着基放置位点, 并了解当地的许可申请等相关问题。

无论幼苗是来自育苗场、池塘、还是天然种苗, 都要对转移引起的高死亡率有心理准备。这是将仍非常小的生物放置到礁体环境中必然会发生的情况, 而运输和搬动都会造成更多死亡率 (另见方框 5.1)。例如, 在一项大规模修复方案里, 预计育苗场生产的附壳幼体

第一年的死亡率为 85%, 而之后每年的死亡率为 30% (Maryland Oyster Restoration Interagency Workgroup, 2013)。

修复礁体时投放幼苗的密度示例见表 5.1。

方框 5.1: 在偏冷的气候条件中修复贝类礁体

如果工作地区的冬季气温会降到冰点以下 (即便只是偶尔发生), 同时又补充量受限, 那么开展潮间带的修复项目需谨慎。许多贝类物种一旦暴露在寒冷的空气中就会冻死。哪怕只是一次低温事件 (如极端低潮加上极冷气温), 死亡率很可能高达 100%。当然, 只要礁体结构还在, 且本地补充量充足, 那么礁体就可以自我修复, 损失只是短时的 (图 5.4)。但请注意, 如果该地区补充量受限, 那么每次受冻后就需要往潮间带的牡蛎礁上不断补充目标贝类, 才足以维系一个贝类种群。



图5.4 切萨皮克湾南部的潮间带牡蛎礁由礁球构成，图为半潮水位。虽然这里冬季的温度偶尔会达到冰点，但天然的牡蛎补充量足以在低温导致牡蛎死亡后重新补充礁体。图源：Stephanie Westby

表5.1: 在补充量受限地区修复贝类礁体投放的幼苗密度示例。

地区 (礁体名称)	贝类物种	幼年或成年贝类?	初始投放的牡蛎密度	修复目标的牡蛎密度
美国大西洋沿岸中部切萨皮克湾的哈里斯溪 (Harris Creek)	<i>Crassostrea virginica</i>	幼年	每公顷1250万个	每平方米15-50个
英国埃塞克斯	<i>Ostrea eduli</i>	成年	每平方米3个	每平方米5个
荷兰北海	<i>Ostrea eduli</i>	成年	每平方米10个	未知
德国北海	<i>Ostrea eduli</i>	幼年	每公顷100万个	每平方米15-50个
澳大利亚维多利亚州 (菲利普港湾)	<i>Ostrea angasi</i>	幼年	每公顷75万个	每平方米50个
澳大利亚南澳大利亚州 (温达拉礁)	<i>Ostrea angasi</i>	幼年	每公顷35万个	每平方米50个

贝类苗圃项目（在码头上使用浮筏或网箱养殖贝类，后移植到修复区域）可以为小型修复项目提供成年亲贝（图 5.5）。如果当地已有此类项目，建议咨询项目运营者以了解如何获取修复礁体所需的贝类。如果没有此类项目，从业者可以启动一个苗圃，但要意识到用于苗圃的贝类仍需来自育苗场、池塘或天然幼

苗。牡蛎苗圃可以增加当地的亲贝数量，为补充量受限的系统提供幼虫（Brumbaugh 等，2000a、b）。

牡蛎苗圃的另一个好处在于可以鼓励当地社区参与礁体修复，提供亲身参与的自然教育体验。在礁体大多位于潮下带的地区（像欧洲等地），牡蛎苗圃可能是为数不多的能让社区参与目标物种修复的方式。



图5.5 澳大利亚昆士兰州浮石通道布莱比岛 (Bribie Island, Pumicestone Passage) 社区牡蛎苗圃项目。
图源: Ben Diggles

解决底质物受限的技术手段

在底质物受限的地区，从业人员需使用合适的底质物构建礁体（图 5.6）。如果该地区同时存在底质物受限和补充量受限的情况，则需先构建礁体，然后再按上文所述引入牡蛎幼贝。

选择造礁底质物时，需充分考虑当地的生物和非生物环境、社会因素以及材料是否易获得。有关文献综述了在美国使用的底质物材料（包括废陶器、混凝土、稳定后的煤灰、石头、贝壳以及专门设计的工程结构）（NOAA, 2017）。表 5.2 罗列了美国、欧洲、中国的大陆和香港地区、以及澳大利亚的项目用到的材料及其成本。

选择礁体材料时需考虑的因素包括：

- **补充量：**目标贝类是否会附着在选定的礁体材料上？
- **波浪能：**波浪能高的区域通常需要体积更大、更耐用、更重的底质物以保证耐久性。
- **水深：**贝类礁体是否位于潮下带（即在潮水极低的情况下，礁体也没于水下）还是潮间带？潮间带礁体极易被（哪怕是很小的）表层波浪影响，建造时必须加固以承受波浪能。位置较浅的潮下带礁体也可能受到表层波浪能的影响。使用轻质材料（贝壳、小石头）建造的礁体可能会被冲散，失去三维结构或彻底消失。
- **底质特征：**重量大的礁体可能会陷入软泥中，而



图5.6 美国切萨皮克湾伊丽莎白河项目（Elizabeth River Project），驳船正在投放用于修复贝类礁体的贝壳和石块。
图源：Joe Riege

贝壳或其他硬质底质物则可能支撑礁体重量。

- **修复项目的目的：**例如，若修复礁体是为了防护海岸线不受侵蚀，则需使用能够发挥该功能的建造材料。
- **沉积物：**如果礁体位于沉积物淤积速率高的区域，则应建造有较大起伏的礁体。理想情况下应选择沉积物少的区域。
- **禁捕区和公共卫生：**该地区是否允许贝类捕捞？选定的礁体材料是否会妨碍捕捞？如果该地区因食品安全原因禁止捕捞贝类，那么所选择的材料是否有助于防止非法的贝类捕捞？
- **渔具限制：**该地区是否允许海底拖网捕捞？所选材料是否会损害渔具，或防止捕捞？
- **修复位点的保护现状：**选用的礁体材料和设计是否与该地的保护授权相符（例如海洋保护区、禁捕区、历史遗迹）？需要考虑礁体材料可能会发生的自然位移，以及其可能对附近保护区或重要事物带来的影响。
- **公众和监管部门对材料的接受度：**公认的天然材料（如贝壳、石头和粘土）可能比其他材料（如炉渣、混凝土、废陶器和塑料）更能获得公众和监管部门的认可，但各地的观点可能大不相同。因此，提前咨询监管机构、当地社区和利益相关

方，对选择礁体材料至关重要。

- **用户群体冲突：**礁体材料是否会干扰（或有助于）休闲渔业或商业性捕捞业（不论是目标鱼种或其他物种）？是否会干扰行船或影响岸边观赏到的景观？即使当地曾经存在贝类礁体，现在的用户可能习惯于或更喜欢生态系统当前的外观或功能。
- **礁体材料获取和投放：**特定材料可能非常适合某个修复位点，但无法在当地获得。材料成本、运输成本和后勤物流都是必须考虑的因素。在浅水中作业，放置少量、轻材质的底质物可以手工制作（在安全的前提下），而在深水中投放大量重材质的底质物则需使用起重机和驳船。
- **材料成本：**不同材料的成本可能有很大差异（详见表5.2中的例子）。

针对补充量受限和底质物受限的解决办法有很强的季节性：育苗场和池塘可能只在特定季节生产；天然附着也是季节性的；如果投放时间与目标物种的产卵周期不同步，原本专门设计用来使天然幼虫附着的底质物上有可能被非目标的物种覆盖。建议就季节性问题的咨询当地渔民，或者来自相关机构、非政府组织或学术机构的贝类生物学家。



中国香港深圳湾流浮山（Lau Fau Shan, Deep Bay）贝类礁体投放。图源：欧阳凯

表5.2: 近期贝类礁体修复项目的成本。仅计算礁体材料（底质物）购买和投放费用；不包括规划、设计、申请许可，以及投放幼苗的费用。

物种	项目名称和所在地区	礁体大小 (公顷)	礁体高度 (米)
美洲牡蛎 (<i>Crassostrea virginica</i>)	美国东海岸切萨皮克湾哈里斯溪	礁体大小不一, 从0.4到4.8公顷不等, 总计30公顷 (哈里斯溪还使用其他材料建造了额外的礁体)	0.3
美洲牡蛎 (<i>Crassostrea virginica</i>)	美国东海岸切萨皮克湾皮安卡坦克河 (Piankatank River)	10	0.46
美洲牡蛎 (<i>Crassostrea virginica</i>)	美国东海岸切萨皮克湾皮安卡坦克河	6	0.15
美洲牡蛎 (<i>Crassostrea virginica</i>)	美国墨西哥湾比洛克西湾 (Biloxi Bay)	0.01	1.1
欧洲平牡蛎 (<i>Ostrea edulis</i>)	英国埃塞克斯郡黑水、克劳奇、罗奇和科尔恩河口	0.12	0.3
欧洲平牡蛎 (<i>Ostrea edulis</i>)	北海德国海湾博尔库姆礁石场 (Borkum Reefground, German Bight)	0.04	0.3-1
安加西牡蛎 (<i>Ostrea angasi</i>)	澳大利亚维多利亚州菲利普港湾玛格丽特礁和威尔逊岬礁 (Wilson Spit)	2.5	0.3-1
安加西牡蛎 (<i>Ostrea angasi</i>)	澳大利亚南澳大利亚州圣文森特湾 (Gulf St Vincent) 温达拉礁	20	0.7-1
近江牡蛎 (<i>Crassostrea ariakensis</i>)、熊本牡蛎 (<i>Crassostrea sikamea</i>)	中国浙江省三门礁	1	1
香港牡蛎 (<i>Crassostrea hongkongensis</i>)	中国香港深圳湾流浮山礁	0.06	0.3
天然附着的多种贝类——如比利尼塔牡蛎 (<i>Crassostrea bilineata</i>) 和翡翠股贻贝 (<i>Perna viridis</i>)	中国香港吐露湾榕树澳礁	0.0015	6

*为以下机构间的合作: 伦敦动物学会、大自然保护协会、埃塞克斯大学、爱丁堡大学、英格兰自然署 (Natural England)、英国环境渔业和水产养殖科学中心 (Cefas)、英国环境署 (Environment Agency)、托勒斯伯里和默西牡蛎公司 (Tollesbury and Mersea Oyster Company)、科尔切斯特牡蛎渔业 (Colchester Oyster Fishery)、英国肯特郡和埃塞克斯郡近岸渔业和保护局 (Kent and Essex Inshore Fisheries and Conservation Authority)、埃塞克斯野生动物信托基金 (Essex Wildlife Trust)、罗奇河牡蛎公司 (River Roach Oyster Company) 和蓝色海洋基金会 (Blue Marine Foundation)。

礁体材料	礁体位置 (近岸/河口; 离岸)	每公顷成本(材料 +投放)(美元)	修复后的实际 礁体占比** (每公顷)	礁体建造施工方
直径7到15厘米的 石头, 以及海螺、 蛤和扇贝壳	近岸/河口	\$235,000	100%	美国陆军工程兵团 (U.S. Army Corps of Engineers, 联邦机构)
平均直径30厘米的 石头	近岸/河口	\$200,000	40%	美国陆军工程兵团 (联邦机构)
平均直径5厘米的 石头	近岸/河口	\$37,500	100%	大自然保护协会、美国 弗吉尼亚海洋资源委员会 (Virginia Marine Resources Commission, 州政府)
牡蛎城堡 (Oyster Castle, 预制混凝土 结构)	近岸/河口	\$2,400,000	33%	大自然保护协会
石头和贝壳(扇贝 和鸟蛤)混用	近岸/河口	\$217,235	100%	埃塞克斯郡当地牡蛎行动
石头、多种贝壳、 3D打印的砂岩	离岸	\$570,000	75%	阿尔弗雷德韦格纳研究所 (Alfred Wegener Institute)、 联邦自然保护机构 (Federal Agency for Nature Conservation) *
平均直径40至50厘 米的石灰岩和多种 贝壳	近岸/河口	\$85,000	15%	大自然保护协会
平均直径20厘米的 石灰岩	近岸/河口	\$123,700	6%	大自然保护协会
直径10至40厘米的 石头	近岸/河口	\$8,555	0.8%	中国水产科学研究院东海水 产研究所、大自然保护协会
粗糙的混凝土桩	近岸/河口	\$85,690	10%	大自然保护协会
回收贝壳	近岸/河口	\$3,427,000	100%	大自然保护协会

** 一些项目的礁体底质物完全覆盖底面积, 本栏用“100%”表示这种情况。还有一些项目在构造礁体时, 其底质物材料仅覆盖整体范围的一部分, 如礁体呈长条状。这种情况下则百分比小于100%。

选址的技术手段

从业者应牢记，成功的礁体选址要既能满足目标物种的生物需求，也能符合当地社区的利益（例如：对礁体材料的接受度、用户群体冲突、法规遵守情况）。如果仅以其中一、两个因素作为礁体选址的依据，可能会影响项目成效。用于确定礁体选址的考虑因素与选择礁体材料有所重叠（请参阅上文中“选择礁体材料时需考虑的因素”列表）。

贝类修复项目选址时还需考虑的其他因素包括：

- **拟修复点是否曾经存在目标贝类物种（即历史分布）：**寻找历史证据证明目标贝类物种曾经存活于该地区，可以是历史地图、数据集，或于修复位点或附近找到的遗留贝壳底质。
- **水质：**确认该地区溶氧量、温度和盐度是否适合目标物种，相关信息可从当地学者、流域组织或政府处获得。
- **水深：**谨慎决定拟建礁体应为潮间带或潮下带，在气温可能降至冰点以下的地区尤为重要（详见方框5.1）。这也会影响到礁体材料的选择。决定礁体的位置和高度时，需考虑是否与当地航道和船只往来存在潜在冲突。
- **生物因素：**向研究人员或资源管理者了解目标物种在当地的供应以及是否存在捕食者等问题。
- **总体可行性：**考虑礁体材料供应、运输、后勤保障、公众接受度、监管框架、目标物种及其他物种的捕捞管理状况、和用户群体冲突。

试点项目

选址一旦确定，下一阶段的修复工作就是开展试点或概念验证项目，以验证贝类修复项目在该特定地点是否可行。试点属于小型项目（一般为10平方米到0.5公顷），和大型项目的主要区别就是规模大小。试点项目应该经历和大型项目一样的可行性研究、设计、规划、公开咨询、许可申请、施工建设和监测。对试

点项目进行的监测不仅要确定礁体和目标物种的健康状况，还要确定作为后期大规模修复工作目标的其他效益。

解决贝类病害的技术手段

本节将讨论影响贝类健康和生存的病害，其中某些病害可能并不影响人们对其食用。但贝类携带的另一一些传染病（如创伤弧菌（*Vibrio vulnificus*）、毒藻、沙门氏菌（*Salmonella*）、志贺氏菌（*Shigella*）和会形成毒素的细菌）可能不会影响贝类自身，却对食用贝类的人类有害（尤其是生食）。某些病害能导致贝类种群的大量死亡，它们也可能寄居在修复的礁体上。常见的贝类病害包括包拉米虫病（*Bonamia*）、马尔太虫病（*Marteilia*）、海水派金虫病（dermo）、疱疹（Herpes）、冬季死亡病、昆士兰未知病（Queensland Unknown, QX）、牡蛎幼贝疾病（Juvenile Oyster Disease）以及多核球未知病（Multinucleated Sphere Unknown, MSX）。这些由单细胞生物、细菌或病毒引发的疾病可能会给不同生命阶段的贝类造成影响。因此，因修复而转移贝壳或活体贝类时必须考虑这一潜在威胁（更多生物安全相关信息请详见第四章）。目前还没有能够在已出现病害的系统中彻底将病害根除的案例。因此，如果病害已出现于拟修复区域内，可以采取被动或主动的方法应对，具体如下。

带病生存

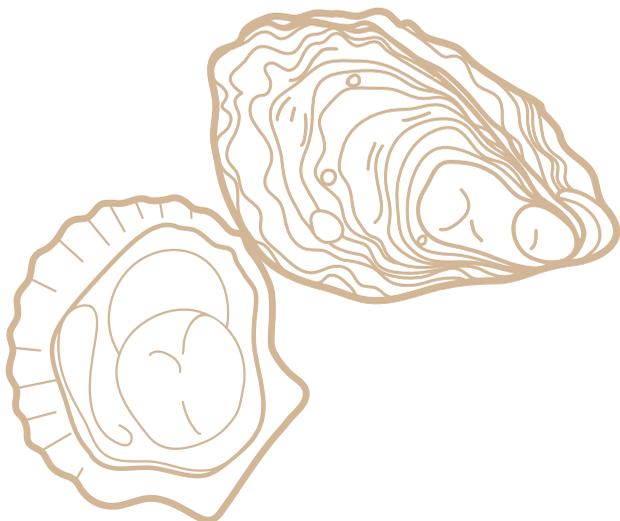
对待病害的一种方式就是“顺其自然”，也就是迅速推进修复工作，并做好位点上的部分、甚至大多数个体都死于病害的准备。其背后的理论是：a）现有的知识和实践几乎不可能减轻病害威胁；b）疾病可能导致较弱的、耐受力低的个体死亡，留下更耐受的（有希望是具有抗病能力的）个体来繁殖后代。这种方法也会加速对其他适应性特征的自然选择，例如提升生长速度和存活率。这一情境下，修复工作最好使用曾经接触过病害的本地亲贝（详见第四章）。尽管这只

是理论上的，但学界的支持者认为，在病害中幸存的贝类（即便很少）在培养种群整体抗病能力上是最具价值的。

选择“带病生存”时也要考量潜在影响贝类种群的其他压力因素。例如，包拉米虫病虽然会导致大量死亡，但其在受感染种群中的流行程度似乎会随外界压力不同而有很大差异（van Banning, 1991; Lynch 等, 2005）。压力因素可能包括：移植和搬运；盐度或温度条件不理想；食物供应不足；或者牡蛎密度过高。目前，减轻外界压力因素从而使带病的牡蛎种群恢复，这一概念尚未能被完全解释，仍需进一步理论分析和科学研究。

抗病能力

在疾病高发却极为重要的牡蛎生长地区，已开展了大量抗病能力的遗传特性工作（Dégremont 等, 2015）。这项工作大多是为了提高水产养殖行业生产力，但修复工作者也可以利用这些改良。然而，从业者若想使用抗病贝类，就必须使用由育苗场培育的幼体，这有几个重要因素需要考虑：在一个环境中抗病性最强的基因型换了环境后，对同种病害的抵抗力不一定是最强的。对一种病害有抵抗力的基因型不太可能对其他疾病也有抵抗力；当然，也有可能选择同时对两种病害具有抵抗能力的基因型。开发抗病物种基因型需要专门的项目，提供设施和其他相应的支持。美国



东海岸和澳大利亚已经开发出具有抗病能力的本土牡蛎基因型（Dégremont 等, 2015）。

贝类中的大型寄生虫（如桡足类和吸虫）并不是总会对种群造成流行性疾病或严重威胁。由于影响外壳美观，水产养殖可能比较不欢迎它们，但在修复项目中，如果对目标物种无害，那么可将其视为自然生态群落的一部分。但也有记录表明，吸虫曾是导致牡蛎大量死亡的原因（Hine 和 Jones 1994）。

着重于恢复具体生态系统服务功能的技术手段

生态系统服务功能通常用于设定修复项目子目标，如果修复项目着重某一特定的生态系统服务功能，则其方法、技术和规模需要作出相应的调整，例如：

- **岸线防护/生态海岸：**应将礁体建在潮间带。理想情况下，它们可以促进盐沼栖息地的稳固和生长，连通海底和海滨地带栖息地，并能够随海平面上升而生长。相比潮下带，潮间带礁体需能够承受更强的波浪能。目标贝类物种需能够适应潮间带环境。
- **过滤水体/提升水质：**为达最佳滤水速率，礁体应建在潮下带。每只牡蛎净化的水量取决于物种、牡蛎大小、沉积物量、温度、盐度和浸没时间（zu Ermgassen等, 2016）。脱氮和碳汇作用属于额外效益。更多信息详见：<https://oceanwealth.org/tools/oyster-calculator>。
- **生物多样性/鱼类增殖：**应将礁体构造出复杂的三维生境，以最大限度为无脊椎动物和鱼类提供定居、躲藏、觅食和产卵的结构和场所。关于修复后礁体带来的单位面积鱼类数量的增长，请参阅：<https://oceanwealth.org/tools/oyster-calculator>。
- **牡蛎渔业/捕捞业：**礁体应建在底质物受限的地区，通过提供适当的底质物和（或）附着基，提高目标贝类补充量。开放给牡蛎捕捞则意味着这些底质物和附着基必须定期更换。

参考文献

- Brumbaugh, R.D. and Coen, L.D. (2009). Contemporary approaches for small-scale oyster reef restoration to address substrate versus recruitment limitation: A review and comments Relevant for the Olympia Oyster, *Ostrea lurida* Carpenter 1864. *Journal of Shellfish Research* **28**, 147-161.
- Brumbaugh, R.D., Sorabella, L.A., Garcia, C.O., Goldsborough, W.J. and Wesson, J.A. (2000a). Making a case for community-based oyster restoration: An example from Hampton Roads, Virginia, U.S.A. *Journal of Shellfish Research* **19**, 467-472.
- Brumbaugh, R.D., Sorabella, L.A., Johnson, C. and Goldsborough, W.J. (2000b). Small scale aquaculture as a tool for oyster restoration in Chesapeake Bay. *Marine Technology Society Journal* **34**, 79-86.
- Congrove, M., Wesson, J. and Allen, S. (2009). *A Practical Manual for Remote Setting in Virginia*. VIMS Marine Resource Report No. 2009-1. Virginia Sea Grant, Virginia Institute of Marine Science, Gloucester Point, VA.
- Dégremont, L., Garcia, C. and Allen Jr, S.K. (2015). Genetic improvement for disease resistance in oysters: a review. *Journal of Invertebrate Pathology* **131**, 226-241.
- Fredriksson, D.W., Steppe, C.N., Luznik, L., Wallendorf, L. and Mayer, R.H. (2016). Design approach for a containment barrier system for in-situ setting of *Crassostrea virginica* for aquaculture and restoration applications. *Aquacultural Engineering* **70**, 42-55.
- Gann, G.D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C.R., Jonson, J., Hallett, J.G., Eisenberg, C., Guariguata, M.R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K. and Dixon, K.W. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology* **27**(S1), doi: 10.1111/rec.13035.
- Hine, P.M. and Jones, J.B. (1994). *Bonamia* and other aquatic parasites of importance to New Zealand. *New Zealand Journal of Zoology* **21**, 49-56.
- Leverone, J.R., Geiger, S.P., Stephenson, S.P. and Arnold, W.S. (2010). Increase in bay scallop (*Argopecten irradians*) populations following releases of competent larvae in two west Florida estuaries. *Journal of Shellfish Research* **29**, 395-407.
- Lynch, S.A., Armitage, D.V., Wylde, S., Mulcahy, M.F. and Culloty, S.C. (2005). The susceptibility of young prespawning oysters, *Ostrea edulis*, to *Bonamia ostreae*. *Journal of Shellfish Research* **24**, 1019-1025.
- Maryland Oyster Restoration Interagency Workgroup (2013). *Harris Creek Oyster Restoration Tributary Plan: A blueprint to restore the oyster population in Harris Creek, a tributary of the Choptank River on Maryland's Eastern Shore*. NOAA, Annapolis, MD. Available: <https://chesapeakebay.noaa.gov/images/stories/habitats/harris creek blueprint 1.13.pdf>
- NOAA (2017). *A Literature Review of Alternative Substrate Options for Oyster Restoration: A summary of published literature on various substrates other than oyster shell that have been tested or used for oyster restoration in the Chesapeake Bay and other regions*. NOAA, Annapolis, MD. Available: <https://chesapeakebay.noaa.gov/images/stories/habitats/oyster reef alt substrate lit review.pdf>
- Southworth, M. and Mann, R. (1998). Oyster reef broodstock enhancement in the Great Wicomico River, Virginia. *Journal of Shellfish Research* **17**, 1101-1114.
- Van Banning, P. (1991). Observations on bonamiasis in the stock of the European flat oyster, *Ostrea edulis*, in the Netherlands, with special reference to the recent developments in Lake Grevelingen. *Aquaculture* **93**, 205-211.
- zu Ermgassen, P.S.E., Hancock, B., Deangelis, B., Greene, J., Schuster, E., Spalding, M. and Brumbaugh, R. (2016). *Setting Objectives for Oyster Habitat Restoration Using Ecosystem Services: A Manager's Guide*. The Nature Conservancy, Arlington, VA.

第六章

扩大贝类礁体修复规模

Boze Hancock、Simon Branigan 和 Stephanie Westby

要 点

- 从概念验证和测试阶段扩大至大规模项目时，需要对项目各方面都更加重视。
- 最有必要首要开展的项目管理步骤应是制定系统范围的修复规划。
- 修复规划应包含社会和生态条件的梳理，包括选点适宜性评估、区域性目标以及所需许可。
- 要考虑大规模操作所需的后勤物流和机械设施，包括：提高育苗场产量，识别、采购和运输构建礁体所需的底质物，以及投放礁体材料和幼苗。
- 随着规模的扩大，项目管理能力越来越关键，包括后勤物流监督、法律审查、订立合同、维护对外关系和宣传、以及公众参与。
- 修复规划应制定相应的监测方案。
- 就大型项目来说，建议开展经济分析以论证修复带来的投资回报。
- 需要为社区成员、政府、行业和企业合作伙伴创造参与项目的机会。



引言

贝类修复都始于小型项目，往往由社区主导，规模从几平方米到几百平方米不等。正如前几章所述，这种规模较小的项目十分重要，通过“概念验证”实验，它们对修复方法和手段进行了检验。小型项目在新的地理范围开展试点和测试新物种或方法时，仍发挥着作用，为后续大规模项目提供重要的借鉴。据记载，全球很多地区都出现了大规模的贝类礁体退化，只有开展更大型的修复项目才能逆转这种损失。贝类礁体是退化最严重的栖息地类型之一，剩余的贝类礁体生态系统通常还不到历史水平的 10%，甚至很多低于 1%（例如 Beck 等，2011）。无论修复项目的具体目标为何（生态系统服务功能或生物多样性），都需要扩大到与栖息地退化程度相匹配的规模，才能在系统层面上产生影响。扩大项目规模不仅能够提高其提供的服务功能效益（Bersoza 等，2018），同时，这些效益越显著就越易于量化并得到社会认可。

前面几章概括介绍了修复项目重要的早期工作，包括试点验证、吸引融资以及进行预先规划和可行性评估等。这些评估的关键组成包括识别冲突、合作伙伴以及他们的角色、生物安全和许可申请、以及解决主要威胁和知识空缺。尽管这些是所有修复项目都要考虑的问题，但对于大型项目而言，前期工作打好基础非常重要，因为项目规模越大，情况就越复杂，成本也会越高，对协调、后勤安排和项目管理的要求也就越来越高。通常不可避免需要由承包商和合作伙伴承担更多工作任务，而且需要在严格的时限内相互协调和适当排序。延迟可能会造成设备闲置——如果是每天花费数千美元、英镑或者欧元的驳船，这将是一笔昂贵的开销。

大规模、高成本的项目也会有更加复杂的法律方面的问题需要考虑，包括合理的合同制定和财务报告机制、劳动法、（工作地）卫生和环境安全考量等。即便在贝类栖息地修复历史较久的美国，在大多数辖区，规模达到几十，甚至几百公顷的修复项目也很少见。虽然这就意味着此等规模的贝类修复可能几乎没有现成

的经验可以借鉴，但其他类型的大型复杂项目也可以提供相当多的可供借鉴和复制的管理经验。

大规模贝类礁体修复需要结合项目管理专长、对相关生物学知识的理解和对项目基本组成要素的熟悉，这既包括协调育苗场生产、管理海事承包商，以及维护发展外部关系和提高公共意识等。例如 20 公顷左右的澳大利亚菲利普港湾（Port Phillip Bay）和圣文森特湾（Gulf St Vincent）项目，以及超过 100 公顷的美国切萨皮克湾哈里斯溪（Harris Creek）项目，都突出了这些基本要素，本节将通过以下的案例说明这些要素的应用。

重点是，近年来从业人员已经认识到，拥有明确的项目目标、监测方案和参照生态系统或模型（以从中了解生态系统属性和功能、用于设定物理环境目标）是大规模项目成功的关键。本指南参考 SER 标准（Gann 等，2019），为大规模修复项目提供了基本原则。



澳大利亚菲利普港湾威尔逊岬（Wilson Spit）位点上贝类礁体的投放。图源：Simon Branigan

案例研究：澳大利亚菲利普港湾

背景

菲利普港湾是位于澳大利亚南部维多利亚州的大型海湾，面积 1950 平方公里，大部分海岸线属于墨尔本和吉隆（Geelong）两市（图 6.1）。安加西牡蛎（*Ostrea angasi*）和紫贻贝（*Mytilus edulis galloprovincialis*）形成的礁体曾经是菲利普港湾海洋环境的主要特征，然而，历史上的过度捕捞，加上水质恶化、沉积物增加，导致了贝类礁体大面积消失（Ford 和 Hamer, 2016）。现在在菲利普港湾面临底质物和补充量同时受限的问题，但仍残存少量本地牡蛎和贻贝。所有这些生态特征都指明需对该地采取生态重建措施（见第五章和下文）。

2014 年，一项旨在修复菲利普港湾贝类礁体的长

期项目启动了。通过这个项目，大自然保护协会（TNC）、维多利亚州政府、阿尔伯特公园游艇和海钓俱乐部（Albert Park Yachting and Angling Club, APYAC）之间建立起了独特的伙伴关系，并吸引了其他多个合作伙伴加入（详见方框 6.1）。最初启动这个项目是因为 APYAC 俱乐部成员发现，20 世纪 80 到 90 年代间，他们最喜欢的海钓目标鲷鱼物种——银金鲷（*Chrysophrys auratus*）在当地贝类礁体上的捕获量明显下降，包括玛格丽特礁（Margaret's Reef）。成员对过度捕捞造成玛格丽特等诸多礁体的退化、以及整个海湾健康受到影响的程度感到震惊。因此，俱乐部成员发起了一项可行性研究，由维多利亚州渔业部门牵头完成（Hamer 等, 2013），通过文献综述、渔获记录和渔民访谈，对菲利普港湾贝类礁体的历史损失和退化前状况进行



图6.1 菲利普港湾地图，包括贝类礁体历史分布和修复位点（改编自Ford 和 Hamer, 2016）。

了评估。研究还评估了修复面临的主要威胁、渔民的支持程度、许可要求和选址等。

第一阶段: 试点项目

以可行性研究的结论为基础, 在获得了必要的许可并得到基金会合作伙伴联合提供的资金后, 这个与墨尔本大学合作的试点项目正式启动。第一阶段在菲利普港湾的两个位点开展了小规模实验, 以确定最佳修复方法。修复技术基本是从美国引入并测试的, 但都会再根据本地情况进行调整。

试点项目涵盖牡蛎和贻贝两种贝类, 并取得了一系列发现, 其中包括证实了将牡蛎从海床上抬高(例如使用贝壳或碎石灰岩垫底)可以改善牡蛎的存活和生长。投放的牡蛎(即产自维多利亚贝类育苗场(Victorian Shellfish Hatchery)的附壳幼体)的年龄差异会影响存活率, 但不同位点间存在差异。礁体底面积的大小和深度是减少边缘效应、捕食、沉积和风暴影响的重要因素。初期针对贻贝礁的实验没有使用任何底质物来抬高礁床, 而是投放了不同密度的贻贝, 这种做法最终的存活率很有限。

扩大规模

从试点项目中得出的经验教训随后被应用于第二阶段——位于菲利普港湾内, 面积 2.5 公顷的中等规模礁体修复项目。随着项目规模扩大, 项目管理工作也相应增加, 其中包括例如: 采购承包商服务; 获取礁体材料(如回收的贝壳、采石场挖掘出的石灰岩); 起草合同; 重新制定修复目标、指标和关键节点; 制定监测和评估方案; 获得额外的许可等。

实践发现, 要找到合适的地点将礁体底质物材料装载到投放用船只(如驳船或多用途船只)上是一项很有难度的工作, 建议在规划时及早加以考虑, 以免成为项目瓶颈。另一个潜在的瓶颈是育苗场的生产能力。菲利普港湾的一大优势在于修复位点靠近育苗场, 那里的工作人员在牡蛎和贻贝繁育方面经验丰富, 并且不断创新, 力求跟上日益扩大的需求。

项目第二阶段分为两个“子阶段”, 并持续对修复方法进行测试。第一子阶段使用碎石灰岩作为礁体底质物(每个礁块约 300 平方米), 再投放经过绳养一段时间的附壳幼体。第二子阶段测试了以多种碎石灰岩和回收贝壳的组合作为礁体(礁块大小 300 至 400 平方米), 而投放的附壳幼体直接来自育苗场(图 6.2)。总体而言, 使用石灰石和回收贝壳组合作为礁体底质, 以及投放直接来自育苗场的牡蛎, 是最具成本效益的方法, 并且还能持续保障高存活率(大于 70%)、高生长量以及生物多样性等目标(大自然保护协会 TNC, 2018)。目前正在规划菲利普港湾大规模贝类礁体修复的第三子阶段, 将增加超过 20 公顷的修复面积。

方框6.1: 社区的支持

社区的支持和参与从一开始就大大帮助了菲利普港湾项目。“撬了壳别扔(Shuck Don't Chuck)”贝壳回收倡议以及“修复海湾网络(Restore The Bay Network)”的建立都离不开这些支持。两项倡议都为企业和社区志愿者以切实有意义的方式参与该项目创造了机会。

“撬了壳别扔”贝壳回收倡议从餐饮场所和海鲜批发点回收可用于贝类礁体修复的贝壳(详见第四章)。和修复工作一样, 该倡议也是从小规模试点开始, 在所有必要的后勤工作到位后再扩大规模。该倡议得到了许多合作伙伴的认可和参与, 且广受媒体欢迎, 提高了澳大利亚贝类礁体修复的知名度。

“修复海湾网络”是该项目的志愿者组织, 为社区成员(如海洋环境维护、潜水和休闲海钓团体)、政府、行业和企业合作伙伴提供了为修复活动志愿服务的机会。相关活动包括例如, 牡蛎观测(OysterWatch)(即投放和监测附着板——见第五章), 协助维多利亚贝类育苗场清理用于着苗的贝壳(详见第五章)以及监测测量贝类个体(见第七章)。该网络还通过宣讲会 and 电子资讯的方式为项目进行有效的宣传与传播(见第九章)。



图6.2 菲利普港湾玛格丽特礁的贝类礁体建造。图源: Anita Nedosyko

菲利普港湾对不同修复技术进行尝试后得出的结果随后为南澳大利亚州圣文森特湾的温达拉礁项目选择合适的技术手段提供了指导。该项目吸取了前者的经验，启动了首个 20 公顷的大规模修复项目（详见方框 2.2）。虽然维多利亚州和南澳大利亚州的项目在生态系统服务功能目标（如鱼类增殖）和修复技术上相类似，但温达拉礁项目以创造就业和刺激经济的项目目标使其在资金和成效方面有不同考量（Edwards 等，2013）。对于大型项目来说，二者都很重要，有可能会带来传统意义上的保护资金之外的资助。该项目还进行了修复的成本效益分析，为大规模保育项目

的筹资提供了有力依据（Edwards 等，2013）。更多关于温达拉礁和菲利普港湾项目的信息，请访问 www.natureaustralia.org.au。

案例研究: 美国切萨皮克湾哈里斯溪

背景

切萨皮克湾是美国最大的河口，位于靠近马里兰州和弗吉尼亚州的大西洋海岸。据评估，目前切萨皮克湾的美洲牡蛎（*Crassostrea virginica*）种群数量仅为历史水平的 1%（Newell，1988）。切萨皮克湾开展修复工作

已经数十年，但近年来，才在两项政策的推动下，开展了更大规模、协作的修复。这两项政策分别是 2009 年的 13508 号总统行政令（Presidential Executive Order 13508）和 2014 年由切萨皮克湾流域各州州长和美国联邦政府签署的《切萨皮克湾流域协议》（Chesapeake Bay Watershed Agreement）。二项政策要求在 2025 年之前恢复切萨皮克湾 10 条支流中的牡蛎。

这些远大的目标引出了实际的问题：什么才可以称作“恢复”了，以及（或者）多少算够？在整条支流尺度上修复牡蛎礁的隐含目标是：大幅增加牡蛎种群数量，以及恢复支流中礁体曾经提供的大部分生态系统功能。要达到这种规模的修复，就必须设定可衡量成功的目标。

关键目标

一支由科学家和资源管理者组成的团队共同为切萨皮克湾制定了礁体层面和支流尺度的牡蛎修复指标，通常称为“切萨皮克湾牡蛎指标（Chesapeake Bay Oyster Metrics）”（Oyster Metrics Working Group, 2011）。这些指标是专门为了恢复切萨皮克湾 10 条支流上牡蛎种群这一政策目标而编写的。其理念是回答以下问题：“什么才是成功修复的牡蛎礁？”和“需要成功修复多少礁体，才算成功修复了一条支流？”

在礁体层面，切萨皮克湾牡蛎指标将修复成功的礁体定义为修复后 6 年满足以下标准：

- **牡蛎密度**：最低阈值 = 每平方米 15 个；目标 = 每平方米 50 个
- **牡蛎生物量**：最低阈值 = 每平方米干重 15 克；目标 = 每平方米干重 50 克
- **多龄级**：成功 = 两个或以上
- **贝壳预算**（见术语表）：成功 = 稳定或增长
- **礁体高度和礁体面积**：成功 = 稳定或增长。

标准一旦确立，就能以此为依据规划、建造和监测礁体了。

在支流尺度，切萨皮克湾牡蛎指标文件承认，并非支流的所有基底都适合建造礁体，且历史上礁体也并

非覆盖整个支流底部。因此，支流一级的成功修复被定义为 50% 以上的可修复河床（目前为硬质底的区域）由“达标”的礁体覆盖。此外，修复后的礁体应至少占该支流预估历史礁体面积的 8%。

扩大规模

在计划开展大规模牡蛎修复活动的十条支流中，哈里斯溪被选为开展行动的第一条。哈里斯溪位于切萨皮克湾东岸，属马里兰州，是一个占地 1829 公顷的牡蛎保护区（牡蛎禁捕区）。哈里斯溪是历史上有名的牡蛎捕捞产地，但到 21 世纪初出现了牡蛎补充量和礁体结构受限的双重问题。联邦政府和州政府以及当地非政府组织的合作伙伴共同制定了河口修复计划（Maryland Oyster Inter-agency Working Group, 2012）。他们首先收集了地理空间信息，如水质数据、通过声纳获取的底栖生境特征、牡蛎种群调查、以及水深调查，以确定在支流中的什么位置建造牡蛎礁。适合投放礁体的区域需满足：水质适宜牡蛎种群生活、硬质底、水深 1.2 至 6 米、远离码头、航道和辅助航道。

规划采用了两种方式进行修复（图 6.3）：

- 只投放贝类幼苗的辅助再生法（详见第五章），将附壳幼体直接投放到现有残存的贝类礁体（62 公顷）上；以及
- 投放底质物和幼苗的生态重建法（详见第五章），首先投放底质物（80 公顷），再将附壳幼体移植其上。这种方法适合礁体残余很少的地方。底质物由石头或海螺、蛤蜊和蛾螺壳混合构成。

2011 年至 2015 年间，哈里斯溪建造了总面积为 142 公顷的礁体网络，资金主要来自两大美国联邦政府机构（美国陆军工程兵团，以及美国国家海洋和大气管理局）以及马里兰州政府。礁体上投放的附壳幼体主要来自马里兰大学的霍恩普恩特（Horn Point）牡蛎育苗场，移植密度通常为每公顷 1250 万株幼苗，水中礁体建造成本为 2856 万美元，投放了超过 20 万立方米的底质物，用于构建高度为 0.15 至 0.3 米的礁体，并投放了超过 20 亿只附壳幼体。



图6.3 哈里斯溪地图，图中标明使用了底质物的修复区域，以及仅使用附壳幼体的修复区域。

哈里斯溪以及附近两个位点（特雷德埃文（Tred Avon）河口和小查普坦（Little Choptank）河口）距离贝壳清理场和育苗场都不远，并且还靠近经改造可以机械化将附壳幼体直接装载至投放船上、并配有异地着苗设施的码头。这就解决了大规模作业相关的后勤问题。

结 果

截至 2017 年底的监测，哈里斯溪 98% 的礁体上牡蛎的生物量和密度都达到了成功标准的最低“阈值”，75% 达到了更高的“目标”标准。目前，哈里斯溪使用的通用方法也推广到了切萨皮克湾其余 9 条被纳入大规模牡蛎礁修复计划中的支流。在修复的 3 年后，对每个礁体都进行了监测，并将在修复 6 年后再次进行监测。令人惊讶的发现是，以石头为底质物建造的礁体（图 6.4）上生长的牡蛎数量是贝壳底质物礁体的

平均四倍（NOAA，2018）。

根据模型估算，哈里斯溪修复的贝类礁体每年可清除 46650 公斤氮和 2140 公斤磷。保守估计，这一生态系统服务功能每年创造的价值为 300 万美元（Kellogg 等，2018）。另外，模拟结果预测，与未修复时相比，哈里斯溪以及附近特雷德埃文河以及小查普坦河修复的礁体成熟时，当地的蓝蟹（*Callinectes sapidus*）捕获量将增长超过 150%；仅此一项每年就能额外带来 1100 万美元的码头年销售额（Knoche 等，2018）。此研究（Knoche 等，2018）还预计修复后该区域内渔业总产出的增长为每年 2300 万美元（直接、间接及连带效应的总和）。

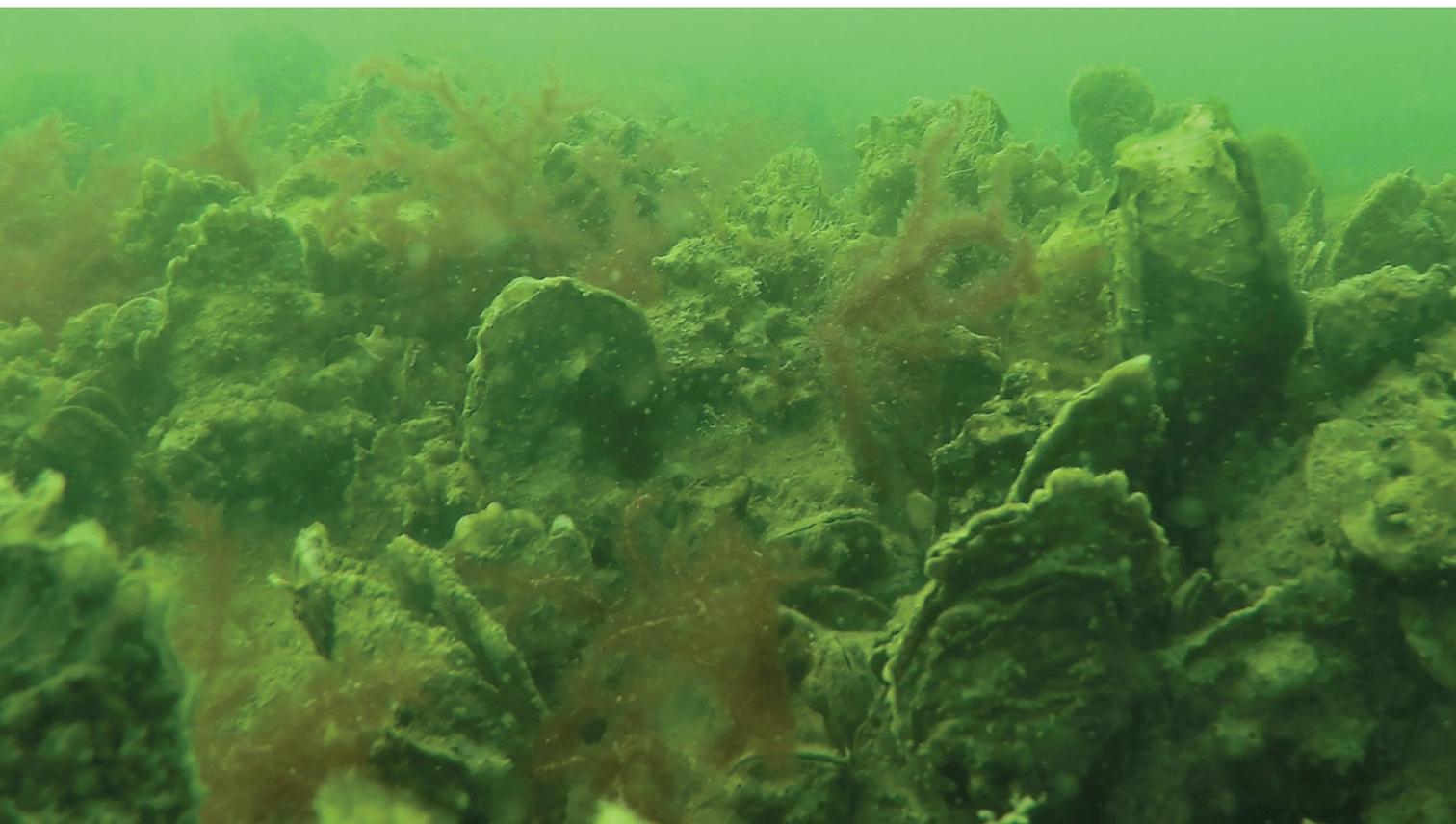


图6.4 美国马里兰州的哈里斯溪内，以石头为底质物修复的贝类礁体上生长的美洲牡蛎（*Crassostrea virginica*）。
图源：NOAA切萨皮克湾办公室

参考文献

- Beck, M.W., Brumbaugh, R.D., Airoidi, L., Carranza, A., Coen, L.D., Crawford, C., Defeo, O., Edgar, G.J., Hancock, B., Kay, M., Lenihan, H.S., Luckenbach, M.W., Toropova, C.L., Zhang, G. and Guo, X. (2011). Oyster reefs at risk and recommendations for conservation, restoration and management. *BioScience* **61**, 107-116.
- Bersoza Hernández, A., Brumbaugh, R.D. Frederick, P. Grizzle, R. Luckenbach, M. Peterson, C. and Angelini, C. (2018). Restoring the Eastern oyster: how much progress has been made in 53 years of effort? *Frontiers in Ecology and the Environment* **16**, 463-471.
- Edwards, P.E.T., Sutton-Grier, A.E. and Coyle, G.E. (2013). Investing in nature: Restoring coastal habitat blue infrastructure and green job creation. *Marine Policy* **38**, 65-71.
- Ford, J.R. and Hamer, P. (2016). The forgotten shellfish reefs of coastal Victoria: Documenting the loss of a marine ecosystem over 200 years since European settlement. *Proceedings of the Royal Society of Victoria* **128**, 87-105.
- Gann, G.D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C.R., Jonson, J., Hallett, J.G., Eisenberg, C., Guariguata, M.R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K. and Dixon, K.W. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology* **27**(S1), doi: 10.1111/rec.13035.
- Kellogg, M.L., Brush, M.J., and Cornwell, J.C. (2018). *An Updated Model for Estimating TMDL-related Benefits of Oyster Reef Restoration*. A final report to The Nature Conservancy and Oyster Recovery Partnership. Virginia Institute of Marine Science, Gloucester Point, VA. Available: https://www.conservingateway.org/Documents/Harris_Creek_Model_and_Oyster_Reef_Restoration_Benefits.pdf
- Knoche, S., Ihde, T., Townsend, H. and Samonte, G. (2018). Estimating Ecological Benefits and Socio-Economic Impacts from Oyster Reef Restoration in the Choptank River Complex, Chesapeake Bay. Final Report to The National Fish and Wildlife Foundation & The NOAA Chesapeake Bay Office. Morgan State University, PEARL Report #11-05. Available: [https://www.morgan.edu/Documents/ADMINISTRATION/pearl/ORES_Impacts_Knoche_Ihde%20\(1\).pdf](https://www.morgan.edu/Documents/ADMINISTRATION/pearl/ORES_Impacts_Knoche_Ihde%20(1).pdf)
- Maryland Oyster Restoration Interagency Workgroup (2012). *Harris Creek Oyster Restoration Tributary Plan: A blueprint to restore the oyster population in Harris Creek, a tributary of the Choptank River on Maryland's Eastern Shore*. Maryland Interagency Oyster Restoration Workgroup of the Sustainable Fisheries Goal Implementation Team. Available: <https://chesapeakebay.noaa.gov/images/stories/habitats/harris-creek-blueprint1.13.pdf>
- Newell, R.I.E. (1988). Ecological changes in Chesapeake Bay: Are they the result of overharvesting the American oyster, *Crassostrea virginica*? In: M.P. Lynch and E.C. Krome (eds.). *Understanding the Estuary: Advances in Chesapeake Bay Research*, pp. 536-546. Chesapeake Research Consortium, Publication 129 CBP/TRS 24/88, Gloucester Point, VA.
- NOAA (2018). *2017 Oyster Reef Monitoring Report Analysis of Data from Large-Scale Sanctuary Oyster Restoration Projects in Maryland*. Report produced in partnership with the Maryland Oyster Restoration Interagency Workgroup under the Chesapeake Bay Program's Sustainable Fisheries Goal Implementation Team. NOAA, Washington DC. Available: <https://chesapeakebay.noaa.gov/images/stories/habitats/2017oystermonitoringreport.pdf>
- Oyster Metrics Workgroup (2011). Restoration Goals, Quantitative Metrics and Assessment Protocols for Evaluating Success on Restored Oyster Reef Sanctuaries. Report to the Sustainable Fisheries Goal Implementation Team of the Chesapeake Bay Program. Available: https://www.chesapeakebay.net/channel_files/17932/oyster_restoration_success_metrics_final.pdf
- Rogers, A.A., Nedosyko, A., McLeod, I.M., Gillies, C. and Burton, M.P. (2018). *Benefit-Cost Analysis of the Windara Shellfish Reef Restoration Project*. Report to the National Environmental Science Programme, Marine Biodiversity Hub. The University of Western Australia, Perth. <https://www.nespmarine.edu.au/document/benefit-cost-analysis-windara-shellfish-reef-restoration-project>
- The Nature Conservancy (2018). Restoring the lost shellfish reefs of Port Phillip Bay, Final Evaluation Report, Stage 2 Extension November 2017 to December 2018. Prepared for the Department of Environment, Land, Water and Planning. The Nature Conservancy, Melbourne. Available: <http://bit.ly/PPBDELWP>
- zu Ermgassen, P., Hancock, B., DeAngelis, B., Greene, J., Schuster, E., Spalding, M. and Brumbaugh, R. (2016). *Setting Objectives for Oyster Habitat Restoration Using Ecosystem Services: A Manager's Guide*. The Nature Conservancy, Arlington VA.

第七章

为什么要监测贝类礁体？

Bryan M. DeAngelis 和 Laura Geselbracht

要 点

- 需要对修复项目进行监测以评估其成效，且采用的监测方式应便于与其他项目进行比较。
- 美国的牡蛎修复有一套最基本的通用衡量指标和环境变量，可用于监测所有项目，不受修复目标限制。这些指标可以为其他造礁的贝类礁体修复项目提供指导。
- 基于修复目标进行监测虽然实施起来难度较高，但可以评估修复项目提供的一个或多个生态系统服务功能的完成情况、为适应性管理提供监测信息，也可以为其他的生态系统服务功能预测性模型提供数据。

引 言

开展修复活动的主要动机是提高或改善退化的栖息地，使其恢复到参照生态系统或模型的状态（见第三章）。其中的假设是，修复后的生态系统将为人类和自然带来回报。贝类礁体修复通常是为了实现一个或多个主要目标（详见第二章；Coen 等，2007；Grabowski 和 Peterson，2007 等）。为了解修复项目是否达到预期成果，需对项目进行监测以评估其成效，且采用的监测方式应便于与其他项目进行比较（图 7.1）。

不同项目之间的比较十分重要，有助于从方案和（或）景观尺度评估项目成效，并且用于对比多个修复位点之间的不同修复效果。很多对修复礁体的监测达不到通用标准，就无法用于与其他项目进行比较（Kennedy 等，2011；La Peyre 等，2014）。如果从业人员在修复前后进行系统性监测，就可以根据预期和项目目标对结果进行评估。重要的是，可以跨多个地点评估项目成效，从而在更广泛空间尺度上，改进修复方法并回答可被应用于更广泛空间尺度的研究问题。

最近，美国国家科学、工程和医学院（The National Academies of Sciences, Engineering and Medicine，2017）为墨西哥湾修复活动（包括美洲牡蛎 *Crassostrea virginica*）的监测和评估方法进行了指导，并提出了最佳方式。虽然报告重点评估的是墨西哥湾的生态系统，但关于监测方法的总体指导适用于全球各地的贝类礁体修复。此外，Baggett 等（2014、2015）在之前工作的基础上出版了一本关于牡蛎修复的监测综述和从业者手册，其中包括针对美洲牡蛎（*Crassostrea virginica*）和奥林





图7.1 美国南卡罗来纳州帕尔梅托种植园 (Palmetto Plantation) 贝类礁体修复位点的工作人员正在进行监测。
图源: Joy Brown

匹亚牡蛎 (*Ostrea lurida*) 的具体建议。本指南中，监测贝类礁体修复项目的基本概念总结自上述两份主要出版物，它们是从从业者可以进一步研读的、可起到指导作用的信息来源。

修复目标和成效指标

任何修复项目都要首先明确修复目标，这个步骤很关键，但却往往被忽略。应当在所有修复活动开展之前制定出明确的目标。如第三章所述，明确修复目标能给项目带来诸多好处，也为监测提供指导。首先，明确的目标迫使项目管理者不得不积极思考，开展修复工作所要实现的预期成效、以及修复后生态系统的预期状态是什么。其次，明确目标后就可以根据参照

生态系统或模型，确定修复活动最有效的监测标准或指标，通常称为“成效指标”。这些标准或成效指标为制定合理的监测方案指明了方向。最后，明确的修复目标为衡量修复工作的成功与否提供了标准，也为如何进行适应性管理以改善修复成效提供了依据。

三种监测类型

如上所述，监测具有多重目的，其类型应为以下三种中的一种或多种。第一种是**执行监测**，非常直接的对修复项目的管理行动进行评估，判断其是否按照预先的设计和规划开展和完成行动。第二种是**成效监测**，用于衡量修复活动是否产生了预期的生境响应，例如，总体贝类补充量、生物量或其他种群层面的参数变化



帕尔梅托种植园 (Palmetto Plantation) 年度监测。图源：大自然保护协会 (TNC)

是否向参照生态系统或模型的水平靠近。

修复项目也可能想获得生态系统层面的响应，例如区域内鱼类生物量或水质等。成效监测要求项目目标制定的清楚明确，并能够识别出信息有效的监测指标。最后，**适应性管理监测**旨在为后续修复管理提供信息从而完善未来修复设计。在进行后两种监测的过程中，务必使用具有可比性的标准化方法进行系统性监测，以确保能够对不同项目进行对比，同时也避免各项目因监测规程差异而出现观测上的差距。

适用于所有贝类礁体修复项目的最基本通用衡量指标

无论修复目标如何，每个项目都应对一组相同的最基本**通用衡量指标**进行采样，以评估修复项目的基本成效。虽然目前没有开发出所有造礁贝类物种的相关通用指标，但 Baggett 等（2014、2015）针对美洲牡蛎和奥林匹亚牡蛎发布的最基本通用衡量指标，可作为其他造礁贝类物种修复的指南（见表 7.1）。对这些通用衡量指标进行采样，既有助于跟踪评估每个礁体的基本成效，也便于与其他项目进行比较。测量通用环境变量

（水温、盐度和溶氧量、潮汐规律）也能提供有价值的信息，有助于解读礁体监测活动收集来的数据（Baggett 等，2014；Wallis 等，2016）。

为确保对通用衡量指标进行监测的方法的系统性，贝类礁体修复从业者应采用相似的影响评估方法、采样方法、采样频次和采样持续时间（如 Baggett 等，2014、2015 所述；表 7.1）。

基于修复目标的衡量指标

如前文所述，贝类礁体修复项目的目的是恢复自然（如提升生物多样性、改善鱼类或蟹类的栖息地、或移除过量的氮）和（或）造福人类（如带来更多捕捞机会）。修复项目需要制定一个或多个**基于目标的衡量指标**并对其进行监测，才能评估该项目是否实现了这些效益（参见 Baggett 等，2014、2015；美国国家科学、工程和医学院，2017）。对基于目标的衡量指标进行监测通常更为复杂，需要额外的能力和专业知识来确保收集到有效的、科学严谨的信息，才能对项目提供的服务功能进行评估，以及对未来修复项目的设计和实施进行完善。修复活动完成后，预期效益可能需要

很长时间才能实现（某些情况下需要几十年），并且取决于远超项目地理边界和持续时间的大尺度环境因素。考虑到出资方和修复项目的优先事项及预算限制，获得支持长期监测的资金也是一项挑战。指望每个项目都对大量的成效指标开展监测是不现实的，尤其是因为这既需要丰富的实地生态学经验和专业知识，又或者可能需要等数年才会展现出可观测到的结果。然而某些情况下，尤其是在无法提前预测修复响应的情况下，基于修复目标的监测可以为适应性管理提供信息。如果从业者识别出一套可以整合监测数据的结构化适应性管理流程（例如，预测性生态系统服务功能模型、管理决策或修复问题），那么该修复项目就可以减少不确定性、强化当下或未来的修复决策，从而大幅度提升修复成效。

公民科学

管理得当的公民科学项目可以减轻监测活动的部分资金和人员负担，同时提供宝贵的公众参与机会。接受过培训的公民科学家有能力使用 Baggett 等（2014、2015）提出的最基本通用衡量指标参与监测活动（如测量礁体尺寸和高度、贝类数量和大小、计算活贝和死贝数量），从而协助论证项目成效（图 7.2）。公民科学家还可以成为项目大使，有效建立其所属社区对修复项目的支持（DeAngelis 等，2018）。美国有一些公民科学项目的例子，详细信息可参见夏洛特港湾（Charlotte Harbour）国家河口计划的牡蛎栖息地志愿者监测手册（National Estuary Program's Volunteer Oyster Habitat Monitoring Manual, <https://www.chnep.org/publications>）。



图7.2 公民科学家在澳大利亚菲利普港湾协助测量贝类。图源：大自然保护协会（TNC）

附录7.1: 监测贝类礁体修复的通用衡量指标 (改编自Baggett等, 2014、2015)。制定具体的目标或成效指标时, 应参考参照生态系统或模型。dGPS = 差分全球定位系统

指标	方法	单位	频次	成效指标
礁体区域尺度				
区域足迹	使用dGPS、测距轮或样带、或者航空图像测量礁体区域范围的最大值; 潮下带礁体则使用声呐或潜水进行监测。	平方米	修复前、修复后3个月内、修复后至少1-2年内/最好4-6年内、以及发生会导致礁体区域变化的事件后。	无
礁体面积	使用dGPS、测距轮或样带、或者航空图像测量每个礁体斑块的面积; 潮下带礁体则使用声呐, 或测深仪辅以实地验证。所有斑块面积之和即为礁体总面积。	平方米	修复前、修复后3个月内、修复后至少1-2年内/最好4-6年内、以及发生会导致礁体区域变化的事件后。	无
礁体高度	使用刻度尺和经纬仪, 或测量设备; 潮下带礁体使用声呐或测深仪。	米	修复前、修复后3个月内、修复后至少1-2年内/最好4-6年内、以及发生会导致礁体区域变化的事件后。	呈增长或不变趋势
牡蛎密度	使用样方。收集必要深度的底质物以获得样方内所有活体牡蛎, 清点活牡蛎数量(包括补充量)。如果项目使用了牡蛎幼苗, 则需清点样方内所有牡蛎幼苗数量。	个体数/平方米	若使用牡蛎幼苗, 则投放后立即监测。否则就在每年牡蛎生长季节结束时(具体时间因地制宜)进行监测, 至少监测1-2年, 最好4-6年。	基于已有的区域性和项目类型的数据以及当地/区域内现存和/或历史的牡蛎密度所制定的短期和长期目标。
大小-频率分布	从每个牡蛎密度样本中, 取至少50个活牡蛎测量其壳高。	毫米(大小), 每个直方区间内的数量或百分比(频率分布)	至少在每年牡蛎生长季节结束时(因地制宜), 与牡蛎密度一起进行监测采样。	无

参考文献

- Baggett, L.P., Powers, S.P., Brumbaugh, R., Coen, L.D., DeAngelis, B., Greene, J., Hancock, B. and Morlock, S. (2014). *Oyster Habitat Restoration Monitoring and Assessment Handbook*. The Nature Conservancy, Arlington, VA, USA.
- Baggett, L.P., Powers, S.P., Brumbaugh, R.D., Coen, L.D., DeAngelis, B.M., Greene, J.K., Hancock, B.T., Morlock, S.M., Allen, B.L., Breitburg, D.L., Bushek, D., Grabowski, J.H., Grizzle, R.E., Grosholz, E.D., La Peyre, M.K., Luckenbach, M.W., McGraw, K.A., Piehler, M.F., Westby, S.R. and zu Ermgassen, P.S.E. (2015). Guidelines for evaluating performance of oyster habitat restoration. *Restoration Ecology* **23**, 737-745.
- Coen, L.D., Brumbaugh, R.D., Bushek, D., Grizzle, R., Luckenbach, M.W., Posey, M.H., Powers, S.P. and Tolley, S.G. (2007). Ecosystem services related to oyster restoration. *Marine Ecology Progress Series* **341**, 303-307.
- DeAngelis, B., Birch, A., Malinowski, P., Abel, S., DeQuattro, J., Peabody, B. and Dinnel, P. (2019). A variety of approaches for incorporating community outreach and education in oyster reef restoration projects: examples from the United States. In: Smaal, A., Ferreira, J.G., Grant, J., Petersen, J.K. and Strand, O. (Eds). *Goods and Services of Marine Bivalves*, pp. 335-354. Springer, Cham.
- Grabowski, J.H. and Peterson, C.H. (2007). Restoring oyster reefs to recover ecosystem services. In: Cuddington, K., Byers, J., Wilson, W. and Hastings, A. (Eds). *Ecosystem Engineers: Plants to Protists*, pp. 281-298. Elsevier-Academic Press, Amsterdam.
- Kennedy, V.S., Breitburg, D.L., Christman, M.C., Luckenbach, M.W., Paynter, K., Kramer, J., Sellner, K.G., Dew-Baxter, J., Keller, C. and Mann, R. (2011). Lessons learned from efforts to restore oyster populations in Maryland and Virginia, 1990 to 2007. *Journal of Shellfish Research* **30**, 719-731.
- La Peyre, M.K., Furlong, J.N., Brown, L.A., Piazza, B.P. and Brown, K. (2014). Oyster reef restoration in the northern Gulf of Mexico: Extent, methods and outcomes. *Ocean and Coastal Management* **89**, 20-28.
- The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2017). *Effective Monitoring to Evaluate Ecological Restoration in the Gulf of Mexico*. The National Academies Press, Washington, DC.
- Walles, B., Fodrie, F.J., Nieuwhof, S., Jewell, O.J.W., Herman, P.M.J. and Ysebaert, T. (2016). Guidelines for evaluating performance of oyster habitat restoration should include tidal emersion: Reply to Baggett et al. *Restoration Ecology* **24**, 4-7.

第八章

贝类礁体修复：牡蛎礁之外

Andrew Jeffs 和 Philine zu Ermgassen

要点

- 修复贻贝与其他造礁贝类能够带来与牡蛎礁修复类似的效益。
- 幼年和成年贻贝比牡蛎更具移动性，这个特点往往会使修复的最适宜方法有所不同。
- 幼年贻贝对栖息地的需求可能与成年贻贝不同，贻贝礁修复工作需要考虑到这一点。
- 考虑到贝类补充量和存活量的年际波动，应开展长期监测。



新西兰瓦赫克岛 (Waikato Island) 东面修复后的贻贝礁。图源: Shaun Lee

引言

目前贝类礁体修复项目大多以牡蛎为主，但修复贻贝和其他形成栖息地的贝类的项目正在迅速增加。这些物种能够提供许多与牡蛎礁类似的生态系统服务功能，但它们的生活史往往与牡蛎不同（图 8.1），尤其是在整个发育过程中对栖息地的需求不断变化。因此，针对这些形成栖息地的贝类物种，往往需要采取与牡蛎不同的修复方法才能取得成功。

和牡蛎一样，这些贝类的许多种群也大量减少，这通常是由过度捕捞和各种形式的环境退化所共同造成的，包括污染、沉积、破坏性捕捞（如海底拖网捕捞）和可供幼虫附着的自然栖息地丧失。因此，成功修复贝类种群的关键通常主要取决于识别出限制贝类礁体形成或恢复的威胁和环境退化因素，并对其加以管理。

识别并管理威胁

和牡蛎礁修复一样，修复贻贝礁关键的第一步是识别退化原因，然后消除或减轻威胁。有时候，这就足以成功修复贻贝礁。拿荷兰瓦登海（Wadden Sea）潮间带的紫贻贝（*Mytilus edulis*）礁修复案例来说，就是在没有首先解决贝类面临的威胁的情况下，采取了许多主动干预的修复行动（如投放幼苗或成年贻贝），最终效果非常有限（de Paoli 等，2015）。相比之下，在识别出鸟蛤形成的贝类礁床面临的捕捞威胁后，保护其不受进一步捕捞，使得重要的幼贝附着和育苗栖



图8.1 贻贝生命周期

息地得以恢复，并最终使贻贝礁得到了大规模且低成本的恢复（Dankers 等，2001）。

收集适当的信息

如果消除威胁并不足以促使生态系统恢复，则需要采取其他干预措施。贻贝和牡蛎一样，种群数量下降后可能出现底质物受限或补充量受限的问题，需要添加可供附着的栖息地或增殖亲体数量，或二者兼顾。

但和牡蛎相比，野生贻贝礁的生态重建还存在关键的知识空缺：

- 了解贻贝的生命周期对制定有效的修复措施尤为重要，因为许多贻贝物种在幼虫附着和幼年时期对栖息地的要求与成年阶段不同。贻贝幼苗往往倾向于附着在海藻、水螅虫和海草等丝状生物体上，这样一来幼贝的早期成长过程就可以远离海底表面。相比之下，成年贻贝往往喜欢聚集在海底，形成礁体结构。贻贝幼虫对育苗栖息地的需求与成年完全不同。这与牡蛎

幼虫形成鲜明对比，牡蛎幼虫需要坚硬的底质物，尤其是成年牡蛎的壳，之后便永久性附着并定居在上面，在成长过程中一直保持相同的位置。

- 了解贻贝整个生命周期所需的关键栖息地，对于成功修复贻贝礁往往也很重要。例如，附着和育苗栖息地的丧失可能是导致贻贝礁因缺乏充足的幼虫补充量而退化或消失的常见原因。这种情况下，成功修复贻贝礁有赖于恢复贻贝附着和育苗栖息地，如海藻床和海草床，而这些栖息地也常常受到沿海水域人类活动的影响。
- 了解关键栖息地的空间分布以及贻贝在生命周期各阶段内的移动能力，对于成功修复贻贝礁栖息地也很重要。虽然确定附着物适宜性是为修复后的贻贝礁持续提供补充量的重要先决条件，但附着物相对于成年贻贝的位置也是确保幼贝能够迁移并补充到成年贻贝礁的关键所在。许多贻贝物种幼体的移动性很强，能够从最初幼虫的附着点，通过在海底爬行或被动顺流迁移很远的距离。从这一点来说，选择曾经存在过贻贝礁的地方开展修复工作更为可行，因为那里的空间条件可能已经具备幼贝从附着点迁移并长成成年种群的前提。

技术手段

一旦解决了退化的成因，就可以采取一系列适合修复该位点退化程度的应对方案。如果单纯添加附着底质物以提高幼贝附着的方式不足以恢复贻贝礁体，那么投放成年或经过附着期的个体以扩大成年礁体，可能才是有效提高亲贝种群数量的合适措施。相比生性固着的牡蛎，贻贝的移动性极强，因此二者的修复方式存在显著差异。例如，在修复位点投放幼年贻贝时可能需要使用可生物降解的网兜来防止它们在建立礁体的过程中四处移动。

同样，也可以直接将大量活体成年贻贝从船上投放到适当位置，贻贝一旦沉入海底就会四处移动，自行

寻找便于觅食的位置，然后用足丝相互附着在一起，形成功能齐全的贻贝礁的基础（图 8.2）。正因为成年贻贝能够相互系牢的特点，所以它们在海底沉积物表面上会形成稳定的毯状礁体结构，这也就意味着，不同于牡蛎，贻贝修复不需要硬质底质物（如牡蛎附着基）就可以形成礁体。聚合的贻贝礁能够稳定软质沉积物并在其表面形成复杂的结构，从而为其他物种提供栖息地，发挥着重要的生态意义。

从增殖放流和资源增殖中借鉴经验

许多贻贝物种被认定为不错的食物，而又往往聚集地出现在较浅的沿海水域（贻贝礁），因此很容易被过度捕捞。虽然在某些情况下这会为修复带来问题，但同时也是社区修复贻贝礁的动力。几个世纪以来，



澳大利亚菲利普港湾的贻贝投放。
图源：Johno Rudge



图8.2 新西兰“恢复我们的海湾 (Revive Our Gulf)”项目志愿者正用铁锹把贻贝倾倒入修复位点。图源: Shaun Lee

以恢复或改善贝类捕捞业为目的的贻贝等贝类种群的修复，一直是沿海居民常用的实践。在近代，贝类种群的修复通常采用两种方式，一般称为增殖放流和资源增殖。

增殖放流通常采用的方法是将养殖的幼贝放归野外，目的是修复捕捞造成的亲体生物量枯竭，人为增加补充量从而最终改善捕获量。相比之下，资源增殖是专门为了改善现有渔业捕获量而进行的一系列直接干预措施，例如人为改善附着或补充量 (Bell 等，2005)。

虽然对贝类种群进行增殖放流和资源增殖的最终目的不同于贝类礁体修复 (即提高捕获量对比栖息地保育)，但采用的方法却往往异曲同工。因此，贻贝礁修复可以从过去各种贝类 (包括贻贝) 的商业性增殖放流和资源增殖工作中借鉴大量经验。有很多有用

的相关综述值得仔细阅读 (Bell 等，2005)。

可借鉴的重要经验包括，必须建立足够大的本地亲贝种群，才能有充足的亲体生物量来产生自给自足的补充量，以维系贝类种群的可持续或扩大 (Bell 等，2005)。要满足这一需求、将贝类种群建立得足够大，可能需要付出相当大的努力，或者需要经过多年多次投放以积累大量贻贝。然而，很难定义亲贝种群多大才算足够，会因贻贝物种和地域环境的差异而有所不同。

监测

监测附着量和补充量尤其重要，用以得出补充到所修复的贻贝种群中的幼贝数量变化 (见第七章)。对贻贝礁这两项指标的监测必须是长期且方法保持一致

的，这是由于大多数贻贝的繁殖量和幼虫附着量天生就是多变的，因此，受这种天然的波动性掩盖，短期监测可能无法捕捉到修复工作的真正效果。

监测已成形的贻贝礁也是一项长期工作。由于受捕食者数量的变化和强风暴等自然事件的影响，贻贝礁的范围经常有相当大的自然波动。贻贝礁能够在此类事件发生后维持存活并能够恢复是其修复成功的有力指标。

参考文献

Bell, J.D., Rothlisberg, P.C., Munro, J.L., Loneragan, N.R., Nash, W.J., Ward, R.D. and Andrew, N.L. (Eds) (2005). Restocking and stock enhancement of marine invertebrate fisheries. *Advances in Marine Biology* **49**, 1-392.

de Paoli, H., van de Koppel, J., van der Zee, E., Kangeri, A., van Belzen, J., Holthuisjsen, S., van den Berg, A., Herman, P., Olff, H. and van der Heide, T. (2015). Processes limiting mussel bed restoration in the Wadden-Sea. *Journal of Sea Research* **103**, 42-49.

Dankers, N., Brinkman, A.G., Meijboom, A. and Dijkman, E. (2001). Recovery of intertidal mussel beds in the Waddensea: use of habitat maps in the management of the fishery. *Hydrobiologia* **465**, 21-30.



中国香港榕树澳的附着板投放。图源: Lori Cheung

第九章

贝类礁体修复项目的传播策略

Ian McLeod

为什么要传播交流？

与利益相关各方进行有效交流是贝类礁体修复项目成功的关键，通常在申请许可和筹集资金方面是必要的。沟通顺畅的话，有助于人们建立与项目之间的联系和情感。相反，如果没有尽早和妥善地开展交流并加强各方参与，则可能导致误解和不信任，从而产生问题和延迟。有效的传播交流需要有预算支持，并且应直接纳入项目规划中。本章节介绍了贝类礁体修复项目有效传播策略的关键要素。

传播策划

成功策划传播工作似乎令人望而生畏，但一个好的策略能充分利用有限的资源，并可能为项目带来更多的支持和资金（Olsen, 2009）。成功的传播内容还可以阐明项目的使命和目标。通常，这些要素在团队面临为项目建立网站或准备支持性文件时才会被明确定义。那么，从哪里开始呢？

建立团队——确定项目人员中可以协助开展传播活动的人，可以包括来自相关监管或科研机构的传播专员。可以考虑任命一位传播经理负责项目这方面的工作，如果预算允许的话还可以聘请专业人员。

定义受众——按重要程度列出对项目成功来说最重要人员名单，确保你的传播策略优先考虑这些人。建议这些人中要包括资助方、项目团队、项目拥护者、当地利益相关方和潜在受益人。关于如何定义项目受众的进一步指导，请访问礁体弹性网络（Reef

Resilience Network, 2019）的网站（<http://reefresilience.org/communication>）。

明确关键信息——从项目愿景开始。项目试图解决哪些问题，设想实现什么效益？愿景应是积极正面的、非政治性且基于事实证据的。不要忘记随时认可合作伙伴和资助方，不要夸大项目可实现的成果。建议探讨能给当地民众和经济带来的益处，而不仅限于生态效益，因为多数人更关注前者。

识别针对项目目标受众的最佳传播方式——需要考虑和权衡目标受众的常用方式、便于项目团队使用的方式、以及项目时间和预算允许的可行方式。

对策略进行跟踪——列出传播策略的目标并跟踪其完成情况，子目标应满足 S.M.A.R.T. 原则，即具体（Specific）、可衡量（Measurable）、可实现（Attainable）、现实（Realistic）、有时限（Time-bound）这五个要求。

对策略进行回顾——项目会发生变化，所以需要花时间回顾传播策略、反思做得好与不好的地方。在日

✓ **专业建议：** 尽量尝试与潜在的反对者建立联系，并愿意做出能让他们认同的修改。贝类礁体修复项目最令人兴奋的一点就是，它能够让在其他情况下可能相互对立的各种利益相关群体联合到一起。



图9.1 新西兰一港口帆船赛上的贝类礁体修复展位，一名游艇船长过来讨论附近港湾的贝类礁体修复活动。
图源: Andrew Jeffs

历中设置提醒，确保每年至少对策略进行一次回顾和更新。谷歌分析（Google Analytics）等工具可用于识别什么是最有效的传播方式，例如追踪和总结那些能够给项目网站带来访问量的帖子。还可以直接询问受众什么是他们认为最有效的方式。剔除那些对实现目标和子目标没有帮助的传播方式，或准备好修改呈现给受众的内容，以提高传播的有效性。

做好基础工作

虽然专注于社交媒体或新闻报道很有诱惑力，但大多数项目还是依赖于少数人的支持。因此，面对面交流、打电话、公开论坛和拜访当地利益相关方往往比在推特上拥有几千个粉丝更有用（图9.1）。

传统业主和当地行业是大多数项目的关键合作伙伴和受众，应及早将他们纳入项目的传播计划（McLeod等，2018）。网站建设已不再是一件令人生畏的工程，现在许多公司都提供易于使用的模板，可以用来创建项目主页，为访问者提供项目的基本信息。项目网站需要及时更新。然而，在最初的热情过后，这项工作可能会变得枯燥乏味。因此，可以考虑将社交媒体账户与项目网站相关联，以保证新内容的不断涌现。

电子邮件和电子简报仍是公众传播的有力方式，因

此非常值得下功夫建立一份全面的通讯录。

建议与科研机构合作，并将学术出版物纳入项目的传播策略中，以便记录项目所收获的经验教训，并与学术界分享。

花一些时间列出项目相关的常见问题及其答案，这些将成为未来媒体报道的巨大资源，并且可以帮助项目团队预先对风险和异议做好准备。这是一个提供背景信息和依据的机会，能够帮助项目解决潜在的风险、减少外界的疑虑。

传统新闻和媒体渠道

当地报纸和类似的媒体对项目来说非常重要，当地记者很可能成为项目的关键拥护者，尤其是当项目涉及很多当地人并且能为当地解决实际问题的時候。记者通常很忙，往往对项目背景的了解也不多。建议多提供关键信息、照片和视频以提高他们报道项目时的准确度。注意不要夸大项目目标和预期成果。和媒体交流时很容易过于激动，进而过分夸大项目的潜在成效（例如“此项目将净化整片海湾”）。最好尽量务实，但又要保持积极正面。接受媒体采访前，建议提前构思想要传达的关键信息，不要涉及政治或跑题，还要避免加入过多的技术细节。

视觉传播

良好的视觉素材对于向受众传达关键信息至关重要。

照片和视频

出色的照片和视频是分享项目新闻的有力方式，尽可能留出聘请专业摄影的预算。然而，并不是每张照片都要达到《国家地理》杂志的标准，“拍得不好的”照片也有用。所以，尽量拍摄大量照片来展示项目进展和参与工作的人员。确保照片中的人物看起来（而且确实）是安全且专业的，可考虑请被拍摄者签署肖像使用授权书（或使用手机应用程序记录他们的知情同意）。随时间推移在同一地点拍摄一组时间序列的照片是展示项目进展的绝佳方式。建立一个“电子多媒体库”，即存储传播用的照片和视频的在线文件夹，其中还应包括各文件的合理使用说明及版权信息。

信息图和其他可视化资料

非科研人员很少有人能理解传统统计图表，因此，使用图表时应确保其简单明了。比较好的解决办法是使用信息图，以有趣、可视的方式展示要点。有效的信息图示例请参阅图 9.2。可以使用既免费又相对比较容易的线上软件（如 Easel.ly，<https://www.easel.ly/>）免费在线制作信息图。

✓ **专业建议：**使用手机拍摄、编辑和分享视频，既方便，又保障质量——现在大多数手机都能拍摄高品质的视频和照片。

✓ **专业建议：**GoPro 一类的运动摄像机非常适合拍摄贝类修复项目的水下影相。它们有广角拍摄的功能，可以放置在很靠近拍摄对象的位置，在水下能见度低的情况下特别有用。

传播新方式——如何使用社交媒体

社交媒体是一个互动的过程，而不是像传统媒体一样单向传播——这是其众多优点之一。社交媒体里投放的信息没有经过记者的解读和修改，因此对信息传达有更多的把控。社交媒体通常是免费的，而且运营相对简单。社交媒体和传统媒体有愈发多的交集，记者们常常会通过社交媒体来发掘新闻故事。社交媒体的平台非常多（方框 9.1），项目团队肯定没有时间使用所有的平台，所以建议选择一到两个项目人员和受众都适用的平台。

总体来说，社交媒体发布的信息应保持简短、直观，不涉及政治话题，注意错别字，帖子发布前应通篇检



图9.2 贝类礁体修复所带来的岸线防护、改善水质与其他栖息地效益的信息图

方框9.1: 社交媒体平台

以下是一些贝类礁体修复项目常用的平台, 这些平台可能会发生变化, 可能会更加流行或过时, 未来甚至可能会消失, 但它们代表了 2019 年最受欢迎的平台。

 **Facebook**——依然是2018年使用最多的社交媒体平台, 拥有25亿活跃用户。Facebook小组是项目参与者之间保持联系的好办法, 而且这些小组可以被设置为“私密”状态, 只有被加入小组的人才能看到内容。Facebook有着强大的视频和照片压缩功能, 因此项目受众只需使用最少的流量。Facebook的缺点在于除非向Facebook公司付费, 否则帖子通常只会被潜在受众里的一小部分看到。

 **微信和微博**——都是中国最主流的社交媒体平台, 微信拥有10亿活跃用户, 微博拥有3亿用户。这两个平台都很便于发布和分享图片、视频、短篇帖子或者博客类长篇文章。帖子和文章也可使用英语等外语, 具体取决于目标受众。使用微信需要创建官方公众号, 只有订阅的人才会收到新帖发布的自动推送; 使用微博则可以利用微博话题进行推广。

 **YouTube**——经常被遗忘的平台, 但非常强大, 是上传和分享视频的好渠道。当有外部媒体机构制作项目相关的视频时, 建议向其索取视频文件, 并在对方许可的情况下上传到项目的YouTube频道。YouTube会根据设备的带宽选择适当的播放质量, 而且是将视频插入到网页上最为便捷的方式。

 **Instagram**——侧重于图像, 非常适合年轻受众。贝类礁体修复面临的一大挑战在于, 人们的脑海里往往没有相关的具体画面, 因此在Instagram上发布引人注目的图像可以引起人们的关注。

 **Twitter**——一般更为侧重科研人员、记者和政客。记者们喜欢使用Twitter, 会从中发掘很多故事。

 **LinkedIn**——可能会适用于某些项目, 因为顾问、工程师和政府人员经常会使用LinkedIn。

 **ResearchGate**——科学家和科研人员分享论文、提出和解答问题、以及寻找合作伙伴的社交网站。问答区通常可以针对具体问题提出详细答案。非常适合分享科研成果和项目介绍。

查一遍。花些时间了解每个平台的运作方式。要待人友善, 对待他人的不同观点要不卑不亢、有礼有节。

社交媒体平台的选择取决于项目受众的需求、以及项目管理者的能力、舒适度和时间投入。不要试图面面俱到, 选择适合团队的方式, 制定可实现的目标(如每周发布一次)并保障执行, 而不要在建立受众群体之后就失去干劲。建议为项目制定一页纸的社交媒体计划, 并指定使用的平台和负责发帖的人。

了解更多信息:

请参见礁体弹性网络(Reef Resilience Network, 2019)工具包中关于传播的内容。其中有一章关于传播

策划的内容, 专门面向几乎或根本没有经过传播学培训的海洋资源管理者和保育工作者(<http://reefresilience.org/communication>)。

参考文献

McLeod, I.M., Gillies, C., Creighton, C. and Schmider, J. (2018). Seven pearls of wisdom: advice from Traditional Owners to improve engagement of local Indigenous people in shellfish ecosystem restoration. *Ecological Management and Restoration* **19**, 98-101.

Olsen, R. (2009). *Don't Be Such A Scientist: Talking Substance in an Age of Style*. Island Press, Washington, USA.



玛格丽特礁 (Margaret's Rock) , 澳大利亚菲利普港湾 (Port Phillip Bay) 。图源: Paul Hamer

