



水生生物资源养护先进技术系列连载（十六）



牡蛎礁生态修复技术

大自然保护协会
(The Nature Conservancy)

目 录

CONTENT

一、工作背景	二、技术原理	三、技术方法	四、工作成效	五、应用前景	六、相关建议
<p>(一) 我国海域环境状况</p> <p>(二) 什么是牡蛎礁</p> <p>(三) 全球牡蛎礁的生存现状</p> <p>(四) 国内牡蛎礁的生存现状</p>	<p>(一) 牡蛎礁的生态系统服务功能</p> <p>(二) 以渔业资源养护为例</p> <p>(三) 以水体过滤为例</p> <p>(四) 以提供栖息场所为例</p> <p>(五) 牡蛎礁生态系统的受益者</p>	<p>(一) 建设前期规划</p> <p>(二) 了解生物安全和许可</p> <p>(三) 牡蛎礁修复方法</p> <p>(四) 后期监测</p>	<p>(一) 国外大规模修复案例</p> <p>(二) 国内修复实践</p>	<p>(一) 应用前景</p>	<p>(一) 有关建议</p>



工作背景

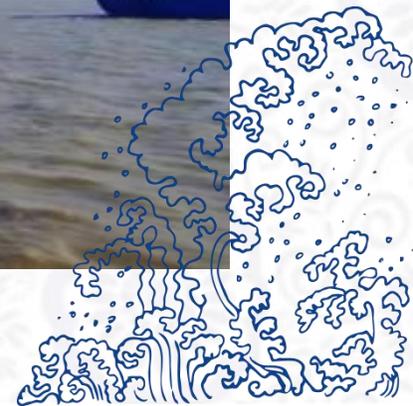


(一) 我国海域环境状况



□ 随着沿海地区经济的高速发展,入海污染物总量不断增加,围填海工程占用近海栖息地,造成近岸海域环境质量恶化、生态系统服务功能下降、污染事故频发等一系列海洋环境问题。国家海洋局监测结果表明,我国近岸海域大部分属一类或二类水质,但四类或劣四类水质仍占15%,并对沿海地区的经济发展造成一定的不良影响。

□ 我国近海海域污染主要是溶解性无机氮磷,特别是在部分河口区域和近岸海域,水体浑浊且富营养化严重,在这种环境条件下如何有效的吸收氮磷成为解决海域环境污染的关键问题。





(二) 什么是牡蛎礁

- 在温带和亚热带河口和近岸海域的潮间带或潮下带区域，由大量牡蛎固着生长而聚集形成的结构特征；
- 这些结构特征的高度上因物种、水深以及所在海湾、河口、潟湖的其他物理属性不同而有所变化，可呈层叠的礁体状，也可呈低矮的礁床状；具有与热带的珊瑚礁相类似的生态系统服务功能。



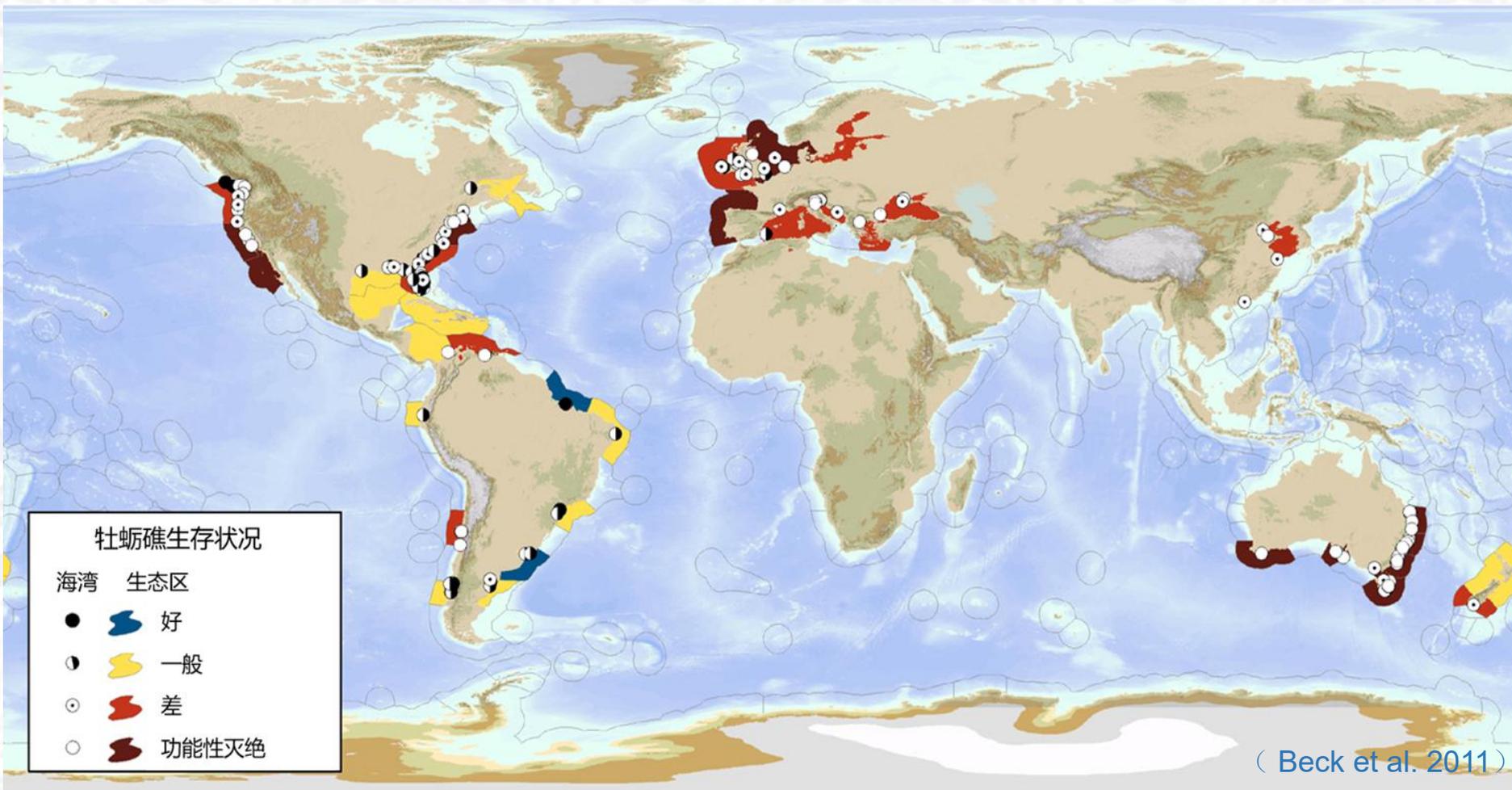
各种天然牡蛎礁，右下两图为修复的牡蛎礁

(图片来源：上图依次为 M. Beck、B. Hancock、M. Griffin；下图依次为刘青、B. Hancock、B. Hancock)



(三) 全球牡蛎礁的生存现状

- 全球受威胁最严重的海洋栖息地之一，全球85%的牡蛎礁已经退化消失；
- 退化原因：过度捕捞、水质污染、病害、海岸带开发等





(四) 国内牡蛎礁的生存现状

□ 据近年对专家的访谈，从渤海湾到南海应均有牡蛎礁分布，但现状不明，急需调查；有文献记录的牡蛎礁分布于天津大神堂、山东莱州湾、江苏小庙洪、福建深沪湾和金门；

□ 天津大神堂：潮下带牡蛎礁，太平洋牡蛎为优势种，礁区面积35km²，2006-2013年间礁体面积退化80%；

□ 江苏小庙洪：潮间带牡蛎礁，分布着3种牡蛎，熊本牡蛎、近江牡蛎、太平洋牡蛎，礁区面积3.55km²，2002-2013年间礁体面积退化80%；



江苏省小庙洪牡蛎礁

图源：刘青



- 钦州、阳江、中山、台山、珠海、汕尾、莆田等地，作为牡蛎养殖的天然种苗区，是重要的牡蛎栖息地，极大可能分布着牡蛎礁；



(一) 牡蛎礁的生态系统服务功能

- 通过采挖牡蛎礁实现的经济价值，只是牡蛎礁总价值的一小部分；
- 牡蛎礁所发挥的生态系统服务功能，为我们提供了大量的其他社会经济效益；





(二) 以提供栖息场所为例



玛格丽特礁，澳大利亚菲利普港湾。图源：Paul Hamer

❑ 牡蛎构建礁体或礁床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栖息场所。

❑ 牡蛎礁上发现的其他物种数量和丰度通常远超过非结构型生境（软质沉积物，也是退化礁体最终会演变成的形态）。



德国北海贝类礁体上的底表动物微生境。
图源：Verena Merk



安加西牡蛎（*Ostrea angasi*）礁，澳大利亚塔斯马尼亚州乔治湾。图源：Chris Gillies



技术原理

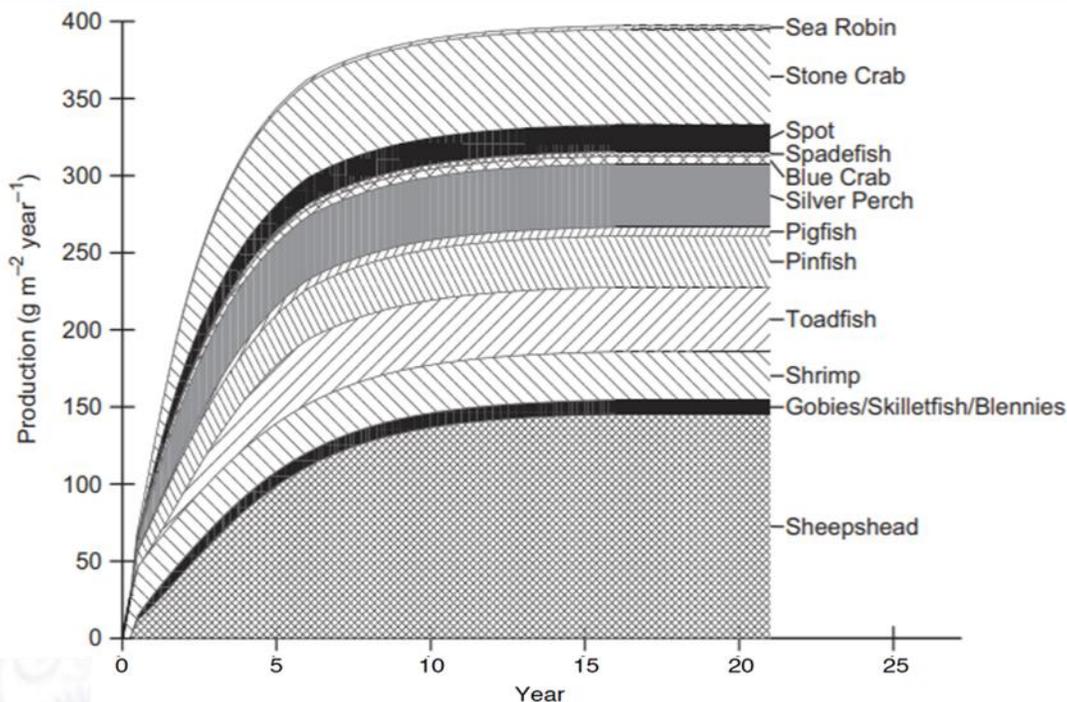


(三) 以渔业资源养护为例

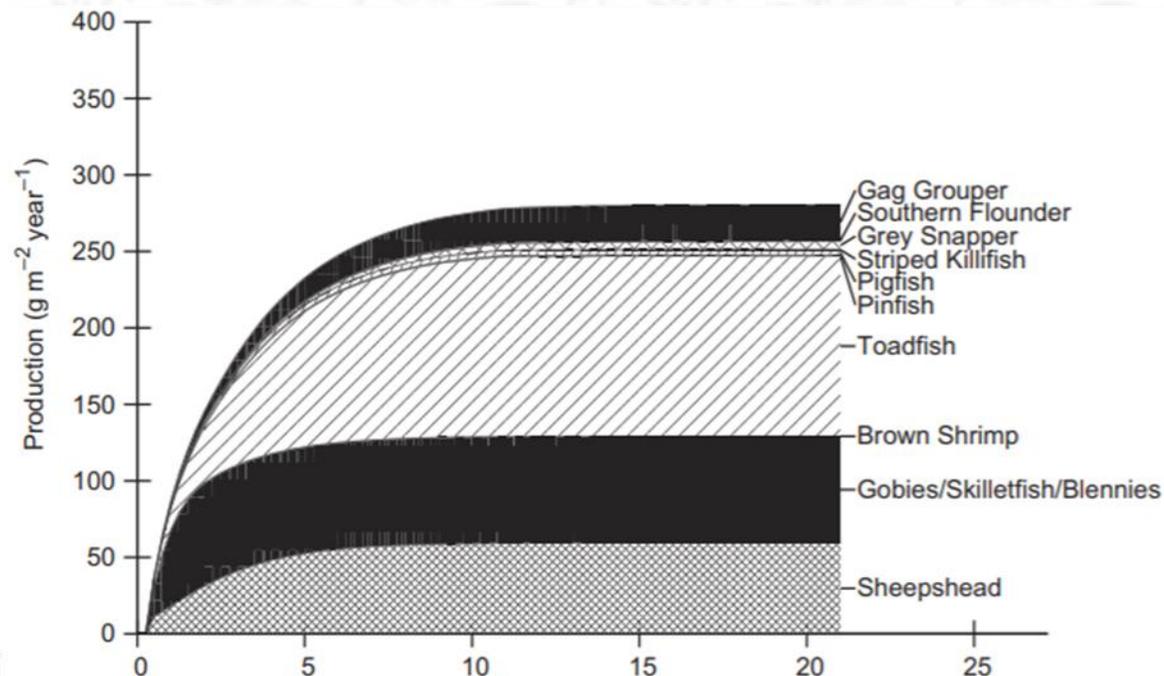
□ 基于31篇有关“牡蛎礁增加幼鱼和移动性甲壳类动物丰度”的文献，模型估算牡蛎礁每年可增加的鱼类和游泳性甲壳类动物的产量；

□ 相比于非结构型对照栖息地，因牡蛎礁增加的总产量为 $397 \pm 115 \text{ g/m}^2/\text{年}$ （墨西哥湾）， $281 \pm 56 \text{ g/m}^2/\text{年}$ （大西洋）；褐美对虾、白滨对虾、石蟹、羊头鲷是墨西哥湾重要的渔业经济物种。

墨西哥湾



大西洋



(zu Ermgassen et al. 2015)



(四) 以水体过滤为例

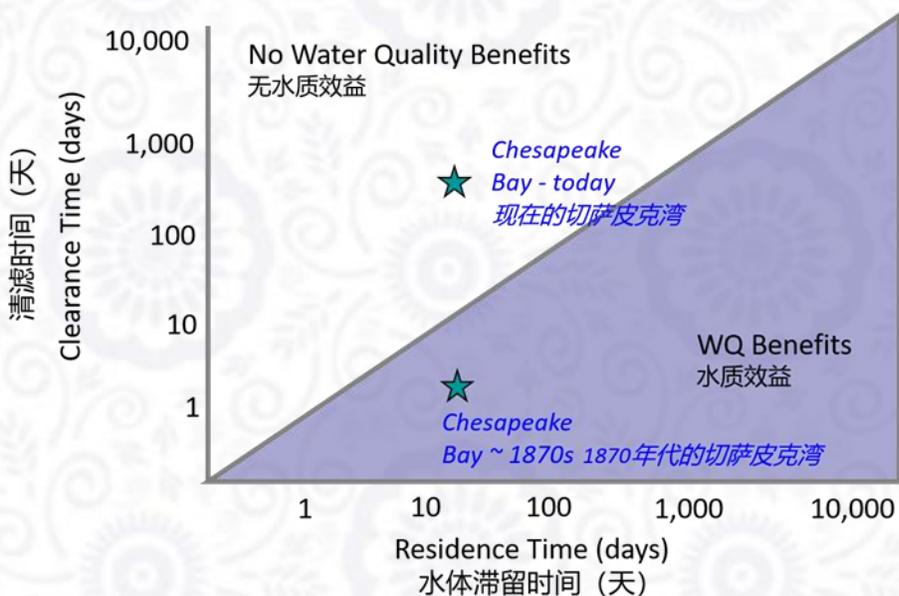
滤水率：720L/天，水体过滤40min

- 香港牡蛎
(*C. hongkongensis*)



(图源: Sally Lau)

- 美洲牡蛎
(*C. virginica*)



□ 切萨皮克湾水体滞留时间为22-45天。1870年代，切萨皮克湾内丰富的牡蛎生物量，仅需3-6天即可完成海湾水体的过滤 (Newell, 1988) ；

□ 由于牡蛎资源的严重退化，现存的牡蛎生物量则需要超过1年的时间才可完成湾内水体的过滤；

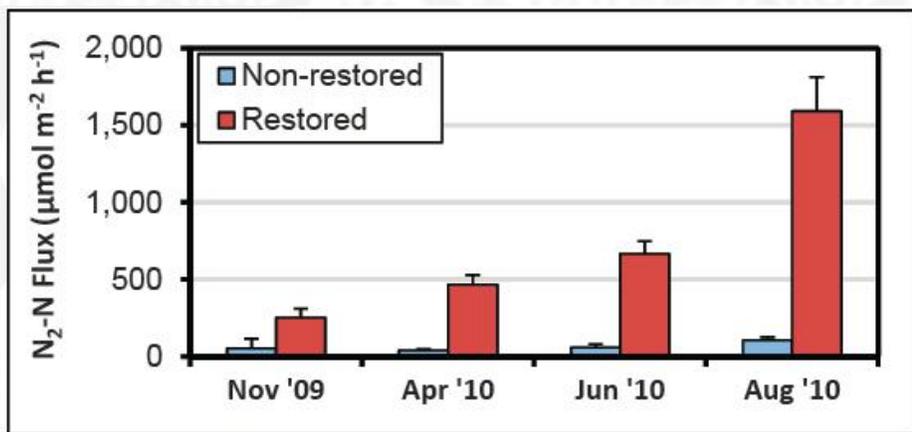
Adapted from: R. Dame, 1996.
Ecology of Marine Bivalves: An Ecosystem Approach



(五) 以移除水体中的氮为例

牡蛎礁通过三个途径移除水体中的氮：

- 同化作用
- 生物埋藏
- 促进反硝化作用（脱氮作用）

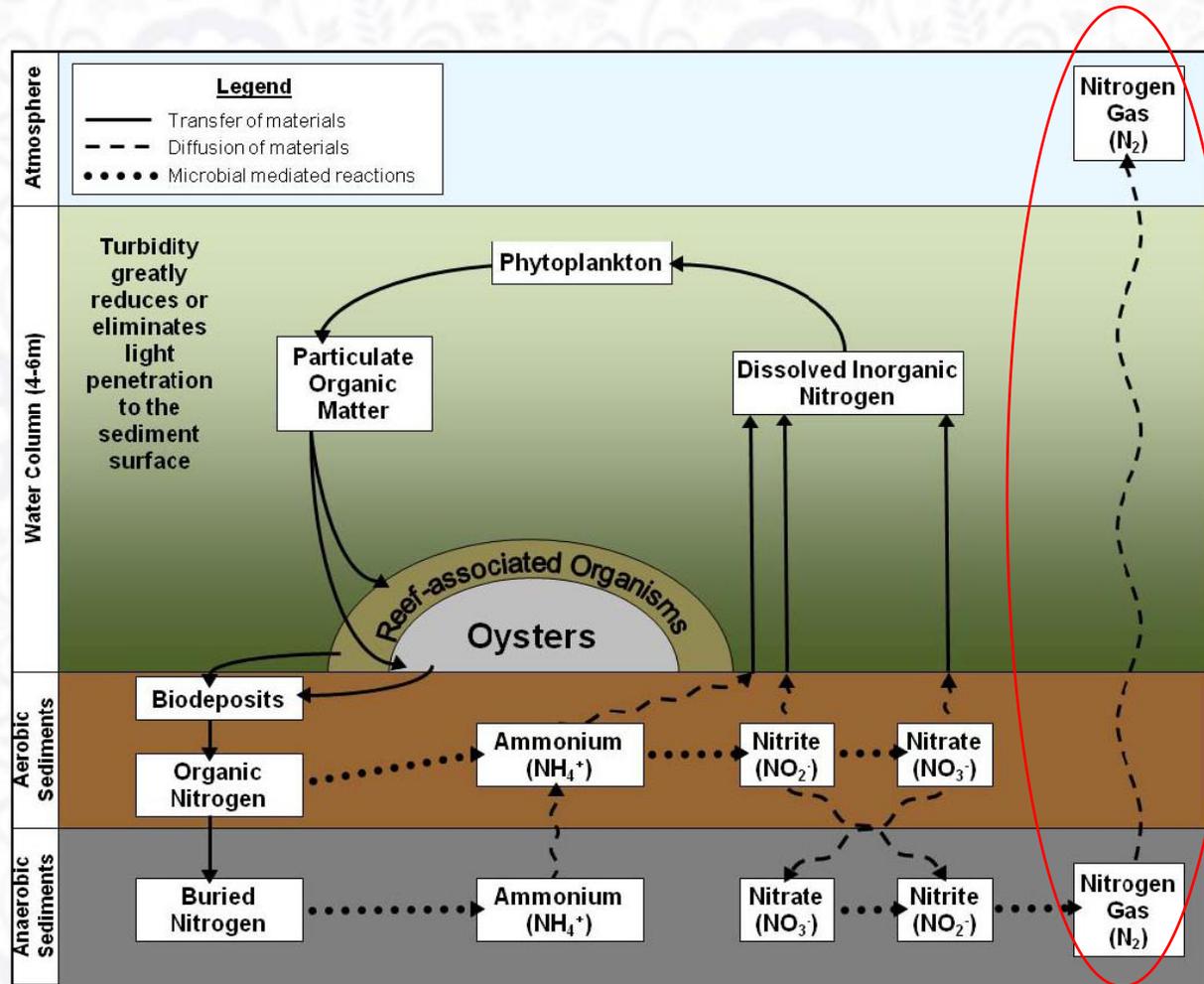


(改编自 M. L. Kellogg et al. 2013)

2-7年生的牡蛎礁（牡蛎密度131个/m²，平均壳高114 mm）：

每年牡蛎礁储存的N 950 kg/ha

每年牡蛎礁可移除的N 609 kg/ha



(M. L. Kellogg et al. 2013)



(六) 牡蛎礁生态系统的受益者

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。

贝类礁体修复的受益者包括当地社区、海钓者以及休闲游客等。

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。



图2.1 贝类礁体生态系统的受益者



技术方法



(一) 牡蛎礁修复规划

□ 综合各利益相关方的修复意向，开展可行性调研。确定在预期区域内开展修复是否可行：

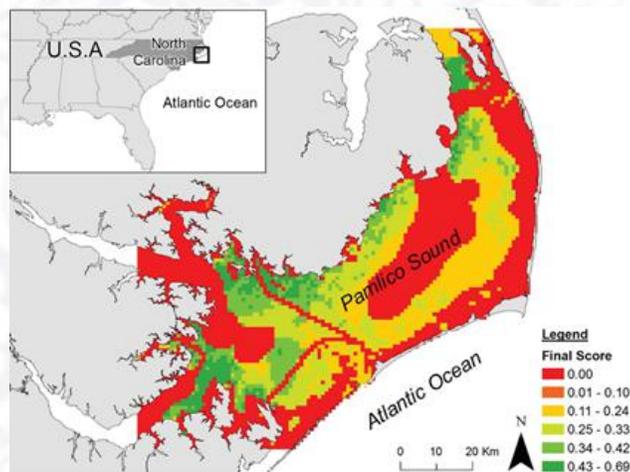
- 1.当地牡蛎礁历史和现在分布情况？是否有其他栖息地？
- 2.导致牡蛎礁退化的威胁是什么？是否已经得到控制？
- 3.当地环境是否适宜牡蛎生长（如盐度、温度、溶解氧）？
- 4.海域功能定位、有无航道、社区及政府意见等社会因素？
- 5.需要的后勤保障（如预算、运输设施、相关许可）？

□ 确定：1.适宜修复的海床总面积，支持制定目标；
2.修复实验或小规模试点区；
3.大规模修复应解决的风险。

□ 编制项目规划，包括**修复目标**、策略、时间、预期成果、人员资金等；

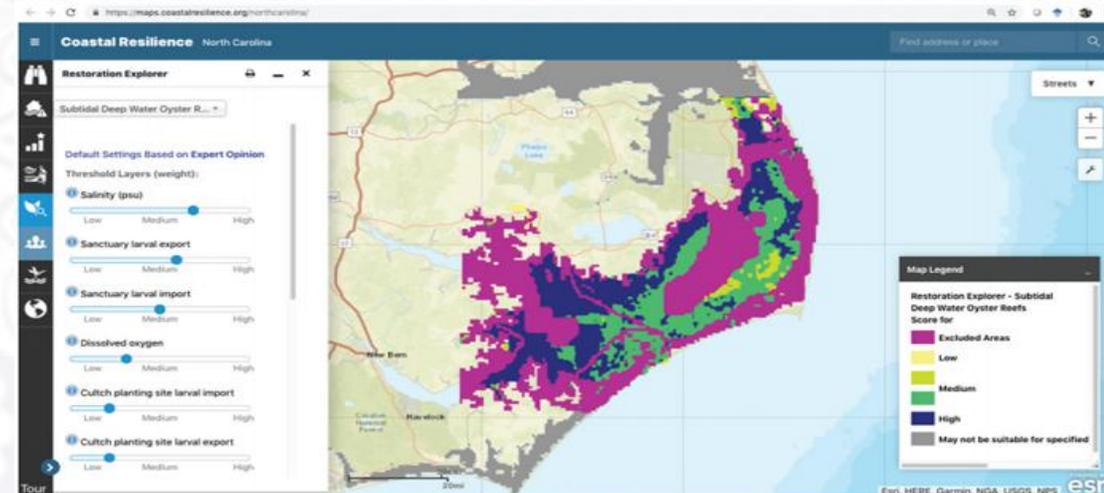
□ 栖息地适宜性指数（Habitat Suitability Indices, HSI）

牡蛎礁修复选址的决策支持工具，需考虑牡蛎礁修复的关键空间指标。



上图：美国北卡罗来纳州牡蛎礁修复HSI结果输出示例（改编自Puckett等，2018）

下图：整合了牡蛎礁修复HSI的在线修复探索工具（TNC）





技术方法



□ 设定修复目标

1.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、社会和经济**目标。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。不同的目标设定将影响项目设计、构建和监测的方式，决定目标生态系统或模型的选择，并且最终影响利益相关方对项目成功与否的认定。

2.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。

	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。



(二) 了解生物安全与许可

- 修复前，识别潜在的生物安全和病害风险：
 1. 贝类 (包括活体贝类或其贝壳) 等水生生物移植是导致入侵物种扩散和疾病传播的主要原因；
 2. 病害和入侵物种在新环境中可能会引发无法预测的生态系统变化，造成严重的生态和经济影响；
 3. 生态环境不同的水体之间应避免贝类移植；
- 制定移植贝类和投放贝壳的规程，如贝壳需在阳光下风化处理至少6个月
- 了解当地政府许可申请的要求和时间节点。



图源：D.J. McGlashan

随牡蛎进口而引入欧洲的美洲弓形履螺 (*Crepidula fornicata*)



图源：John Torgan

美国罗德岛正在严格处理回收的贝壳，避免引入病害



（三）牡蛎礁修复方法—制定修复方法

□ 制定修复方法需**因地制宜**，主要考虑因素：

1.牡蛎物种：不同牡蛎物种的生命周期会存在差异；相同种的牡蛎在不同海域环境下，其生命周期也会存在差异（如产卵月份）；

2.生态和物理属性条件：水温、盐度、溶解氧、底质特征、捕食者、饵料、牡蛎种群生长状况及威胁因素等；

3.牡蛎种群生长的限制因素：通常是缺乏补充量、缺乏底质物、病害或以上问题同时存在。

4.修复目的：可能着重某一特定生态系统服务功能；

5.地方监管等社会因素：拟修复区的权属、监管部门、周边水域的生产活动等；

□ 如果缺乏拟修复区的生物、生态和物理属性条件的信息，需在修复前进行基本的本底调查。

□ 规模化修复前，开展小规模修复试点是十分有必要的。



（图源：贝类礁体修复指南）

□ 成功修复牡蛎种群的关键通常主要取决于识别出限制牡蛎礁形成或恢复的威胁和环境退化因素，并对其加以管理。



技术方法



(三) 牡蛎礁修复方法—1. 针对补充量受限

□ 补充量受限的环境周围缺乏足够的牡蛎亲本（成熟且具备繁殖能力的）以补充到现有的礁体结构上。

□ 如何确定是否是补充量受限？

1. 观察附近码头、海堤等处是否有大量野生牡蛎固着生长；
2. 在野外放置附着板收集牡蛎幼苗附着率数据；
3. 咨询当地社区、研究人员、资源养护管理人员。

□ 修复方法——移植牡蛎幼苗，来源：

1. 育苗场：建议使用“附着基”苗，即一个或若干个牡蛎幼苗附着于空贝壳等附着基上，常用方式为附壳幼体；
2. 野生苗：将附着基放在补充量高（同一牡蛎物种）的地区，再将着苗后的附着基转移至修复区；

□ 注意实施季节与时间：咨询当地渔民、科研专家



图源：Lori Cheung

左图：中国香港吐露港榕树澳放置的附着板，监测牡蛎幼苗附着率



图源：马里兰大学环境科学中心霍恩普恩特育苗场 (Horn Point Hatchery)

育苗场生产的美洲牡蛎 (*C. virginica*) 附壳幼体



图源：Paul Hamer

澳大利亚菲利普港湾内的玛格丽特礁

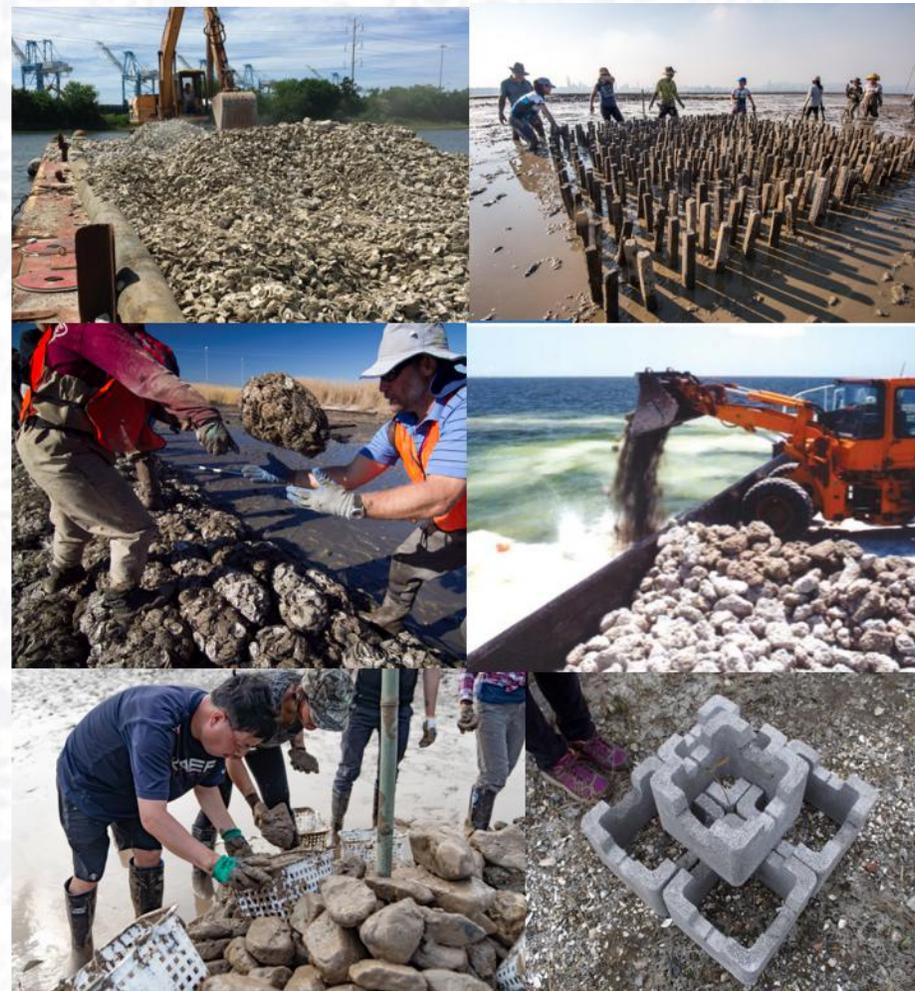


(三) 牡蛎礁修复方法—2. 针对底质物受限

- 底质物受限的环境缺乏可以供牡蛎幼虫附着的礁体结构。
- 修复方法——构建礁体结构，材料如贝壳、石块、石灰岩、混凝土块等；
- 造礁材料的考虑因素：
 1. 补充量：牡蛎是否会附着在材料上生长
 2. 波浪能：波浪能高的区域需要体积大、耐用、重的底质物
 3. 水深：潮间带还是潮下带，潮间带礁体和位置较浅的潮下带礁体易受表层波浪能影响，轻质材料易被冲散；
 4. 底质特征：重的底质物易陷入软泥；
 5. 沉积物：淤积严重的区域应建造较大起伏的礁体；
 6. 其他：修复目的、项目区的区划功能、监管部门对材料的接受度、是否易获得和投放、材料成本等；

□ 注意投放季节与时间：咨询当地渔民、科研专家

□ 如同时存在底质物受限和补充量受限，先构建礁体，再移植牡蛎；

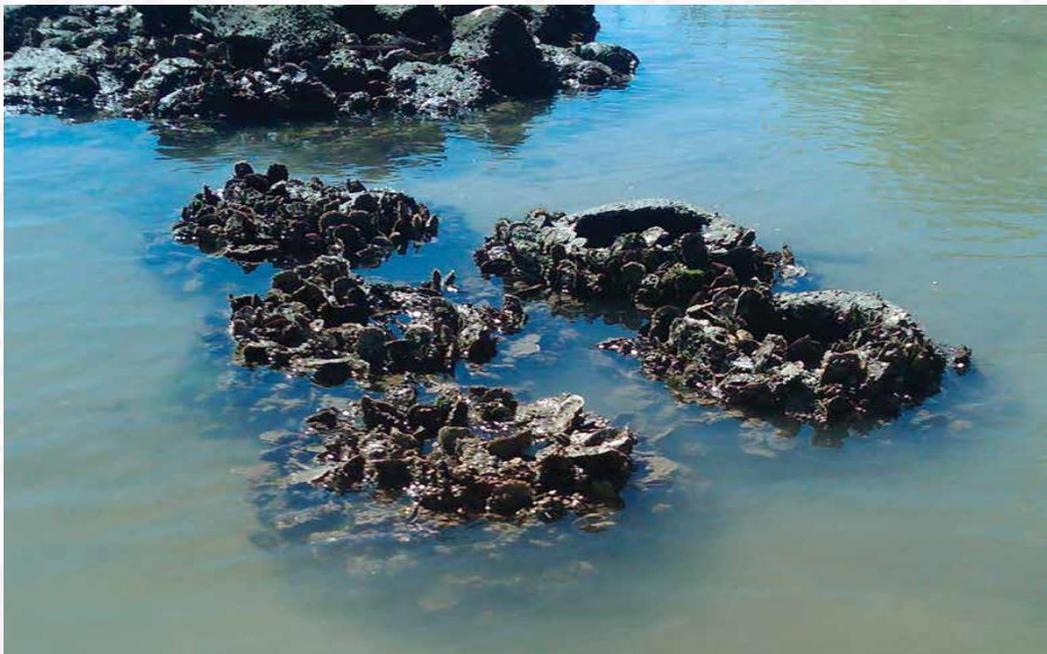


用于构建牡蛎礁的各种底质物

(从左到右，从上到下，图片来源依次为：Joe Riege, 欧阳凯, Erika Nortemann, Ashley Harraman, 董大正, Ian McLoed)



礁体投放位置要求



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

□礁体投放的具体位置要满足牡蛎的生长需求，也要符合当地社区利益。例如：对礁体材料的接受度、用户群体冲突、法规遵守情况。

□用于确定礁体选址的考虑因素与选择礁体材料有所重叠。

□贝类修复项目选址时还需考虑的其他因素包括：

- 1.拟修复点是否曾经存在目标贝类物种（即历史分布）。
- 2.水质：确认该地区溶氧量、温度和盐度是否适合目标物种。
- 3.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。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。
- 4.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。
- 5.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。



针对特定生态系统服务功能为目标的礁体设计考量因素



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



我国浙江省三门县的牡蛎礁体投放。图源：董大正

□ 如果修复项目着重某一特定的生态系统服务功能的恢复，设计礁体时，其方法、技术和规模需要作出相应的调整，例如：

1.岸线防护/生态海岸：应将礁体建在潮间带。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。

2.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。

3.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。

4.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。开放牡蛎捕捞则意味着这些底质物和附着基必须定期更换。

(三) 牡蛎礁修复方法—3. 针对病害

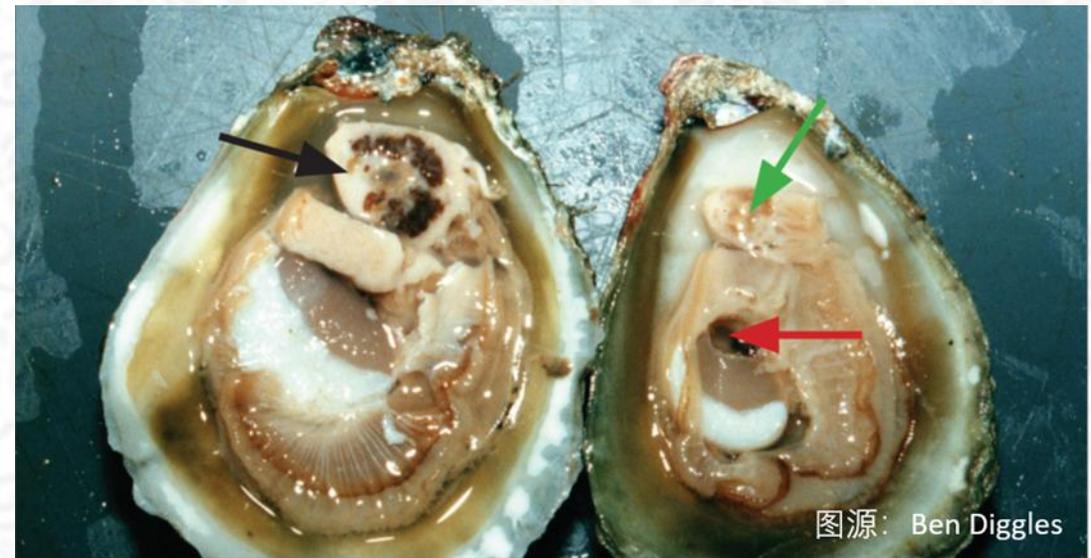
□ 单细胞生物、细菌或病毒引发的牡蛎病害可能会对不同生命阶段的牡蛎造成影响，如包拉米虫病、海水派金虫病、尼氏单孢子虫病以及牡蛎幼贝疾病等。

□ 尚没有在已出现病害的系统中彻底根除病害的案例

□ 如果病害已出现于拟修复区，可以采取被动或主动的方法：

1. 带病生存：顺其自然，自然选择下更耐受或抗病的个体存活，繁衍后代；

2. 抗病能力：使用育苗场培育出的抗病幼苗；



图源：Ben Diggles

布拉夫牡蛎 (*Ostrea chilensis*) 中的包拉米虫病

1. 左边为健康牡蛎，有黑色的消化腺和正常大小的性腺（黑色箭头）
2. 右边为感染病害的牡蛎，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）



(四) 后期监测

□ 修复后的长期监测非常重要：

- 1.了解修复项目进展，指导修复方法的改进，评估是否达到预期目标；
- 2.与其他项目间进行成效对比，从更大的空间尺度评估成效，改进修复技术；

□ 不同项目的监测内容因修复目标、资金预算、人力等因素影响而不同，但**最基本的**通用监测内容如下：

- 1.**衡量指标**：礁区足迹、礁体面积、礁体高度、牡蛎密度、牡蛎大小频次、牡蛎幼体补充量；
- 2.**环境变量**：水温、盐度、溶解氧（潮下带）；
- 3.**监测生态系统服务功能**：基于项目的修复目标而定。



图源：Anne Birch

志愿者在美国佛罗里达州项目监测牡蛎礁

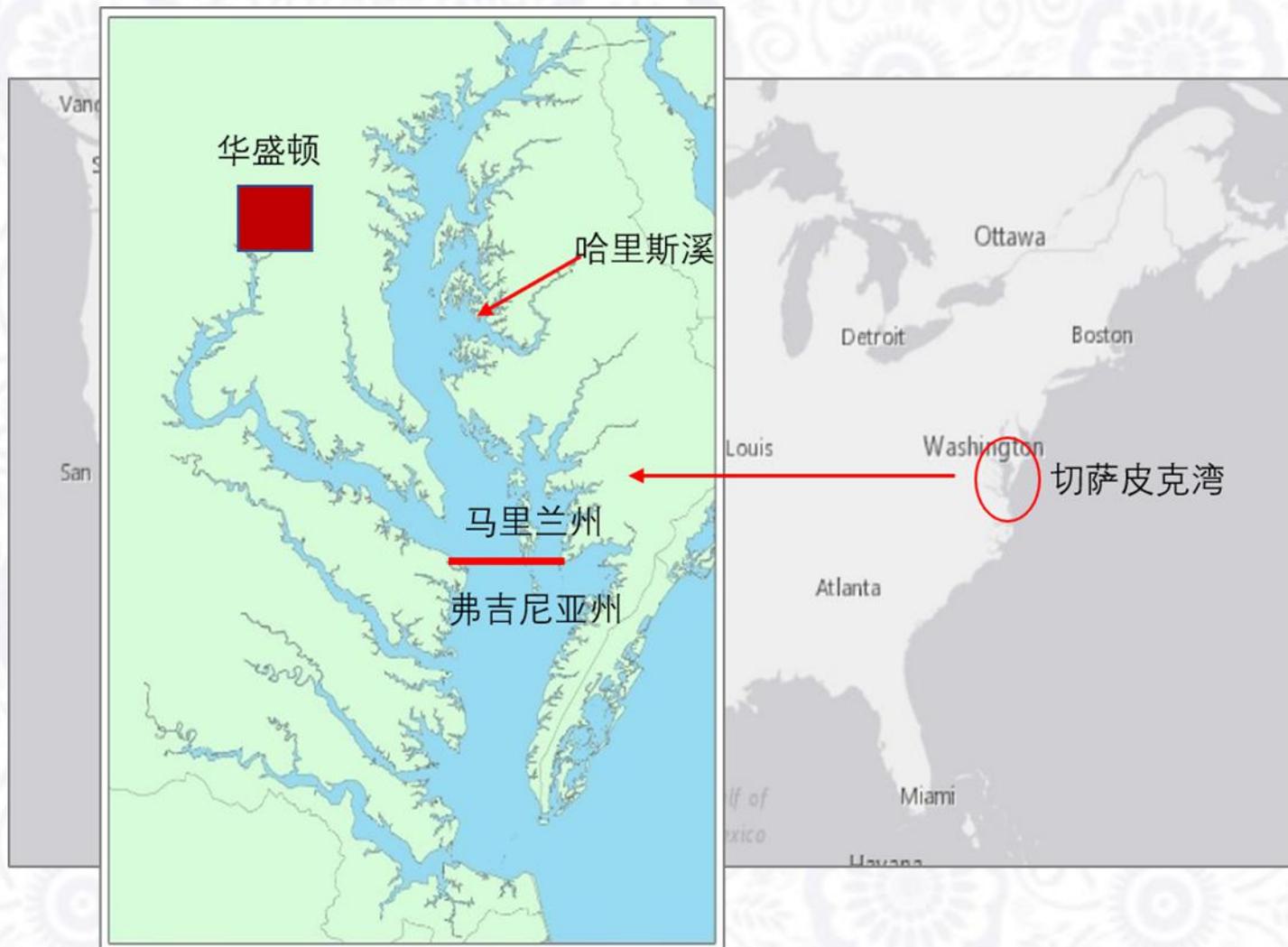


图源：Joy Brown

美国南卡罗来纳州帕尔梅托种植园监测牡蛎礁



(一) 大规模牡蛎礁修复案例——切萨皮克湾·哈里斯溪



- ❑ 切萨皮克湾是美国最大的河口，牡蛎是湾内的标志性物种；
- ❑ 因过度捕捞、水体污染、病害导致湾内牡蛎礁面积大规模退化，牡蛎种群数量仅为历史水平的1%（Newell, 1988）；
- ❑ 政策要求：2025年之前恢复切萨皮克湾10条支流的牡蛎资源。哈里斯溪是第一条修复的支流；
- ❑ 2011-2015年完成哈里斯溪的牡蛎礁修复；自实施起，每年跟踪监测礁体生长状况；涉及多方合作伙伴；目前，全球最大的牡蛎礁修复项目。



工作成效



设定可衡量的修复目标——“什么才是成功修复的牡蛎礁？”

“需要成功修复多少牡蛎礁，才算成功恢复了一条支流内的牡蛎资源？”

□ 2011年，科学家和资源管理者制定了“切萨皮克湾牡蛎指标”，湾内牡蛎礁修复的成功标准（修复后6年）：

□ 在礁体层面

- 1.牡蛎密度：最低15个/m²，目标50个/m²；
- 2.牡蛎生物量：最低干重15g/m²，目标干重50g/m²；
- 3.多龄级：成功=两年生或两年以上的牡蛎；
- 4.贝壳预算：成功=稳定或增长；
- 5.礁体高度和礁体面积：成功=稳定或增长；

□ 在支流尺度

- 1.50%以上的可修复（硬底质）河床由“达标”的礁体覆盖；
- 2.修复后的礁体应至少占该支流预估历史礁体面积的8%。



正在哈里斯溪进行牡蛎取样监测，图源：Will Parson



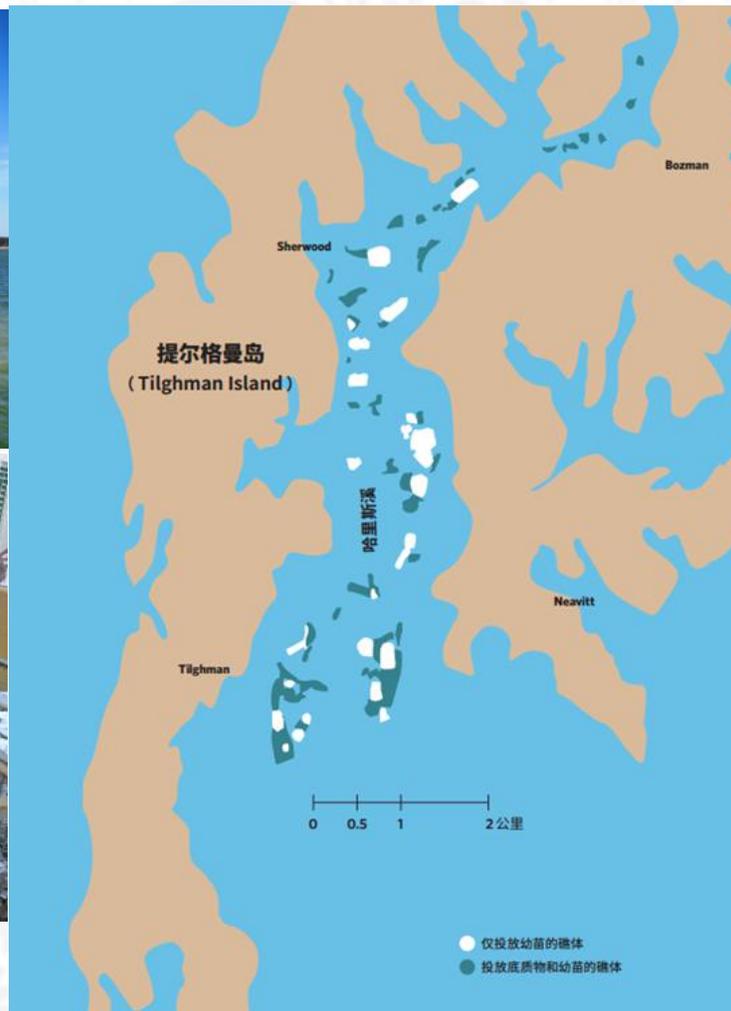
基于目标，规划、建造和监测礁体——该支流补充量和底质物均受限

识别适宜建造牡蛎礁的区域：

- 1.水质适宜牡蛎种群生长；
- 2.硬质底；
- 3.水深1.2-6m；
- 4.远离码头、航道和辅助航道。

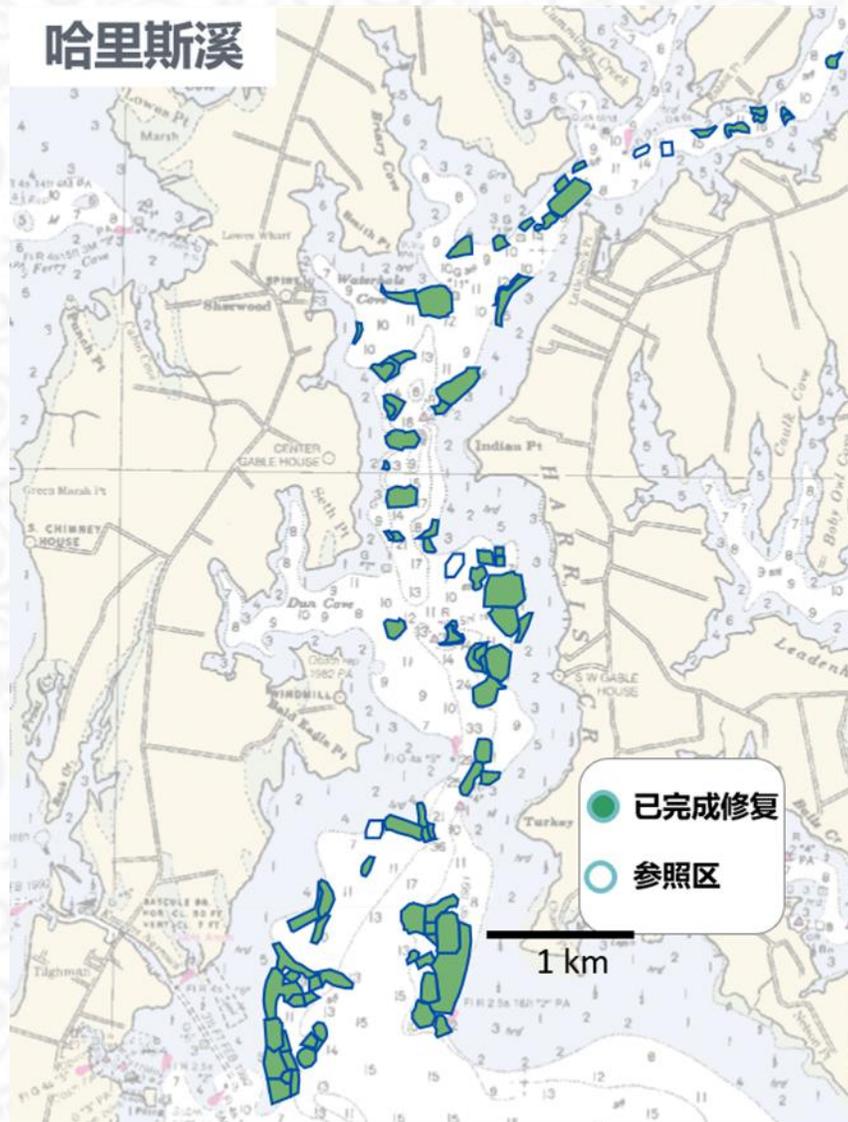
修复方法：

- 1.只移植附壳幼体：针对现有残存的牡蛎礁（62公顷）
- 2.投放底质物（80公顷），再移植附壳幼体：针对残余礁体很少的区域；底质物由石块或牡蛎壳、蛤蜊壳和海螺壳混合构成。



上图：在哈里斯溪投放底质物，图源：Flickr

下图：美国霍恩普恩特育苗场内待附苗的牡蛎壳
图源：Ian McLoed



□ 2011-2015年，完成142公顷的修复：

1. 投放超过20万 m^3 底质物，礁体高度 0.15-0.3m；
2. 投放25亿个附壳幼体（1250万个/公顷）5300万美元（主要来自联邦政府、州政府）。

□ 截止2017年的监测：

1. 98% 的礁体上的牡蛎生物量和密度都达到了成功标准的最低标准
2. 75% 的礁体上的牡蛎生物量和密度达到了成功标准的目标；

□ 所使用的通用方法已推广到湾内其他9条需要修复的支流；



工作成效



牡蛎礁生态、经济影响分析（模型估算） （Kellogg et al. 2018； Knoche et al. 2018）

1. 每年从水体中移除**46650kg**氮、**2140kg** 磷，经济价值**300**万美元/年；
2. 相比于未修复，当地蓝蟹捕获量将增长超过**150%**，白鲈鱼增加**650%**；仅蓝蟹就额外带来**1100**万美元/年的收益；
3. 修复后区域内渔业总产出增加**2300**万美元/年（直接、间接及连带效应的总和）；
4. 创造的劳动收入为**780**万美元/年；创造的工作岗位**319**个/年；附加值**1330**万美元/年。



哈里斯溪内，以石块为底质物修复的牡蛎礁：
石块底质物上生长的平均牡蛎数量是贝壳底质物上的4倍（NOAA, 2018）



(二) 国内牡蛎礁修复实践·浙江三门

- ❑ 牡蛎礁修复试点，为当地牡蛎养殖提供稳定种苗，示范研究牡蛎礁生态效益（滤水、脱氮、提高生物多样性）；
- ❑ 与中国水产科学院东海水产研究所合作；
- ❑ 一期：2019年利用石块在硬质滩涂上构建10个牡蛎礁，长宽高 4m × 2m × 1m；
- ❑ 监测牡蛎礁生长状况及其生态系统服务功能。



三门铁强村传统的牡蛎石条养殖



利用石块构建牡蛎礁



构建的牡蛎礁



监测牡蛎礁生长状况



□ 当前我国近岸海域，特别是河口、港湾等水域环境污染的问题较为突出。这些区域由于来水量大、水体浑浊、悬浮物较多、水体富营养化严重等特点，牡蛎礁所发挥的过滤水体、移除水体N的生态功能，将为近岸海域的水质改善起到促进作用。

□ 该技术可在海洋牧场建设、牡蛎水产种质资源修复、渔业资源养护、河口生态环境治理以及海岸带生态修复工程中推广应用。



英国埃塞克斯郡的附着基投放。图源：Matt Uttle



修复后的贻贝礁体，澳大利亚菲利普港湾。图源：Jarrod Boord

□ 该技术还可以为其他形成栖息地的贝类礁体建设提供参考。贻贝和其他形成栖息地的贝类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，尤其是在整个发育过程中对栖息地的需求不断变化。因此往往需要采取与牡蛎不同的修复方法才能取得成功。



国内牡蛎礁急需开展的工作

- 各海区沿岸牡蛎礁的系统性调查：分布、生存现状、受威胁状况、利用情况；
- 我国牡蛎礁的生态学研究：面积大小、环境条件、物种组成、生态群落、威胁因子、生态系统服务功能；
- 我国牡蛎礁生态修复技术：修复前调查、选址、修复手段、修复材料、长期监测；



中国江苏省的潮间带牡蛎礁。图源：刘青



图源：Chris Gillies

澳大利亚塔斯马尼亚州乔治湾的安加西牡蛎 (*Ostrea angasi*) 礁



The Nature Conservancy 

Protecting nature. Preserving life.™

大自然保护协会

- 国际上最大的非营利自然保护组织之一；
- 1951年成立，保护项目遍及全球79个国家和地区，超过25年的海洋保护经验注重实地保护，以科学为基础，多方合作；
- 1998年受邀进入中国，在陆地、淡水、气候变化、海洋、城市建立保护项目；
- 联系方式: qing.liu@tnc.org

