

貝類礁體 修復指南

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



致 謝

這份指南的撰寫由中國全球保護基金 (CGCF) 支援，該基金由大自然保護協會 (TNC) 大中華理事會發起，是一項全球層面的倡議。感謝指南初版作者Mike Beck和Loren Coen的投入，感謝程琄和Lynne Hale的全程支援和鼓勵，還有為我們繪製生命週期資訊圖的Luke Helmer、以及為第9章提供資訊的Cherie Wagner。我們還要感謝慷慨提供圖片的個人和機構，包括：Anne Birch、Joy Brown、Lori Cheung、Ben Diggles、Andrew Jeffs、Shaun Lee、Verena Merk、歐陽凱、劉青、D.J. McGlashan、Anita Nedosyko、Joe Rieger、John Torgan、馬里蘭大學環境科學中心 (University of Maryland Center for Environmental Science)、Matt Uttley、Stephanie Westby、Shmuel Yozari、倫敦動物學會 (Zoological Society of London) 和 Philine zu Ermgassen。

推薦引用格式：Fitzsimons, J., Branigan, S., Brumbaugh, R.D., McDonald, T.和P.S.E. zu Ermgassen (編者)：《貝類礁類修復指南》(美國維珍尼亞州Arlington: 大自然保護協會 (TNC), 2019年)

章節推薦引用格式 (舉例)：Brumbaugh, R.D. 和 Hancock B.: <貝類礁體修復：簡介>，《貝類礁類修復指南》，編者Fitzsimons, J., Branigan, S., Brumbaugh, R.D., McDonald, T.和P.S.E. zu Ermgassen, 頁碼2-6 (美國維珍尼亞州 Arlington: 大自然保護協會 (TNC), 2019年)

原文ISBN編號 978-0-6485677-1-4

隨著棲息地帶來的生態效益和社會效益得到更廣泛的認可，修復這些棲息地已經成為許多市民和政府的優先考慮。



由Black pigmy mussel 形成的青口礁體。相片提供：Alan Cottingham, Murdoch University

編者

James Fitzsimons, 大自然保護協會 (The Nature Conservancy), Suite 2-01, 60 Leicester Street, Carlton VIC 3053, Australia; School of Life and Environmental Sciences, Deakin University, 221 Burwood Highway, Burwood VIC 3125, Australia.
電郵: jfitzsimons@tnc.org

Simon Branigan, 大自然保護協會 (The Nature Conservancy), Suite 2-01, 60 Leicester Street, Carlton VIC 3053, Australia.
電郵: simon.branigan@tnc.org

Robert D. Brumbaugh, 大自然保護協會 (The Nature Conservancy), 255 Alhambra Circle, Suite 640, Coral Gables, FL, 33134, USA.
電郵: rbrumbaugh@tnc.org

Tein McDonald, Society for Ecological Restoration Australasia
電郵: tein.mcdonald@seraustralasia.com

Philine S.E. zu Ermgassen, University of Edinburgh, School of Geosciences, Changing Oceans Group, Grant Institute, James Hutton Road, Edinburgh EH9 3FE, UK.
電郵: philine.zuermgassen@cantab.net

章節作者:

Simon Branigan, 大自然保護協會 (The Nature Conservancy), Suite 2-01, 60 Leicester Street, Carlton VIC 3053, Australia.
電郵: simon.branigan@tnc.org

Robert D. Brumbaugh, 大自然保護協會 (The Nature Conservancy), 255 Alhambra Circle, Suite 640, Coral Gables, FL, 33134, USA.
電郵: rbrumbaugh@tnc.org

Bryan M. DeAngelis, 大自然保護協會 (The Nature Conservancy), University of Rhode Island Bay Campus), Narragansett, RI 02882, USA.
電郵: bdeangelis@tnc.org

Laura Geselbracht, 大自然保護協會 (The Nature Conservancy), 2500 Maitland Center Pkwy #311, Maitland, FL 32751, USA.
電郵: lgeselbracht@tnc.org

Chris L. Gillies, 大自然保護協會 (The Nature Conservancy), Suite 2-01, 60 Leicester Street, Carlton VIC 3053, Australia.
電郵: chris.gillies@tnc.org

Boze Hancock, 大自然保護協會 (The Nature Conservancy), URI Graduate School of Oceanography, 215 South Ferry Rd. Narragansett, RI, 02882, USA.
電郵: bhancock@tnc.org

Andrew Jeffs, Institute of Marine Science, University of Auckland, Auckland, New Zealand.
電郵: a.jeffs@auckland.ac.nz

Ian McLeod, TropWATER (Centre for Tropical Water and Aquatic Ecosystem Research), James Cook University, Townsville, Queensland, Australia.
電郵: ian.mcleod@jcu.edu.au

Bernadette Pogoda, Alfred Wegener Institute Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Am Handelshafen 12, 27570 Bremerhaven, Germany.
電郵: bernadette.pogoda@awi.de

Stephanie Westby, National Oceanic and Atmospheric Administration, 200 Harry S. Truman Parkway, Annapolis, MD 21401, USA.
電郵: stephanie.westby@noaa.gov

Philine S.E. zu Ermgassen, University of Edinburgh, School of Geosciences, Changing Oceans Group, Grant Institute, James Hutton Road, Edinburgh EH9 3FE, UK.
電郵: philine.zuermgassen@cantab.net

其他貢獻者:

Seth Theuerkauf, 大自然保護協會 (The Nature Conservancy), Worldwide Office, 4245 N, Fairfax Dr, Arlington, VA 22203, USA.
電郵: seth.theuerkauf@tnc.org

Marine Thomas, 大自然保護協會 (The Nature Conservancy), 中國香港北角英皇道663號泓富千禧廣場 2107-08室
電郵: marine.thomas@tnc.org

從業人員參考清單

以下表格是可供從業人員參考的概括性清單，旨在為貝類修復項目的規劃和實施提供指引。

了解項目選址的生態環境 (第一章、第二章)	熟悉項目當地環境中的生態系統(如歷來的分布*)、群落數量減少原因、現時威脅(包括病害)、雙殼類動物生命週期與繁殖方式,以及群落特徵。通過已有研究結果、觀察、水產養殖經營者和附著板實驗等途徑,收集補充量和附著時機的相關資訊。
草擬概念書並與項目的潛在持份者及支持者交流 (第一章、第二章)	建議先草擬一份簡短文件概述項目的期望和可行方法,以此文件徵集意見和爭取支持,繼而制定一份較詳細的可行性方案和經費申請計劃書,並將監管機構納為推廣的對象之一。
制定可行性方案 (第三章)	建議可行性方案包括以下內容: <ul style="list-style-type: none">• 列出參照的生態系統或模型以及衍生的目標• 明確界定S.M.A.R.T.目標• 列出項目的持份者與支持者• 潛在的經費來源• 不同的修復方法• 親貝(成熟個體)是否容易獲得以及其抗病性,還有幼苗來源(在補充量有限的情況下)
尋找經費來源並取得資助 (第二章)	將生態系統帶來的益處與受益人士連繫,並主力向這些機構探索資助的可行性,爭取對起動工作的支援或提供配對基金的機會。
建立項目管理制度 (第三、四、五章)	制定詳細的項目和實施計劃、傳訊策略、義工管理、法律框架與合約、詳細風險評估、實地管理計劃、投標與報價等。
熟知生物安全風險和許可的要求 (第四章)	認識項目對野生種群、水產養殖和漁業的生物安全和病害風險,了解申請許可證的要求及所需時間。了解已修復礁體中的貝類遭捕撈的潛在威脅並作應對。
評估棲息地的合適性並進行試點研究 (第三、五章)	透過合適性評估、貝類礁體近況的歷史及試點研究,從而找出修復該生態系統的最佳地點。
確定修復所需的技術方案,包括礁體設計 (第五、六、七、八章)	生態系統是否需要重建(如添加底質物和貝類)、輔助再生(如添加底質物和貝類)或要進行管理減低威脅因素(如沉積物、病害或捕食者)。需要怎樣的礁體設計配合這些技術方案?
開展修復工作 (第五、六章)	與當地區內的義工、承包商及其他人士合作,包括運送並投放底質物和貝類,並減輕甚至消除威脅。
監察、評估和報告 (第七章)	根據預設的修復目標及參照的生態系統和模型監測修復進度,並就通用的指標進行監察。
向持份者、從業人員及研究人員有效溝通項目成果 (第九章)	規劃傳訊策略,打好基礎,並著重視覺媒體及社交媒體。

* 記錄該區貝類礁體歷來的生態情況,可為修復規劃提供重要訊息。

這份指南旨在提供基礎資料，
作為貝類礁體修復的起步點。



澳洲Port Phillip Bay的Margaret's Rock。相片提供：Paul Hamer

術語表

- **適應性管理 (Adaptive management)**: 在執行中學習、適應的結構化決策過程，以及將學習納入未來決策的監測評估。
- **輔助再生 (Assisted regeneration)**: 在退化程度中等 (甚至較高) 地區進行的礁體恢復，需要在消除退化成因的同時採取進一步的主動干預，從而糾正非生物性的損害，促進生物性的恢復。
- **直方區間/Bin值 (Bins)**: 在直方圖中，將整個取值範圍劃分為一系列的間隔，然後計算落在每個間隔中的數值有多少。直方區間 (或稱Bin值) 通常是連續數值，且不同區間的數值不會重疊。
- **雙殼類 (Bivalves)**: 擁有一對外殼的水生軟體動物，如蠔、蜆、青口和扇貝。
- **附著基 (Cultch)**: 貝類幼苗附著或可以附著的任何底質物。
- **附著基苗 (Cultched seed)**: 經已附著在天然或人工底質物上的貝類幼苗。
- **無附著基苗 (Cultchless seed)**: 貝類幼苗附著在沙粒或貝殼碎片等極小的附著基上，長大後會看似沒有附著在任何底質物上。
- **執行監測 (Implementation monitoring)**: 是直接評估修復工作是否按照原定設計和規劃進行及完成的方法。
- **適應性管理監測 (Monitoring for adaptive management)**: 為後續修復管理提供資訊從而改善未來修復工作設計的監測。
- **自然再生 (Natural regeneration)**: 在退化程度相對較低 (或者時間框架充足且附近有可重新繁殖的種群) 的地方，動植物也許能夠在導致退化的原因消除後得到自然恢復。
- **成效指標 (Performance criteria)**: 在預定時間框架內需要完成的目標，這些目標必須是有形的及可衡量的，用於顯示目標完成的進度。這些指標應包括量度單位、目標數值和時間範圍。成效指標可以是參照地點的狀況，也可以是根據周圍土地使用或當地的其他情況而設定的目標。
- **成效監測 (Performance monitoring)**: 監測修復活動是否為生境帶來預期的影響，如貝類總體補充量、生物量或其他種群層面的參數變化。
- **生態重建 (Reconstruction)**: 在退化嚴重的地區，不僅要消除或扭轉所有導致退化的因素、糾正所有生物性和非生物性的損害，從而調整到適合當地參照生態系統的狀態，並且在可行的情況下盡可能重新引入所有或大部分應有的生物群。
- **補充量受限環境 (Recruitment-limited environment)**: 可能是由於附近缺乏足夠的親貝 (成熟且具有繁殖能力的目標貝類)，未能為現存礁體結構提供天然的補充。
- **參照生態系統 (Reference ecosystem)**: 為確定修復項目的目標生態系統而採用的參照模型，該模型描述了需要恢復的特定生態系統組成、結構和功能性的資料，在符合後方可視為達到預期結果 (修復後狀態)。
- **可修復的海床 (Restorable bottom)**: 根據現有知識和當前限制因素得出能夠進行修復的海底區域範圍。
- **根據修復目標的衡量指標 (Restoration goal-based metrics)**: 用於評估貝類修復項目對自然和人類社會效益的一套可監測衡量的修復目標。
- **修復主目標和次目標 (Restoration goals and objectives)**: 修復目標描述修復地點預期的未來狀況，這些較長期的主目標是由更多較短期的次目標支持。次目標應該明確列出修復的規模和時間，並且是可衡量的，以便評估實現主目標的進展情況。
- **(貝類) 幼苗 (Seed)**: 漁業術語中通常指幼年貝類
- **SER (Society for Ecological Restoration)**: 國際生態恢復協會
- **貝殼預算 (Shell budget)**: 貝殼損耗和增長之間的差值。
- **貝類養殖苗圃 (Shellfish gardening)**: 在碼頭附近水域的浮板或網箱中養殖貝類，然後移植到修復區域的項目。
- **貝類礁體 (Shellfish reefs)**: 處於沿岸水域的礁體結構，由蠔和青口等雙殼類軟體動物聚集和堆積而成。
- **幼體 (Spat)**: 通常指已渡過幼苗時期並經已附著在硬質底質物上的蠔或青口幼體。
- **附殼幼體 (Spat-on-shell)**: 附著在同類或其他貝類空殼上的蠔幼體。
- **底質物受限環境 (Substrate-limited environment)**: 缺乏可供貝類幼苗附著的礁體結構的潛在貝類生境。
- **通用衡量指標和通用環境變數 (Universal metrics and universal environmental variables)**: 一套可用於所有項目、不受修復目標限制的標準指標和環境變數。通用衡量指標既可以對每個礁體的基本表現進行長時間評估，又可以與其他項目進行比較。通用環境變數的樣本也能提供有價值的資訊，有助解讀礁體監測的數據。

生態修復正逐漸被視為
全球海洋和海岸管理的
重要組成部分。

目 錄

編 者	iii
從業人員參考清單	iv
術語表	vi
第一章	
貝類礁體修復：簡介	2
第二章	
貝類礁體修復及資金籌集個案	7
第三章	
貝類礁體修復項目啟動： 規劃、目標設定及可行性研究	18
第四章	
貝類礁體修復的生物安全與許可	30
第五章	
貝類礁體修復實踐	36
第六章	
擴大貝類礁體修復規模	49
第七章	
為什麼要監測貝類礁體？	58
第八章	
貝類礁體修復：蠔礁以外的選擇	64
第九章	
貝類礁體修復項目的傳訊策略	69

第一章

貝類礁體修復：簡介

Robert D. Brumbaugh 和 Boze Hancock

過去十年間，海洋生境修復這個領域進展急劇加快，部分原因是世界各地的人們對海洋生境惡化的認知有所提高，而且更有能力將環境帶來的效益之經濟價值量化。

隨著棲息地的生態效益和社會效益得到了更明確的演繹，許多民眾和政府已經將生境修復視為一項優先項目。伴隨這種科學論證而來的是人們普遍認識到，世界上許多地方已經沒有足夠的棲息地來提供維持社會環境系統所需的服務和效益。這樣一來，除了保護尚存的棲息地以外，生境修復成為了一項必要的管理干預措施。

海洋曾經被視為地球上「最後的淨土」，可惜人們如今寄望著的只是海洋對人類福祉的推動力，而事實也的確如此。世界各國都在依賴著「藍色經濟」推動經濟增長，聯合國《2030年可持續發展目標》（Sustainable Development Goals, SDGs）亦突出了海洋的重要性。人們期望海洋可以為不斷增長的人口提供糧食、支持經濟增長和繁榮，以及協助適應並緩減氣候變化，這些

重要背景資料

「貝類礁體」是這份指南全文通用的一個術語，意指處於沿岸水域的結構，由蠔（牡蠣）和青口（貽貝）等雙殼類軟體動物的聚集和堆積而成。貝類礁體的高度會因應物種、水深及其所在海灣、河口或小灣的物理特性不同而有所變化（圖1.1）。若果聚合體只有一層且沒有堆疊一起，通常會稱為「礁床」（但這份指南中仍稱之為「貝類礁體」）。貝類礁體在本質上與較為人知、由熱帶珊瑚形成的珊瑚礁類似，我們希望通過這個術語傳達一個重要理念：現時進行的修復行動既要達到種群層面的目標（即在環境中有更多的雙殼類），亦要達到結構上的目標（即是在該海灣、河口及小灣有物理上的功能）。雖然「貝類」（Shellfish）一詞在一些國家和語境中的定義相當廣泛，但在這份指南是與「雙殼類」（bivalves）作同義詞使用。

蠔和青口是喜歡聚集生活的雙殼類，容易形成結構化的種群或貝類礁體。這兩種雙殼類都經歷了過度捕撈和生境退化的威脅，也是世界上多個地方生態修復的對象。兩者的生命週期、對棲息環境要求以及其他生態屬性可能存在不同，修復項目要取得成功就需要考慮個別物種的生物學特徵。即使同屬蠔類也會有差別，了解這些差異對修復項目的設計和執行都很重要。例如，凹殼的巨牡蠣屬（*Crassostrea*）是卵生型的，採用釋放型產卵方式繁殖，幼蟲可在水裡自由浮動；而扁平的牡蠣屬（*Ostrea*）則是胎生型的，在外套膜內孕育後代（圖1.2）；這種生殖生物學上的差異將會影響修復項目的選址等。我們將儘可能在每個章節中列出相關的雙殼類品種，並會說明特定品種的貝類修復項目是否有需要特別考慮的重要因素。



圖1.1 中國江蘇省潮間帶的蠔礁。相片提供：劉青

期望都貫穿在整個聯合國《可持續發展目標》中。因此，生態修復正逐漸被視為全球海洋和海岸管理的重要組成部分。

全球《面臨威脅的貝類礁體》評估報告（Beck *et al.* 2009, 2011）揭示了造礁雙殼類的原生種群數量出現急劇及廣泛的下降，這項發現在國際生態恢復協會（SER）的 2011 年國際會議上提出，強調了這一個區域性以至全球性的挑戰。隨後在 2012 年，貝類礁體被列入《拉姆薩爾濕地公約》（Ramsar Convention on Wetlands）保護的濕地類型名單。自 2012 年以來，貝類礁體修復已經在全球各地實踐，包括亞太地區、歐洲大陸、英國和美洲大陸，規模不斷擴大。

首版貝類礁體修復《從業者指南》（Brumbaugh *et al.* 2006）著重支持在美國由社區推動的貝類礁體修復工作。當時的傳統養蠔業式微，人們因此對解決蠔礁喪失這個問題突然產生了日漸濃厚的興趣。同時，科

學研究亦揭示了完好的貝類礁體帶來的潛在生態效益，如讓水體更加清澈，以及為魚類和甲殼類動物提供礁體棲息，這些效益也成為許多修復項目的主要動機。不論目標如何，美國當時已有足夠的知識與經驗，為修復項目的設計和監測編寫基本指導原則。

這份新指南的目的是為建立貝類礁體修復項目的決策過程提供指引，並且通過實例介紹經驗豐富的從業人員在各種地理、環境和社會背景下採取的不同修復方法。編者充分利用對雙殼類動物在沿岸環境中的生態功能持續增長的知識，以及全球現有經驗的深度和廣度，對原《從業者指南》進行了更新及拓展。重要的是，許多修復工程的規模大大超過了第一代指南所反映的項目規模。這份指南和舊版一樣旨在提供基礎資料，作為貝類修復工作的一個有用起步點。指南利用各國的新技術、反映不同社會和政治環境的管理框架以及較新的監測指引，在全球範圍都可應用得到。

海洋生態修復已經迅速發展為一門學科，其內容遠不止貝類礁體棲息地一項。海洋領域中的許多重要海岸帶棲息地已經成為生境修復的焦點，包括珊瑚礁、海藻林、紅樹林、鹽沼濕地和海草床。儘管陸地上的生態修復與海洋生態修復相比更加先進，作為一項管理干預措施亦有更扎實的基礎，但兩者的軌跡正在快速匯聚，進一步合作的機會亦日益顯現。雖然陸地和海洋生態修復都各自面臨一些獨特挑戰，但作為指引開展生態修復而制定的概念框架則是通用的。

此外，採用共同的框架描述生態修復，並在負責不同海洋棲息地類型，以致陸地和淡水領域的從業人員群體中使用共同語言，將有助於強化生態修復的學科性，讓項目之間更易於比較，經驗交流變得更加簡單。制定這種共同框架和闡述這些語言的佼佼者，就是由國際生態恢復協會制定的《生態恢復實踐國際標準》（Gann *et al.* 2019）（簡稱“SER 標準”）。這份指南中有關開展修復的過程和用於描述貝類礁體修復的術語，都儘可能採用了 SER 標準。

「修復輪盤圖」是 SER 標準中一項很有用的溝通工具，用於記錄生態系統恢復至參照條件的進度（圖 1.3）。這項工具已經過調整，使其適用於海洋生境修復的情境，亦可進一步作其他用途。「修復輪盤圖」列出生態系統的 6 個關鍵特性，或者說是生態系統在功能和結構上的較廣泛類別，當中亦包括每個項目需要制定的較具體及可衡量的主目標與次目標。

這個報告框架在項目規模、策略重要性以及社會參與度這些較高層次的項目關鍵考量之外，充分考慮生態系統屬性，有助於在總結匯報進度的過程中將單個項目置在更廣泛的生態環境中。「修復輪盤圖」中的 5 個同心圓代表與當地「參照」生態系統相似程度的 5 個等級，第一層是持續的惡化得到了終止，而第 5 層則代表已經建立特徵性的生物聚落，就算在沒有進一步干預的情況下，也可以發展出結構和營養級的複雜性（Gann *et al.* 2019）。



中國江蘇省潮間帶的蠔礁。相片來源：程瑀

參考文獻

- 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.

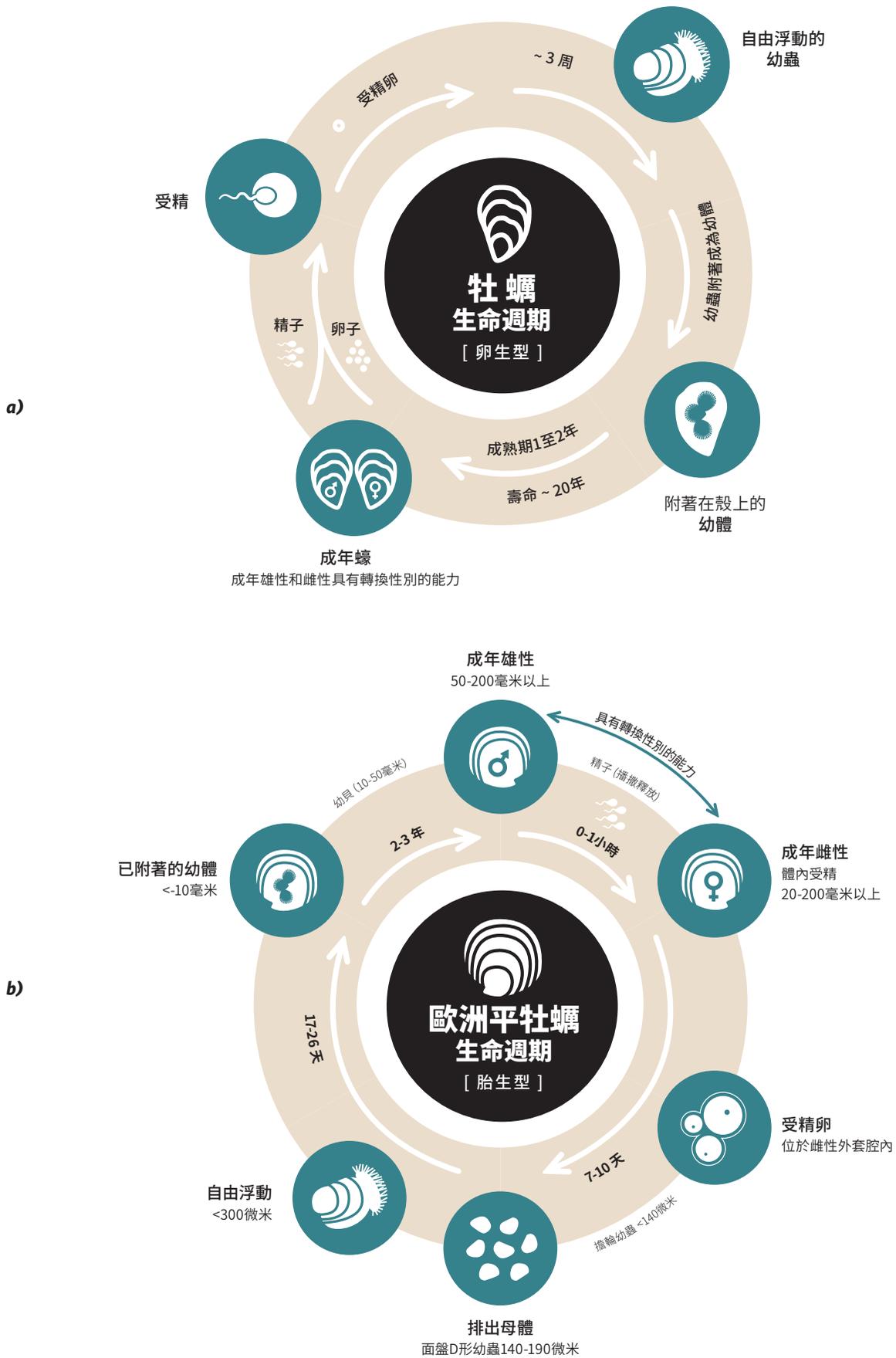


圖1.2 a) 美洲牡蠣 (*Crassostrea virginica*) 和 b) 歐洲平牡蠣 (*Ostrea edulis*) 的生命週期。不同屬的蠔類生命週期各有不同，一些品種的幼蟲可以自由浮動，其他幼蟲則需在成年蠔的外套腔體中孵化並度過幼年期。上圖展示的差異對於修復項目的設計和實施都是重要的考量因素。

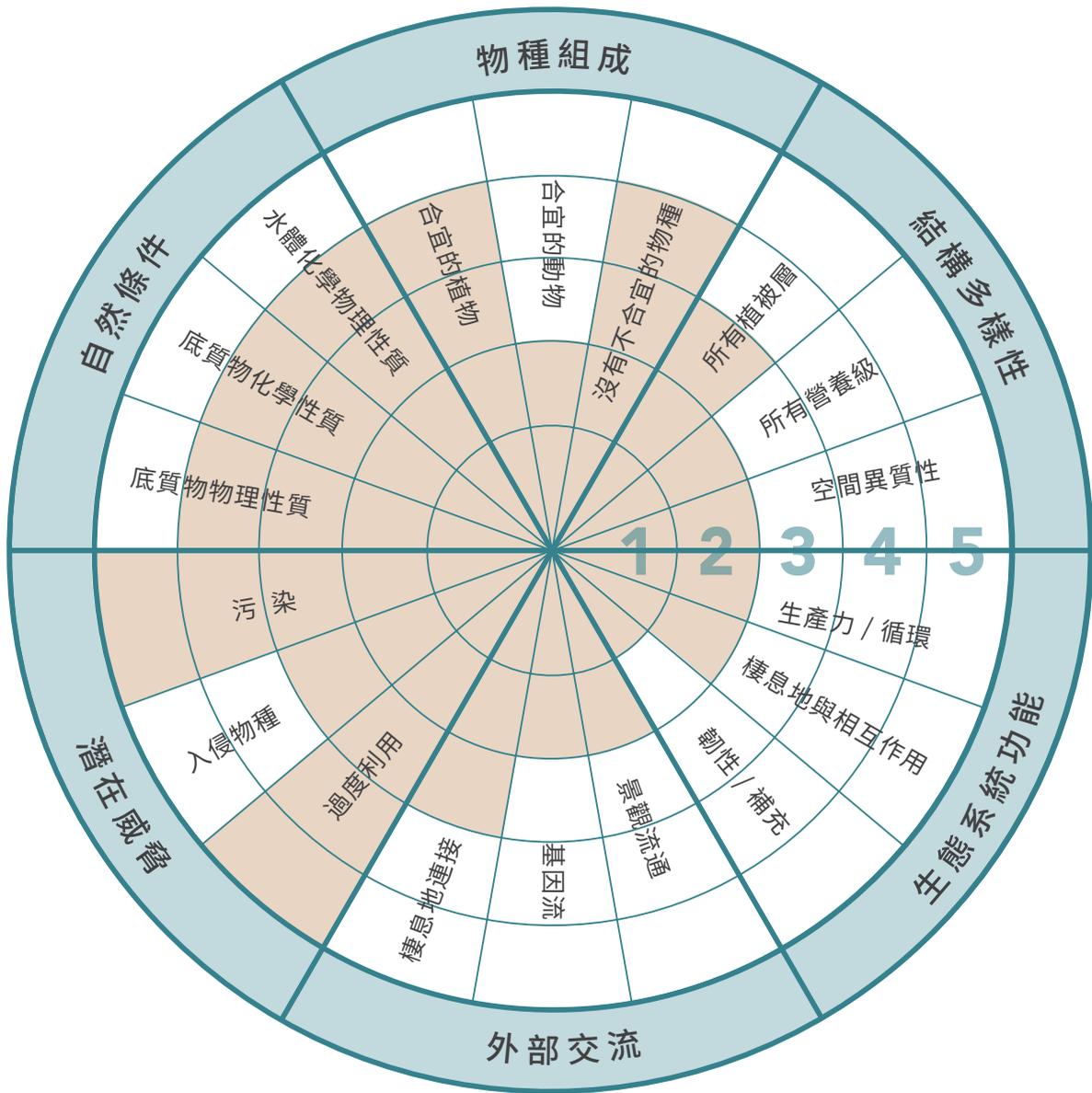


圖1.3 「修復輪盤圖」讓項目管理者能夠按時間的進程，就正在修復中的生態系統達到的恢復程度以圖表顯示。熟知項目目標、次目標和具體區域指標，以及生態系統當前修復水平的人士，可以在正式或非正式評估時根據每組特質的不同分段填上顏色以顯示得分。Gann et al. (2019) 文章的附錄2中提供了該圖表及其附表的空白版本。

第二章

貝類礁體修復及資金籌集個案

Philine zu Ermgassen 和 Rob D. Brumbaugh

要 點

- 貝類礁體生態系統正面臨威脅，但卻具有很高的生物多樣性價值，不論是在局部地區還是全球環境都是如此。
- 貝類礁體生態系統帶來的效益「人人有份」，漁業帶來的效益只是其總價值的一小部分，這個生態系統還提供了大量的其他社會效益。
- 修復項目的資金通常來自公共撥款或慈善捐款，但「影響力投資」與企業的「永續投資」等新型方式，可能會發揮越來越大的作用。

貝類礁體修復的益處 ——人人都可得益

貝類礁體和礁床是全球最受威脅的海洋生境之一（Beck *et al.* 2011）。這些生態系統為人類提供了大量效益，包括提高生物多樣性、改善水質、自身作為漁業產品（雙殼類）、為其他漁業物種（如魚類和甲殼類）提供重要生境、減少海岸線侵蝕，以及擁有重要的文化價值等。過去十年間，全球的貝類修復工作已取得顯著進展。

修復貝類礁體生態系統不僅能造福生態系統本身、相關物種、以及那些直接依靠採撈貝類為生的人，而且對社會各方都有深遠的實質益處（圖 2.1）。貝類礁體修復的受益者包括當地社群（得益於水質改善或海岸線侵蝕減少）和釣魚人士（得益於魚類種群增加，以及提供能夠讓魚類聚集的結構）。如今，人們已充分認識貝類礁體提供的大量生態系統服務功能（表 2.1）。修復這些寶貴的生態系統不僅關係到這些造福人類的生態系統服務功能，而且還可以通過釣魚人士提高消費、休閒漁業和商業捕撈的增長、以及減少海水中的硝酸鹽含量等帶來經濟收益（Grabowski *et al.* 2012）。

貝類礁體給人們提供了各種各樣的益處（圖 2.1）。雖然只有少數物種提供的這些生態系統服務功能得到了量化，但是其他雙殼類動物同樣可帶來這些效益，因為這是牠們的生長機制可以天然創造的條件（圖 2.2）。雙殼類是濾食生物，牠們會過濾水中的微粒，會將消化後的和不可消化的物質沉積到海底，有助於清理水體中的微粒，提高清澈度。將物質沉積到海底也有助於刺激細菌群落，通過脫氮作用將硝酸鹽污染轉化為惰性氮氣（圖 2.2）。

根據最近對蘇格蘭地區一個由 horse mussel (*Modiolus modiolus*) 青口形成的貝類礁床周圍的測量（Kent *et al.* 2017），隨著時間過去，沉澱物還能增加碳埋藏量，對碳固存作出積極貢獻。蠔等貝類構建礁



體時需要堅硬的表面，或至少某種形式的堅固底質物供其依附。蠔類傾向於附著在其他活體的蠔和貝殼材質上，從而建立礁體系統。

構建礁體或礁床的雙殼類動物天生就是創造棲息環境的專家，這正是牠們提供生態系統服務功能的關鍵，這些複雜的立體結構創造了微生境為其他相關物種提供避難所（圖 2.3）。貝類礁體上發現的其他物種的數量和豐度通常遠超過軟質沉積物生境，而後者也就是退化礁體最終會演變成的形態。

這個複雜的立體結構為其他物種的存活提供支持，包括為固著生活的動物提供附著點，和為小型動物提供躲避捕食者的縫隙。上述這些，再加上微粒沉積帶來更加豐富的食物供應，使貝類礁體成為許多魚類幼苗、甲殼類動物和其他生物的理想家園。《利用生態系統服務功能制定蠔類生境修復目標：管理人員指南》（Setting objectives for oyster habitat restoration using ecosystem services: A manager's guide）（zu Ermgassen *et al.* 2016）一文詳細描述了美國貝類礁體提供的服務功能的機制與量化。

貝類礁體修復通過棲息地提供的許多生態系統服務功能，其實是可以做到「為自己支付費用」的，或者

至少從社會角度看能夠帶來良好的投資回報（Grabowski *et al.* 2012）。但若果仍對修復後礁體上的雙殼類進行捕撈，則這些經濟回報可就不一定了，因為過度捕撈向來就是造成礁體自然資源枯竭、在一段時間內無法維持補充量的原因。相反，貝類礁體修復可以借助「溢出」效應，為當地雙殼類漁業帶來效益，對雙殼類目標物種的數量僅為歷史水平一小部分的地區而言，這個效應顯得尤其重要。在這些地區，雙殼類可能由於數量少而難以有效繁殖，簡單來說，如果貝類個體之間距離很遠，卵子和精子結合的可能性就比較小。棲息地修復可以解決這一問題，為雙殼類動物提供密度



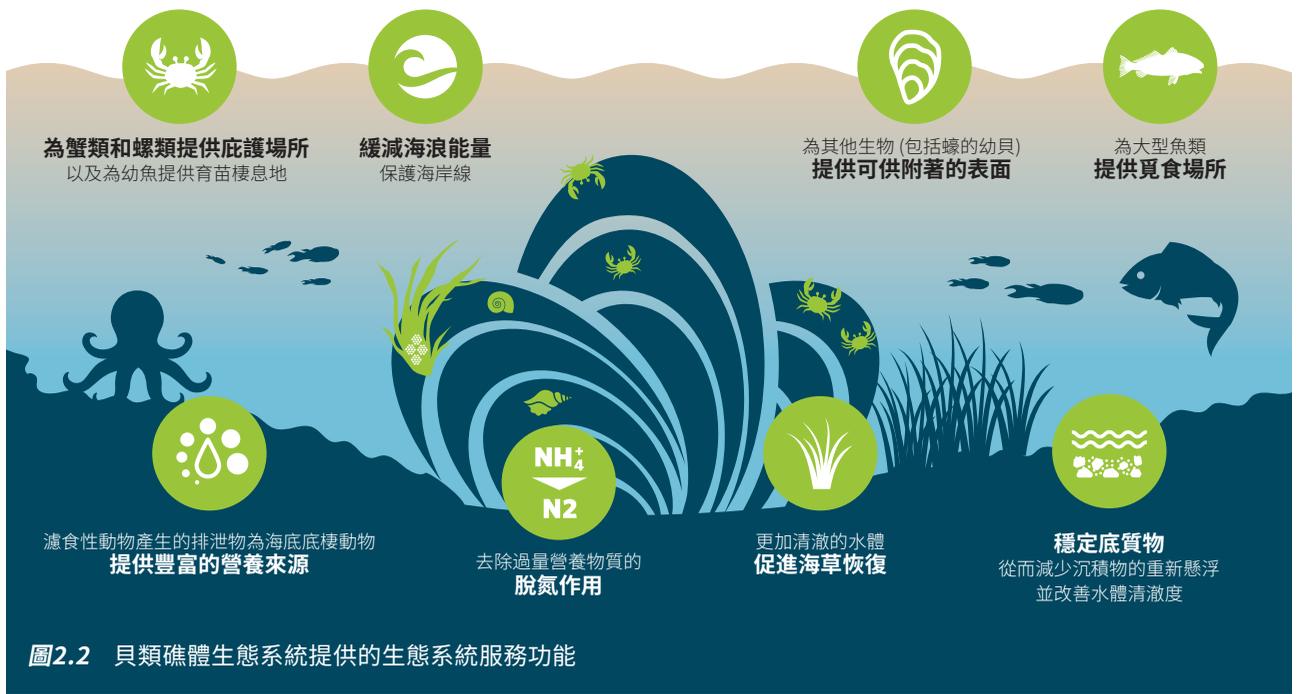


圖2.3 位處德國German Bight海灣的底生動物微生境。相片提供: Verena Merk

較高的聚集地，從而提高繁殖成功的可能性。而且幼貝都會經歷浮游階段，牠們可能會在修復區域以外允許捕撈的區域附著生長。生態系統修復還可以為非雙殼類的漁業帶來益處，因為貝類礁體可為螃蟹及魚類等仍處於敏感幼年期的個體提供棲息地（zu Ermgassen *et al.* 2016）。

許多雙殼類動物已有長達千年的捕撈史。雖然過度捕撈也是導致這一關鍵生境退化的主要驅動因素之一，但符合可持續原則的捕撈和水產養殖不僅可以創造經濟價值，也成為全球各地許多社區與環境之間深厚文化連繫的基礎。修復棲息地、為未修復地區創造幼貝溢出效應，以及支持貝類水產養殖，這都對於建立、重振以及維繫人們與這些被經常食用物種之間的豐富文化連繫至關重要。例如英國的生蠔節又再次興起，

吸引當地人到海邊，提高了大家對歐洲平牡蠣 (*Ostrea edulis*) 這種幾乎已被遺忘的本土蠔的認識（圖 2.4）。

貝類礁體修復和保護的資金籌集個案

修復項目的成功不僅依靠貝類礁體修復工作本身的科學和實踐，也有賴於是否有足夠經費。沒有足夠的資金，項目可能在規劃階段或執行過程中就停滯不前，或者缺乏足夠資源支持項目的成效監測這項重要工作。

要達到修復項目的所有需求，通常需要匯聚多個來源的資金才能穩妥，還有必要尋求可能提供額外資金（或實物資源）的來源。

例如，提供資金的機構有些會支持科學範疇，有些



圖2.4 英國埃塞克斯郡 (Essex) 默西島 (Mersea) 一年一度的挖蠔大賽上，一艘艘傳統蠔船揚帆起航。人們聚集在小船和岸上觀看參賽者徒手挖蠔，然後根據技術和總捕獲量選出勝利者（還有就是品嚐本土蠔）。默西島設有一個海洋保護區保護原生蠔類，這片河口的一部分已經禁止挖蠔，且正在進行積極的修復工作。相片提供：Philine zu Ermgassen

表2.1: 貝類礁體生態系統提供的生態系統服務功能、受益人士以及通過何種機制提供該功能。需要注意的是，並非所有貝類礁體都提供以下所有服務功能，其種類會根據所在地和物種不同而有所差異。

生態系統服務功能	受益人士	提供功能的機制
魚類和甲殼類動物增殖	商業捕撈業者和休閒漁業人士、原住民社區和沿海文化	立體礁體結構提供避難所和充足的獵物
減少海岸侵蝕	沿海土地業主、當地社區和政府	分散波浪能量、充當防波堤並可加固水道
提高海水清澈度	當地政府和休閒遊客	通過濾食動物將沉澱物和藻類沉降至海床
減低水污染	當地社區、下游社區、休閒遊客、商業捕撈業者和政府	加強沿海水域中的氮移除 (即利用周圍沉積物中的細菌脫氮)
碳埋藏	政府和全球人口	將沉積物沉降至海底並以高於周邊區域的速度將其穩定
蠔或青口漁業增殖	商業捕撈業者和休閒貝類採集人士、原住民社區	幼貝從修復區域向周邊地區溢出
文化價值	原住民社區、當地社區、休閒遊客	支持經歷數百年歷史的文化生活方式和相關社區意識
增強生物多樣性和生態系統穩定	從當地居民到全球人類	通過提供複雜的立體棲息地、淨化海水和讓微小顆粒沉入海底，令到當地以至全球多個物種得到增殖；而更豐富的生物多樣性可以提升生態系統的穩定性。此外，在全球範圍內開展雙殼類動物修復運動，能夠確保有造礁能力的雙殼類動物本身的多樣性在局部區域和全球範圍都得到保護。

支持社區參與和對外推廣，有些可能只支持修復項目本身使用材料的投放。

因此，瞭解資助機構的優先選項，是為整個項目建立足夠的資金水平邁出的第一步。

社區主導的試點項目

修復往往從小規模的「概念證明」項目開始，目的是對增加目標雙殼類物種數量的方法和手段進行檢驗，這個行動通常是因應記錄到的捕撈量下降、棲息地範圍縮小或兩者兼而有之的情況而進行。雖然生態系統服務功能可能是項目長期的修復目標，但這種小規模的修復通常只著重於雙殼類動物本身；通常會考慮牠

們的生存和成長情況，以及如何改善牠們的狀況從而令這些指標的成功達到最大化。在全球大多數地方，這些初始嘗試都由慈善基金或有針對性的公共撥款提供支援。資助機會支援此類規模的修復項目，其動機通常是為了改善沿海生態系統的狀況和解決生態系統中雙殼類動物的歷史性退化。因此，典型的資助者通常是提供社區或環境撥款的組織，例如政府、私人信託或企業的慈善捐助等。例如，英國埃塞克斯郡 (Essex) 4 個海洋保護區 (Blackwater, Roach, Crouch 及 Colne 海洋保護區) 的試點工作就獲得了私人贈款、企業捐贈 (Selfridges 百貨公司) 以及養蠔業界、自然保護組織和大學等持份者在時間和資源上的直接投入 (圖 2.5)。

試點工作為制定管理計劃和核算暫定成本提供了依據，對其後向歐盟和英國政府申請更大撥款的成功有著關鍵作用。

對社區主導的項目進行監測往往具有挑戰性，這是由於支持試點項目的撥款通常屬於短期性質，並且科學監測在設計以及執行上都要嚴謹以確保有資訊性。在可行情況下儘量進行監測，是就修復成果記錄相關證據必不可少的一步。監測結果不僅能維持持份者的興趣和支持（參考第七章），而且是對修復工作進行適應性管理的關鍵所在。某些情況下，監測所需的資金可以納入撥款資助範疇中，但「公民科學家」的貢獻更值得關注，他們既對此感興趣，亦有技術能力進行此類監測（圖 2.6）。就監測方面的建議，大家可以

參考大自然保護協會 (TNC) 與美國國家海洋和大氣管理局 (NOAA) 編制的螻類修復監測手冊 (Baggett *et al.* 2014)。

擴大項目規模

貝類礁體修復的可行性一旦通過社區主導的前期項目的驗證，下一個挑戰就是擴大項目規模。用於中小型項目的公共資金往往需要其他資源作「配對」，而私人資金就可發揮作用。此類「配對」資金的來源可以是某個行業及某些企業，以及包括私人信託和基金會的慈善捐助。一些資助者會給予「實物」支持，例如底質物材料、工作人員和義工的時間、或者是提供駁船、起重機和船隻等設備。這一階段相關的政府



圖2.5 英國埃塞克斯郡的附著基投放。相片提供: Matt Uttley



圖2.6 義工在美國佛羅里達州Charlotte Harbour進行貝類礁體監測工作。相片提供: Anne Birch

資金可能包括大型計劃撥款項目，如地區發展撥款等。在整個項目週期中，對規模較小的組織而言，處理極其複雜的報告及就不同資金來源記賬可能會具挑戰性，因此與具備此類能力和經驗的組織合作可能會有幫助。如果修復目標與落實國際生物多樣性承諾相契合的話（例如德國的 RESTORE 項目，<https://www.awi.de/en/science/biosciences/shelf-sea-system-ecology/main-research-focus/european-oyster.html>），擴大項目規模所需的資金則有可能會完全由政府提供。

美國 Chesapeake Bay 的早期試點修復工作旨在評估礁體結構的重要性，以及小範圍的增殖放流能否有效增加種群補充量。Chesapeake Bay Foundation、Fish America Foundation、National Fish and Wildlife Foundation 及美國環境保護局等關注棲息地保護的資助方，為該項目提供了多個撥款（5 萬至 10 萬美元）。隨著相關知識的增加和經驗的累積，更多的市民大眾也開始支持這個項目，進而促使更多的公共資金（主要來自聯邦政府）投入到修復工作，最終促成了蠔捕撈業這

個公共行業的歷史性復蘇。

至今為止最大規模的修復工作主要源自政治承諾，其中往往還伴有行業發展或刺激就業的成分。對資助者而言，修復後生態系統服務功能作為預期投資回報往往也是一大激勵因素。例如，美國德州 (Texas) 一個靠近墨西哥灣的 Matagorda Bay，大規模修復工作就是通過 2000 年的《河口修復法案》(Estuary Restoration Act of 2000) 獲得了聯邦政府的資金支持。這項聯邦法案旨在修復河口地區 100 萬英畝的已退化棲息地，而蠔礁也屬於其修復的目標棲息地之一。德州休閒漁業的發展非常發達，蠔礁修復預計將促進休閒漁業物種的產量增長，這為 Matagorda Bay 的修復工作提供了強大的動力。

一項由大自然保護協會 (TNC) 和 Texas Sea Grant 聯合開展的經濟研究顯示，單單從當地捕撈機會的增長，就帶來了相當可觀的投資回報 (Carlton *et al.* 2016)。

此種規模的撥款通常需要以大量的（甚至可能是繁

複的)證據為基礎,甚至可能在撥款前還需要投入資金進行經濟分析,並對潛在的投資回報、或旅遊等其他生態系統帶來的收益進行評估,以證明該項目能夠達到已知環境效益以外的協同效益。撥款所要求的產出通常包括對社會、經濟和環境效益進行回顧報告,因此就需要額外的資金和專業知識,以確保收集和分析指標的正確性,並及時向投資者報告。在以生物多樣性保護為首要目標的情況下(如國際承諾),證明生物多樣性目標得到落實也同樣重要。方框 2.2 列出成功運用撥款進行大規模修復的個案。

修復項目的後續資金及來源

與生計掛鉤

許多作為修復目標的雙殼類動物同時也是捕撈和食用的對象,因此在資助修復工作的同時還有潛力發



澳洲南澳州Windara Reef生長在另一種貝類上的安加西牡蠣(*Ostrea angasi*)。相片提供:大自然保護協會(TNC)

方框2.2: Windara Reef: 礁體修復項目的資金籌集案例研究

CHRIS GILLIES

2014年,澳洲的南澳州政府承諾投資60萬澳元用於人工魚礁建設(即是混凝土塊)以「補償」因為新建海洋保護區而失去的休閒海釣漁場。項目進行了公開意見徵詢,大自然保護協會(TNC)也和其他各方一起應邀出席了公開論壇,探討用修復貝類礁體代替人工礁體給漁業帶來的益處。

公開意見徵詢的結果是,公眾選擇了貝類礁體修復而非人工魚礁,因此在2015年初,南澳州政府將60萬澳元撥款全部用於修復蠔礁。與此同時,大自然保護協會和南澳州政府就修復的蠔礁所帶來的社會與經濟效益,共同委託機構進行了一項經濟研究和商業案例研究。

該項經濟研究、商業案例和南澳州政府的財政承諾,是申請到澳洲(聯邦)政府區域發展計劃National Stronger Regions Fund(NSRF)的關鍵組成部分。該基金提供了額外的100萬澳元資金,與之相配對的包括:南澳州政府最初提供的60萬澳元,大自然保護協會的139萬澳元,約克半島地方政府的10萬澳元,以及南澳州政府轄下兩個機構(環境和漁業)額外貢獻的61萬澳元。私人基金會Ian Potter Foundation亦提供了資源支持阿德萊德大學開展相關的研究工作,因此資助總額高達420萬澳元。

該項目成功的關鍵因素包括:1)引用貝類礁體修復的環境和社會效益的相關案例研究(尤其是美國的案例),幫助社區和政府持份者瞭解(與人工魚礁相比下)自然棲息地修復的益處;2)明確社會受益者(即休閒漁業人士)和經濟受益者(即從該區域休閒漁業的預期增長中獲得經濟利益的當地服務行業);以及3)成功將海洋生態系統定義為「自然基礎設施」,這些自然基礎設施就如人造基礎設施一樣,可以為社區提供有益服務,而這些效益亦可加以量化。

展為可持續生計。例如，由歐盟出資、倫敦動物學會 (Zoological Society of London) 管理的「我們的海洋，我們的生活」(Our Seas Our Life) 項目 (<https://www.zsl.org/conservation/regions/africa/our-sea-our-life>)，就是努力在莫桑比克的 Cabo Delgado 省建立社區為基礎的養蠔場。項目目的是開發經濟上可行的並且對環境友善的生計，以取代對海洋資源不符永續原則的捕撈，同時為區內婦女提供生計（圖 2.7）。

在經濟發達國家，支持生計發展的資金也是潛在經費來源。例如，European Maritime Fisheries Fund 正在資助英國的多個蠔礁修復項目，目的是支持相關漁業、

提高生物多樣性以及發展相關的水產養殖。

生物多樣性補償

對於陸上生態系統來說，通過修復棲息地來緩減工業發展造成的棲息地喪失是很常見的。在應對發展對生物多樣性帶來負面影響的緩減措施的等級劃分中，生物多樣性補償是其中一項，並且在多個國家被納入到政府政策中。雖然目前很少在海洋環境中開展生物多樣性補償，但決策者和極具企業責任感的公司對此表現出日益濃厚的興趣。開展針對貝類礁體修復的生物多樣性補償行動，需要在制定投標計劃前提前與相



圖2.7 莫桑比克Cabo Delgado省當地以社區為基礎的養蠔場。相片提供：倫敦動物學會

關行業建立密切的夥伴關係，或使其發揮領導作用。早期的參與非常關鍵，藉以確保項目規劃中已包含生物多樣性補償所需的成本，以及相關效益得到正確認識。政府部門也需要對這些效益有充足的認識，才能有效地審核投標計劃。因此，教育、政策和規章都可發揮重要作用，共同推動生物多樣性補償在修復海洋環境中的潛力，為修復貝類礁體提供資金。

為生態系統服務付費

為生態系統服務功能付費 (Payments for Ecosystem Services, PES) 是確保貝類礁體的管理和維護有長期資金的另一個潛在途徑，PES 這種方式已在紅樹林保護上得到實踐，當地漁民會為保護附近的紅樹林而提供資金支持。儘管貝類礁體的保護目前尚未有類似安排，但隨著對非雙殼類漁業的好處和清除營養物等生態效益相關資料的積累，類似的做法應該是有可能的。例如，如果科學上能夠提供強而有力的案例，那麼通過雙殼類修復來消除過多營養物就有可能被納入減少海水氮磷含量的目標中。Chesapeake Bay 的項目已在草擬相關建議 (Malmquist 2018)。

藍色債券和影響力投資

隨著貝類礁體修復相關科學的不斷進步，人們愈希望開發以長期可持續資金為目標的融資模式。各國政府和越來越多的多邊投資者正在探索「藍色債券」的潛力，募集資金以資助將已量化出經濟價值的生態系統服務功能作為核心產出的環境倡議方案。

另一大新興融資領域是「影響力投資」，為私人資本投資者尋找能夠創造顯著社會和 / 或環境效益、且最終能夠收回初始投資的投資方案（這一過程中本金可能會、也可能不會產生可觀的額外利息）。若項目產生的效益具獨特的市場價值（如氮額度、提升漁業產量或緩減風暴影響），那麼將其融入到修復方案中則更有可能獲得此類資金支持。

方框2.3

Glenmorangie公司與Dornoch峽灣環境改善項目: 行業夥伴關係案例研究

Dornoch 峽灣環境改善項目 (Dornoch Environmental Enhancement Project, DEEP) 是 Glenmorangie 公司、Heriot-Watt University 和海洋保護學會 (Marine Conservation Society) 之間的合作項目，旨在恢復蘇格蘭高地 Dornoch 峽灣保護區內的歐洲平牡蠣 (圖 2.8 及圖 2.9)。

Glenmorangie 釀酒廠自 1843 年以來一直坐落蘇格蘭高地 Dornoch 峽灣旁，因此有很強烈的地方意識，且長期關注釀酒廠在當地社區和環境中的角色。此外，作為奢侈品的威士忌的消費群體在道德上的要求越來越高，因此良好的管理甚至可以透過品牌價值的形式帶來投資回報。修復受損已久的蠔礁有助提高生物多樣性，而且能夠與 Glenmorangie 釀酒廠 2017 年新增的厭氧消化設備互相配合，共同淨化蒸餾過程中產生的副產品，這個環保做法是釀酒行業中的先驅。該厭氧消化設備預計將淨化高達 95% 的廢水，剩餘 5% 的有機廢物則由蠔礁負責清理。

總而言之，DEEP 項目的整體目標是促進威士忌釀酒廠在符合排放標準之餘，達到極高的環境標準。



圖2.8 Glenmorangie釀酒廠的Hamish Torrie與Heriot-Watt University的Bill Sanderson博士正在檢查歐洲平牡蠣，這些當地土生的蠔隻將會定居Dornoch峽灣。相片提供: Rich Shucksmith



圖2.9 科學家將歐洲平牡蠣放置在Dornoch峽灣重建的礁體上，這是Glenmorangie釀酒廠DEEP項目的一部份。
相片提供: Rich Shucksmith

參考文獻

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

貝類礁體修復項目啟動： 規劃、目標設定及可行性研究

Chris L. Gillies

要 點

- 考慮修復背後的主要和次要動機對於明確持份者的期望、設定主目標和次目標、以及指導詳細的項目設計和實施都非常重要。
- 在實際投入大量時間和資源之前，首先制定書面的規劃設計並開展可行性研究，是審議不同備選方案及其成效、識別具體行動方案的風險和挑戰，以及瞭解現狀最簡單且最具成本效益的方法。
- 需選定參照生態系統或模型作為修復的生態目標，用於指導項目設計、設定生態目標以及支援監測工作。

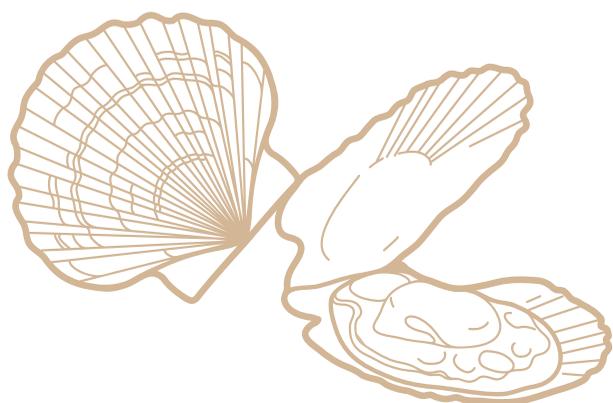
引 言

任何修復項目的第一階段都應該是審議並制定書面的規劃設計，清楚釐定項目目標、原理、關鍵策略或活動、以及預期成果。在實際投入大量時間和資源之前，制定書面計劃是審議不同備選方案及其成效、識別具體行動方案的風險和挑戰，以及瞭解現狀最簡單且最具成本效益的方法。雖然規劃並不能保證項目中所有潛在的問題都能得到識別或解決，但有助促使提議項目的人士「仔細思考」，基於證據或集體知識為基礎而得出符合邏輯及條理清晰的決策。

有許多免費提供的指南和資源可以為修復項目的規劃提供幫助，其中一些是為了支持保育和修復項目而專門制定的，例如這份指南、Open Standards for the Practice of Conservation (CMP 2013)、Conservation by Design (TNC 2016)、以及《生態修復實踐國際標準》（即 SER 標準，Gann *et al.* 2019）。

一個典型的項目規劃應包括：

- 描述目標生態系統或參照模型，列出本章「可行性研究」部分中提到的主要結構性組成、生物群落、重要物種間的相互作用和功能過程（即生態系統服務功能）
- 列出項目最終希望實現的眾多目標
- 列出項目次目標（次目標應滿足 S.M.A.R.T 目標，即具體 Specific、可衡量 Measurable、可



實現 Attainable、相關 Relevant、有時限 Time bound 這五個要求），用於描述項目裡獨立的工作部份（如社區參與、礁體修復、項目管理及監測）

- 概述策略（也稱活動或行動）及時間線，而每個策略應描述實現項目次目標所需的主要任務
- 項目持續時間、產出（每個次目標需交付的產出）和最終成果
- 負責執行和支援各項工作的人員名單，並列出每個人的角色和責任
- 概述初步可行性分析以及知識和資訊方面存在的空缺或限制
- 風險評估和許可要求
- 預算
- 監測評估和報告框架（即如何根據既定目標衡量項目成功與否）
- 傳播策略框架（即如何宣傳推廣該項目）

由於修復項目持續時間長，所以規劃過程必須使用適應性管理原則。簡單來說，適應性管理融入了「邊做邊學」的理念，讓你在過程中學習（例如監測、試點學習、科學研究），並將學之所得融入到未來的決策中。適應性管理對於貝類修復尤為重要，因為每個項目都是獨一無二的，貝類修復不太可能出現兩個地點、生態群落或起始狀態完全相同的情況。

設定修復目標

每個修復項目都應以一套明確的、預算實現的修復目標為指導，當中可包括生態目標（如修復至目標生態系統的狀態）、社會和經濟目標（如吸引義工參與、提供就業）和項目效率目標（如在指定的預算和時間內開展工作）。設定生態目標有時會很困難，尤其是不同的持份者對項目的預期可能會有所不同。例如，目標可能是「在某日前修復生態系統從而改善海洋生物多樣性」或「修復生態系統以提升休閒漁業」。這兩個目標都要求修復生態系統，但後者在修復之餘更

強調特定物種的多樣性（具有休閒漁業價值的魚類物種）和特定類型的生態系統服務功能（即提高漁業產量）。雖然這兩個目標尋求的都是修復生態系統，但理解其主要修復動機將有助於規劃項目設計、構建和監測的方式，以決定目標生態系統或模型（詳見下文）的選擇，並且最終影響持份者對項目成功與否的認定（關於不同的次目標對項目設計的影響，詳見表 3.1）。基於這些原因，花時間思考項目真正的動機，以及這些動機對修復可行性和方法的影響是非常重要的。

如果項目支持者希望從單個項目中獲得多個成果，那就必須找出一個讓所有持份者都能夠認可的主要目標（或動機），這有助於確保整個項目有一個可以指導其決策的主要目標。其他期望達到的成效，如多種生態系統服務功能（休閒漁業魚類增殖、海岸線防護、過濾水體）等，則需明確定義為次要成效或動機，因為若這些成效一旦不能相互吻合，就需要作出「權衡」。例如，要設計一個可同時滿足捕撈要求及具有海岸線防護的修復項目似乎不太可能，因此在規劃階段就可能需要以其中一個為優先。

關於設定恰當的貝類生態系統修復目標以及如何讓持份者參與目標設定過程的進一步指引詳見第三、四章（以及 zu Ermgassen *et al.* 2016）。清楚列明項目目標、制定實現該目標所需的具體次目標之後，下一階段就是評估項目是否可行。

為什麼要開展可行性研究？

可行性研究之目的是瞭解擬修復地點的貝類礁體生態系統的已知（和未知）資訊，以及評估項目在其所處的環境、社會和經濟背景下能否達到目標。可行性研究並不困難，但應包括以下幾個簡單步驟：

1. 確定在預期的地理範圍內開展生態系統修復是否可行
2. 瞭解應參與該項目的人員，以及他們參與項目的背景和階段
3. 瞭解用於指導修復過程的當地參照生態系統或生態目標（即生態系統目標）

表3.1: 舉例說明目標相似修復項目的決策如何受動機或預期成效存在的細微差異影響。

	不同的設計考量因素	
	修復生態系統的主要目的是為了生物多樣性而沒有偏重個別物種	修復生態系統的主要目的是為了某種特定的生態系統服務功能（如漁業產量）
選址	考慮是否靠近其他礁體生態系統，最大限度地增加可供繁殖擴散的物種庫。	考慮礁體是否靠近目標魚類種群，以及與該魚類其他生境之間的連接性。
修復設計	設計應儘可能增加不同生態位生存空間的種類（例如大大小小的縫隙空間、不同的礁體尺寸、高粗糙度等）。	設計應儘可能促進魚類幼苗的補充、保護和生長（例如加高礁體高度以降低水流速度、選擇合適的底質物材料以營造適合魚類棲息的縫隙空間）。
監測	使用通用的生物多樣性監測，著重物種豐富度（或目標指標），所有物種視為同等重要。	著重衡量魚類補充量、生物量和豐度，以此為主要生物多樣性目標。
資金來源	以常見的環境資助和社區資金為目標。	以休閒漁業和商業捕撈業、捕撈許可費、海釣俱樂部、漁業管理機構為目標。
持份者支持	涉及希望修復生態系統而不需要實際投資回報的群體。	涉及休閒漁業和商業捕撈業、漁業及水產研究機構和漁業管理機構。
衡量成果	力求提高生物多樣性，達到參照生態系統或模型的標準。	力求提高具有休閒漁業或商業捕撈價值的魚類生物量，達到參照生態系統或模型的標準。

關注以下事項將有助於指導項目規劃的制定，包括：確定支持和維繫生態系統的主要物理和生物特性以及物種之間的正面種間關係（通常從類似的參照生態系統得出，即生態目標）、設定 S.M.A.R.T 次目標、確定重點區域內可修復的面積和可行的修復地點、明確具體的修復或建設方法、識別修復工作面臨的風險（以及減輕這些風險的方法），以及確定用於監測和評估的關鍵指標。可行性評估還有助於制定項目建議書，並向持份者、監管機構和潛在的項目投資者證明項目已經展開盡職調查。

可行性研究不必是一份冗長的文件，但必須足夠詳

細，才能回答項目內容、所在地、時間和管理方式等基本問題。

開展可行性研究的方法和資訊來源

很多資訊來源都可作參考，有助確定生態參照或目標生態系統，以進行可行性研究：

- 科學期刊文章（通常可以通過 Google Scholar 或 ResearchGate 免費瀏覽，也可以直接聯繫文章作者）
- 舊報紙文章、照片、地圖和書籍（當地圖書館、

圖書館線上資料庫、當地歷史學會)

- 社區上和傳統上的生態知識 (可以通過對當地居民、原住民、當地環保組織、漁民、潛水人士、教師進行採訪和調查獲得)
- 貝類養殖和貝類捕撈業、貝類養殖戶 / 捕撈者
- 軟體動物學會、地理學會、科學學會、大學
- 政府報告和研究 (歷史記錄和當前現狀)
- 直接觀察和實驗

與當地大學、歷史學會或願意提供幫助的圖書館工作人員合作，通過他們的幫助能夠獲取原本受到限制或難以找到的資訊，以及瞭解開展科學研究與觀察的規則。使用「蠔」、「蠔捕撈」、「青口生態系統」等關鍵詞，並將搜索限定在特定的地理區域內，都有助於有系統地搜索資訊。記錄下搜索的關鍵詞及方法，這樣不僅方便將來繼續研究，也方便他人參與這一過程。

第 1 步: 確定在預期的地理範圍內開展生態系統修復是否可行

要瞭解在某一河口或沿岸地區開展修復工作是否可行，既可以採用對現有資訊進行簡單總結的方法，

也可以借助更複雜的修復適宜性模型及地理資訊系統 (GIS) 進行空間分析 (方框 3.1)。所有方法都建立在一系列基本問題的基礎上，根據生態系統的生物和物理需要，確定開展修復工作的可行區域。附錄 3.1 中詳細列出的問題可以作為可行性研究的基礎。這些問題通常可分為三個主題：

1. (最初導致生態系統退化的) 威脅因素是否已經消除或得到充分的控制，從而令生態系統得以修復？

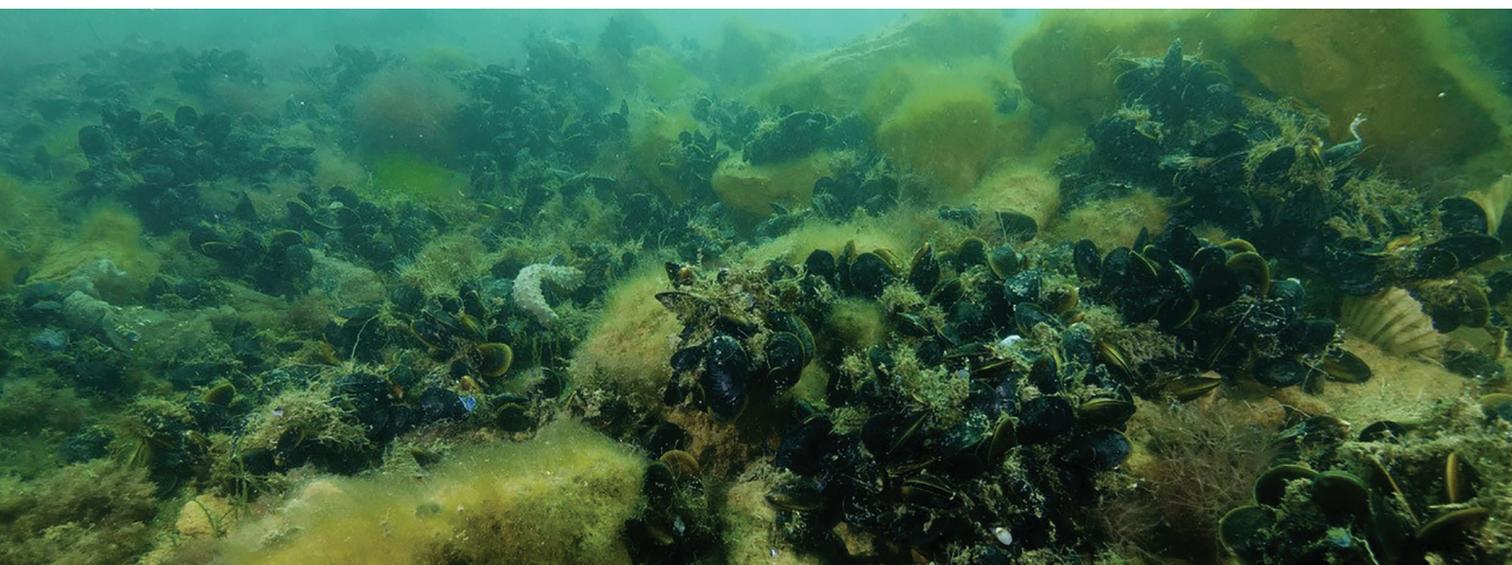
要回答這個問題，可以考慮對以下幾方面進行評估：過去和現在的捕撈壓力、污染和水質狀況、病害流行和傳播的風險、沉積物和捕食者狀況。

2. 對於形成生境的主要雙殼類動物以及相關生態群落而言，該地區的環境和物理參數 (如鹽度、酸鹼度、溶氧量、波浪能量、底質條件) 是否在其耐受範圍內？

如果不是，能否通過主動修復而輕易地加以改善或管理 (如添加底質物以改善底質條件、選擇具有抗病性的貝類、限制地點選擇等)？

3. 修復活動是否有後勤物流的支援需要，是否能夠滿足監管要求，以及是否在預算範圍內？ (例如，附近是否有能使用的海運裝載設施、養蠔場、貝類附著基及底質物，是否可取得許可證、有否需要遞交開發建設申請，生物安全許可、動物轉移許可等)。

對這些條件支持與否的證據，應來自於通過直接觀



澳洲Port Phillip Bay修復後的青口礁體。相片提供: Jarrod Boord

察、科學研究、坊間訊息和傳統知識、或政府報告。
其他需考慮的因素包括：

- 靠近使用率高或文化敏感地區（如水產養殖區、海洋保護區、航道、休閒娛樂區、傳統捕撈區、文化遺址）。若該區域存在此類用途，則應再次考慮選址和修復項目在該環境下是否適宜，並讓牽涉到的持份者參與這一過程。
- 處於生態系統的歷史分布區域範圍，即殘存有礁體或礁床，或者是蠔或青口生物量密集的區域，有機會提供天然幼苗作自然補充。
- 靠近其他結構化生態系統（有助於加強生態系統連結性和可供給的物種庫）。
- 其他機構認定的優先保護區域。
- 建立貝類礁體後對其他生態系統或受威脅物種造成的潛在不良影響（參考方框 3.2）。

一張標注有這些區域的簡單地圖，或者精確度更高的地理資訊系統 (GIS) 分析或模型（方框 3.1）將有助於確定：1) 可修復的海床總面積，即理論上可以開展生態修復的範圍（可用於制定長期規劃和目標設定），2) 初步進行修復實驗或者深入開展實地調查的首選地點，以及 3) 初步實驗或試驗項目和大規模修復期間應解決的風險。

最後，還應考慮氣候變化或未來可能出現的用途而會導致的當地條件變化。例如，氣候變化可能會帶來新的威脅，如入侵物種、海平面上升、海水酸化、當地鹽度和溫度變化等。



第 2 步：瞭解應參與該項目的人員，以及他們參與項目的背景和階段

識別和分析持份者資料是確定項目參與人員及其參與方式的最簡單方法。首先按照類別或具有相似觀念的群體列出所有持份者，然後評估他們可能的需要和在項目中的參與程度，這樣做有助於確定項目規劃和實施期間需優先諮詢的群體。

不同類別或群體的例子包括：

- 河口或沿海區域的使用者（休閒、工業、文化）
- 陸地及海洋管理者和監管者、權威領導、周邊居民
- 潛在的項目資助者
- 項目擁護者和義工
- 相關課題的專家（如海洋生態學者、蠔和青口生物學者、資源管理者、養蠔人士）
- 項目批評者

然後，針對每個持份者作出決策，是通知、邀請參與，還是徵詢其意見，以及應在哪個階段（即可行性研究、規劃、實施或監測）進行這項工作。瞭解誰人可從修復項目中獲利（或損失）最多將有助於識別項目合作夥伴、擁護者、資助者，以及合作和參與工作的重點。

第 3 步：瞭解用於指導修復過程的當地參照生態系統或生態目標

國際生態恢復協會推薦使用參照生態系統（可以是參考地點或模擬生態系統）作為修復項目的一項基本要求。參照生態系統或模型有助於指引項目設計、生態目標制定，以及支持監測（Gann *et al.* 2019）。參照生態系統或參考模型描述了生態系統已知的生態和物理特徵資訊（模擬貝類生態系統的示例詳見 Gillies *et al.* 2016），就好比是一位建造者要複製一座現有房屋所需的詳細工程圖紙。參照地點或模型應提供的有關資訊包括關鍵物種、物理、結構和生態屬性、功能性

過程以及典型動物群。

這些資訊可用於：

1. 比較修復地點和參照生態系統，識別修復過程中需要恢復的主要結構、生物組分和物種之間的種間關係（如增加底質物、蠕幼體、植食性物種）；
2. 確認修復地點能否與附近現有的生態系統相連接，以加快物種和基因的交流；
3. 為修復地點制定具體的生物學目標，如蠕（或其他雙殼類物種）密度、生物多樣性、功能性群體和生態系統服務功能，或幫助確定指標、關鍵物種或物種間的正面關係；
4. （在使用參照生態系統而非模型的情況下）「實時」評估修復進度。使用「修復前、修復後、控制變量、影響、參考」(Before-After-Control-Impact-Reference) 的監測框架設計時，氣候變化等宏觀因素的現狀基線可用參照生態系統來代表（見 Baggett *et al.* 2014）。

概念圖或修復輪盤圖是一個有用的方法，可以概括控制著生態系統的關鍵過程的現有資訊（圖 1.3），並且有助於瞭解維繫生態系統的關鍵過程以及生物和物理特質。

如果其中一些問題找不到答案怎麼辦？

無論評估有多麼詳細，能夠對項目可行性相關的所有問題提供確切答案的項目少之又少。因此，可行性研究應根據當時掌握的證據，判斷項目（通常是小規模試點，詳見第五、六兩章）是否應該（或不應該）進入下一階段。可行性評估中識別出的問題可能仍需在大规模修復之前得到解決，而這正是試點研究及 / 或進一步研究應關注的方向。其他一些資料缺口可以通過使用適應性管理原則或納入項目規劃加以管理。

參考文獻

- 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: 貝類生態系統修復選址: 地理空間決策支援工具的價值

Seth Theuerkauf

貝類礁體修復地點的選址往往是決定項目能否成功的因素。例如，選址若位於幼蟲補充量不足或定期發生低溶氧事件的地區，修復的礁體或許將永遠無法成活，也可能會發生週期性的高死亡率事件。蠔礁的歷史分布圖經常作為指導修復工作的工具，但在分布覆蓋範圍以外的區域，或者修復地點位於已經城市化、環境條件已發生變化的河口，這些分布圖的用途則可能有限。過去 10 年間，針對蠔礁修復的地理空間決策支援工具（通常稱為棲息地適宜性指數 Habitat Sustainability Indices, 以下簡稱 HSI）已成為綜合多元空間資料（包括環境、生物、後勤物流支援等標準）以指導蠔礁修復工作的有用資源。

經同行評議的學術文獻闡述了多個採用 HSI 成功規劃和實施的蠔礁修復個案，其框架也為制定新的 HSI 打下基礎。Theuerkauf and Lipcius (2016) 對這些工具以及每個 HSI 中考慮的空間標準進行了綜述。由於用於蠔礁修復 HSI 的技術方法明確且易複製，制定新的 HSI 通常只需決定關鍵空間指標，而這些指標可從持份者以及後續整合的適用的空間資料集中獲得（例如來自政府自然資源部門或遙感取得的資料）。重要的是，儘管 HSI 的制定相對簡單，但必須採用多種評估方法來確保其對蠔礁修復提出的建議的可靠性（例如，靈敏度分析、使用獨立的蠔密度資料驗證其結果）。此外，網上地圖繪製工具（例如大自然保護協會就位於美國的工作而開發的 Restoration Explorer）展示了易於使用的平台可如何幫助從業人員，讓他們更好地根據需求制定最適宜的規劃（圖 3.1）。



中國浙江省三門縣的貝類礁體投放。相片提供: 董大正

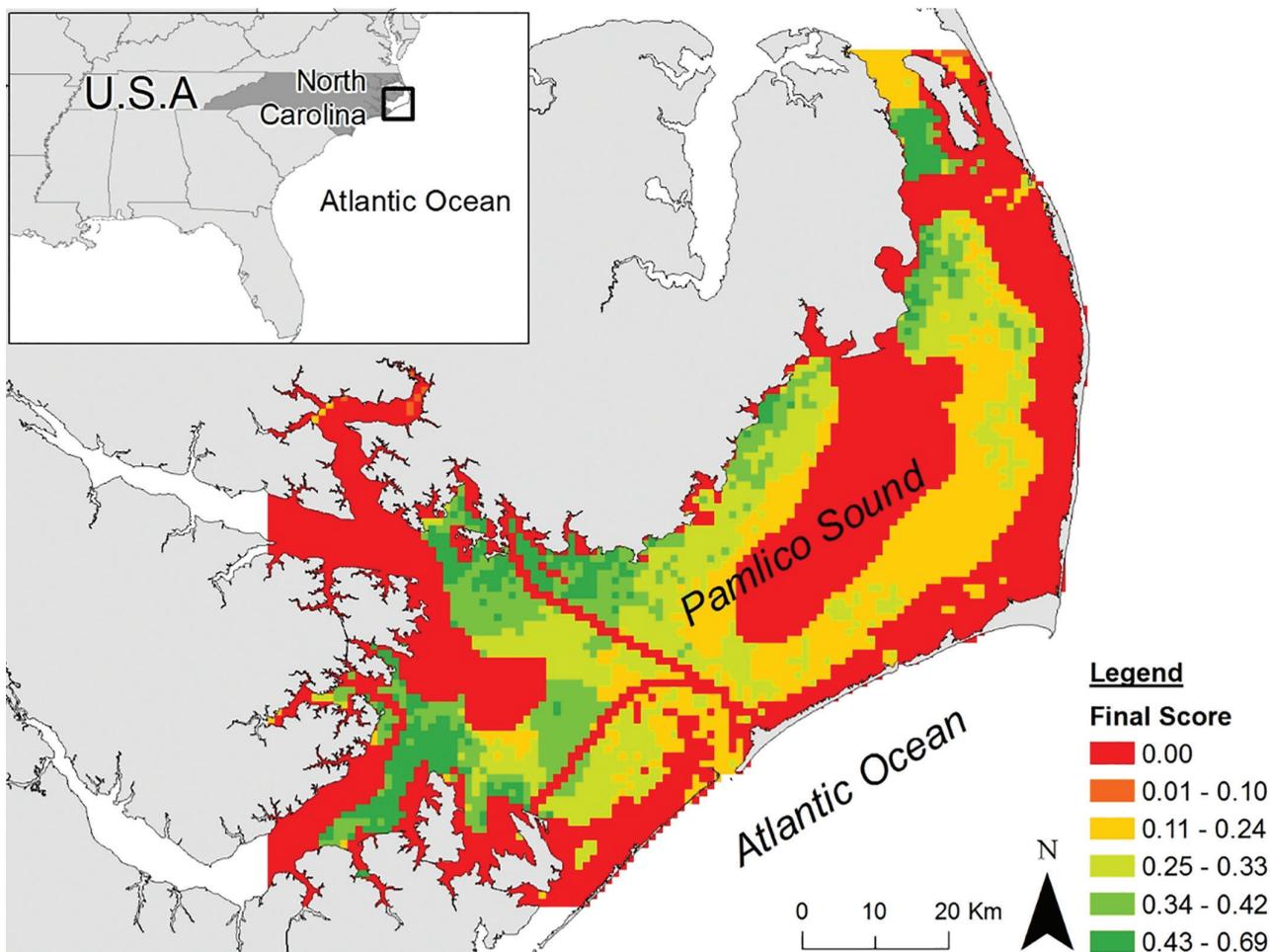


圖3.1 a) 美國北卡羅來納州一個蠔礁修復的棲息地適宜性指數 (HSI) 例子。該指數整合了環境、生物和後勤支援等多個關鍵指標 (修改自Puckett *et al.* 2018)。修復適宜性從低 (紅色) 到高 (綠色)。

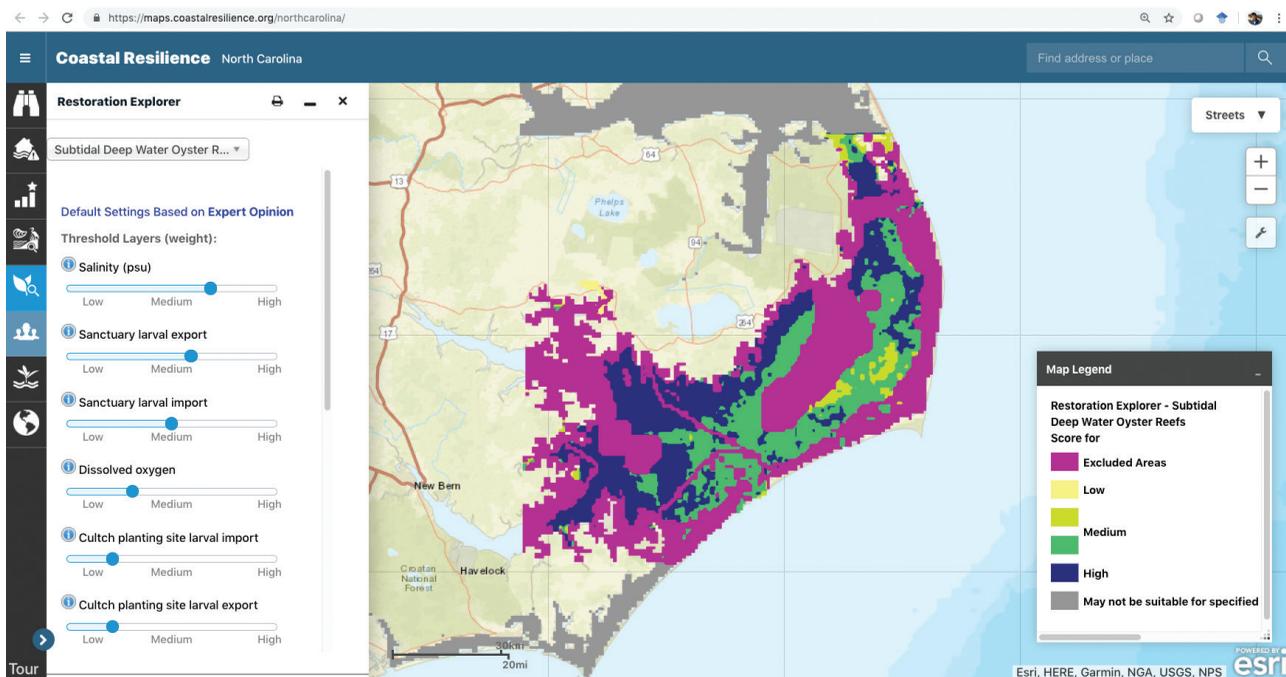


圖3.1 b) 利用大自然保護協會 (TNC) 的Restoration Explorer網上平台整合的北卡羅來納州蠔礁修復的棲息地適宜性指數 (HSI); 這個平台可以對模型的參數進行動態調整。

方框 3.2:

案例研究: 在瀕危物種生境開展修復工作所面臨的挑戰

Marine Thomas

中國深圳灣的香港一方是中國鬻 (*Tachypleus tridentatus*) 和圓尾鬻 (*Carcinoscorpius rotundicauda*) 這兩種瀕危物種的重要繁育地。雖然這個生態系統中也有本地蠔生存著, 但卻欠缺相關的天然棲息範圍的歷史基線資料。這是因為 700 多年來的傳統養蠔方式所投放的硬質結構 (石頭和混凝土樁柱) 已經改變了當地的地貌。如今, 這種養殖方式正在消亡, 大片廢棄的蠔附着基 (蠔椿) 佔據著海岸線 (圖 3.2)。這些養蠔場與天然蠔礁床的不同之處在於, 養蠔場的蠔椿會零散地分佈在大片區域上, 而自然環境中的蠔則會形成範圍較小但更集中的棲息地斑塊。

2018 年初, 大自然保護協會 (TNC) 應邀在一個鬻的重要繁育地附近開展小規模修復試點項目, 目標是將一片廢棄的養蠔場改造成多個小塊的蠔礁床。就在修復工作即將開始前不久, 鬻類保育人士表達了疑慮, 擔心蠔礁的結構可能對瀕危的鬻造成負面影響 (Kwan et al. 2017), 並提倡徹底清除該地區的蠔。這兩種方法 (改變生境或徹底清除) 會否造成生態影響還存在知識缺口, 因此雙方未能達成共識, 結果是項目被撤銷, 耗時數月的規劃和已經投入的資源都浪費了。

在瀕危物種生境開展修復工作時, 需考量因素和最佳實踐包括 (修改自 Cassazza et al. 2016) :

- 生態系統修復和物種保育的目標通常是兼容的, 但二者看待棲息地的角度不同; 修復傾向於優先考慮更廣泛的生態系統功能, 而物種保育則著重於保護特定的生境條件。
- 基於生態系統的保育方法的優點正日益得到認可, 但這一領域仍然相對較新, 對於長期退化環境, 關於其基礎生態系統過程的認知必然會存在知識缺口。如果生境調控對個別物種帶來的影響難以預測, 那麼修復項目可能就會引起爭議或遭到拒絕。
- 瀕危物種帶來的敏感問題可能會導致項目延期、混亂、激烈辯論, 並最終影響項目目標。儘早發現潛在問題、邀請持份者的積極參與、以及靈活的規劃過程是成功的關鍵所在。為此, 有效的適應性管理框架應包括:
 - > 對敏感物種和持份者進行研究, 以評估選址是否適合開展修復工作;
 - > 積極鼓勵持份者參與, 共同探討預期願景、可能存在的衝突、以及修復工作如何融入當地管理規劃等問題;
 - > 就現有的基線狀況和知識缺口達成共識;
 - > 合作開展監測、資料共用、以及對研究結果的說明和解讀應以達成共識為導向;
 - > 在評估影響時, 量化對其他生態系統組成部分所造成的負面影響和益處;
 - > 就需要啟動替代管理方案的臨界點明確達成一致 (如瀕危物種個體死亡率上升);
 - > 尋找替代方案, 儘管可能耗時更長、且需要進一步研究和更多資源。



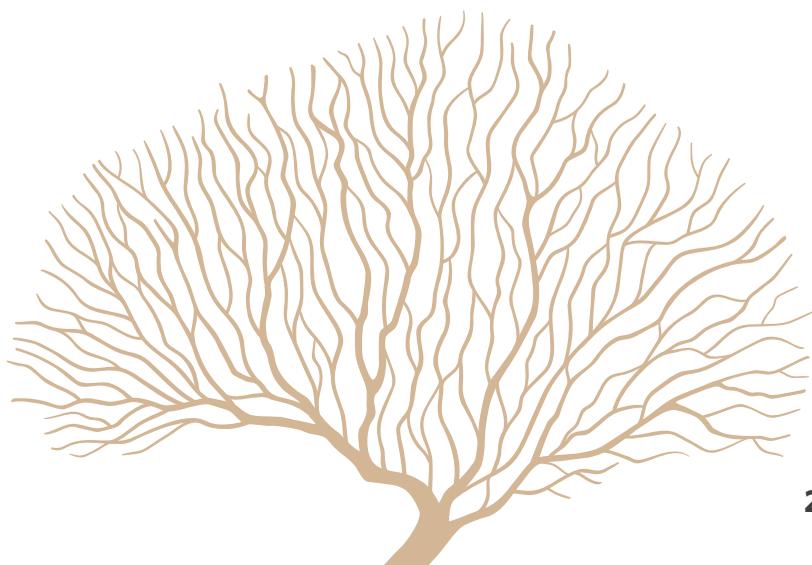


圖3.2 中國深圳灣香港一方的已廢棄養蠔場，遠處就是深圳。相片來源：歐陽凱

附录3.1: 修復可行性清單: 這些問題可以作為指導, 幫助開展貝類礁體修復的可行性研究。

	問題示例	說明
目標和次目標設定	<ul style="list-style-type: none"> • 主要修復目標是什麼? • 項目預算的成果有甚麼? • 項目的次目標是否符合S.M.A.R.T的原則 (具體、可衡量、可實現、相關、有時限)? 	<p>例如考慮: 恢復退化的生態系統、提升當地生物多樣性、改善蠔業、增加魚類棲息地、改善水質、脫氮、為當地創造就業及義工服務的機會</p>
礁體歷史分布	<ul style="list-style-type: none"> • 是否有證據顯示現時有或曾經有貝類礁體和礁床生態系統的存在? 	<p>如果有證據表明現時或曾經有貝類礁體和礁床的存在, 則有助於確認區域內哪些位置適合修復, 也有助於說明應在特定地點採取人為干預措施</p>
物理與化學參數和威脅	<ul style="list-style-type: none"> • 對於當地主要的雙殼類動物以及相關生態群落而言, 該地區物理及化學參數是否處於牠們的耐受範圍之內? 	<p>考慮: 承受波浪沖刷的暴露程度、洋流/潮水流動、沉積狀況、沉積物成分和沉積動力、溶氧量、水污染、酸鹼值、鹽度、日照情況、溫度、可供附著的底質物</p>
生態屬性和威脅	<ul style="list-style-type: none"> • 修復地點的生態屬性是否處在蠔或青口這些生態系統工程師的耐受範圍內? 	<p>考慮: 與其他生態系統的連接性、食物供應、目前的繁殖能力或蠔的生物量、與其他(蠔或青口)礁體的距離、病害流行、捕食者</p>
持份者參與	<ul style="list-style-type: none"> • 哪些群體或個人會支持修復? 為什麼? • 哪些群體會反對修復? 為什麼? • 是否需要義工? 如果需要, 誰會來當義工? • 周邊居民或土地業權人士是否會支持? 	<p>對持份者、包括支持者及潛在的批評者進行評估, 將有助於瞭解項目的潛在合作夥伴和合作策略</p>

	問題示例	說明
後勤物流支援考量	<ul style="list-style-type: none"> 開展修復工作需要取得哪些批准和許可？ 進入修復地點是否需要獲得批准？ 礁體材料來自哪裡？ 構建礁體需要甚麼設備？ 在岸上何處放置設備及開展建設活動？ 修復地點是否遠離主要交通區域或其他用途區域（如工業、水產養殖），或者這些情況是否可以得到妥善處理？ 	<p>可能需要的許可或批准包括：科學採樣、開發建設申請、移植、生物安全</p> <p>礁體材料包括：底質物、貝殼、活體蠔或青口</p> <p>設備包括：駁船、小船、潛水設備、採樣工具、相機</p> <p>修復點應盡量遠離使用率高的區域（例如航道），除非這是修復目標之一（例如海岸線防護）</p>
參照（目標）生態系統	<ul style="list-style-type: none"> 最近的參照生態系統在哪裡？ 物理和生態特徵是否已被測量和描述（以及能否獲取相關資訊）？ 能否進出該參照生態系統的所在地？ 參照生態系統是否適合作為該項目的「生態目標」？ 	<p>更多關於參照生態系統的資料，請參考Gann et al. (2019)</p>
資金	<ul style="list-style-type: none"> 誰會資助該項目？ 提供資金支持的原因是甚麼？ 	<p>儘早瞭解項目資助方和關鍵資料，有助於鎖定項目資源，並且可以針對特定受眾修改項目建議書</p>
項目風險	<ul style="list-style-type: none"> 項目面臨怎樣的社會、生態和經濟風險？如何降低這些風險？ 	<p>項目管理計劃中通常需要包括詳細的風險評估，儘早評估有助於找出項目面臨的主要威脅</p>
監測、評估和報告	<ul style="list-style-type: none"> 誰來負責開展監測、評估和報告？ 使用甚麼方法？資金是否可持續？ 是否查閱過相關監測指南？ 	<p>應儘早確定項目監測和評估的執行人士，確保他們參與並協助制定前期項目目標和預期成果</p>



第四章

貝類礁體修復的生物安全與許可

Andrew Jeffs、Boze Hancock、Philine zu Ermgassen

和 Bernadette Pogoda

要 點

- 貝類移植是入侵物種擴散和疾病傳播的主要原因，生態環境不同的水體之間應避免貝類移植。
- 入侵的生物在新環境中可能會引發無法預測的生態系統變化，並可能造成負面的生態和經濟影響。
- 貝類礁體修復有許多正面的生態效益，不應被生物安全考慮不周的貝類移植行為所影響，因此修復工作必須遵守生物安全指導和最佳環境實踐。
- 修復棲息地時應避免引入外來物種。
- 成功獲得許可證的基本規則是：
 - (1) 儘早開始
 - (2) 經常溝通
 - (3) 持份者的參與
 - (4) 向經驗豐富的貝類修復群組尋求幫助。





圖4.1 美洲弓形履螺 (*Crepidula fornicata*)。相片提供: D.J. McGlashan

生物安全

貝類等水生物種在不同水體間的移植是導致入侵物種、寄生蟲、疾病、細菌和病毒傳播的主要原因。此類有害生物的傳播可能會對生態環境造成不可逆轉的破壞性影響，尤其是牠們在新環境中成為有害生物的情況下。因此，對所有涉及移植貝類物種（或其貝殼）的貝類礁體修復項目而言，採取生物安全預防措施是必不可少的步驟。

寄生於海洋貝類（尤其是蠔和青口）的天然病原體和寄生蟲有很多種（Bower *et al.* 1994）。此類寄生蟲和病原體在本地貝類種群（源種群）中往往感染率低，不引人注意，因此很難準確發現，但是一旦擴散到新環境中就會造成嚴重影響。

過去，水產養殖和漁業增殖放流是水生物種進入新地區的主要源頭。現在貝類礁體修復工作可以借鑒過去的經驗，並應儘力採用最佳環境實踐和技術，確保達致生物安全的高標準。

入侵物種

除了寄生蟲和病原體，為了修復而將活體貝類和相關材料移植至新水域時，還存在意外引入其他物種的風險。最大的風險來自於被移植的貝類外殼上附著的生物污染物種。這方面的一個例子是1800年代後期隨著美洲牡蠣 (*Crassostrea virginica*) 進口意外引入歐洲的美洲弓形履螺 (*Crepidula fornicata*)，時至今日歐洲有部分地區的美洲弓形履螺密度仍然非常高，其產生的大量廢物常常會令當地的底棲群落被覆蓋而缺氧。這些美洲弓形履螺可能會與貝類物種競爭食物、或意外吞食貝類幼蟲，從而進一步對貝類礁體修復產生不良影響（圖4.1）。

如果計劃移植的貝類物種現在未有分布於擬修復區域，並且在該處亦無歷史分布，那麼引入該種貝類可能會造成意外的生態紊亂。例如，1970年代，歐洲引入太平洋牡蠣 (*Crassostrea gigas*) 進行養殖，如今這種蠔已在歐洲多處建立起野生種群，並帶來了一些問

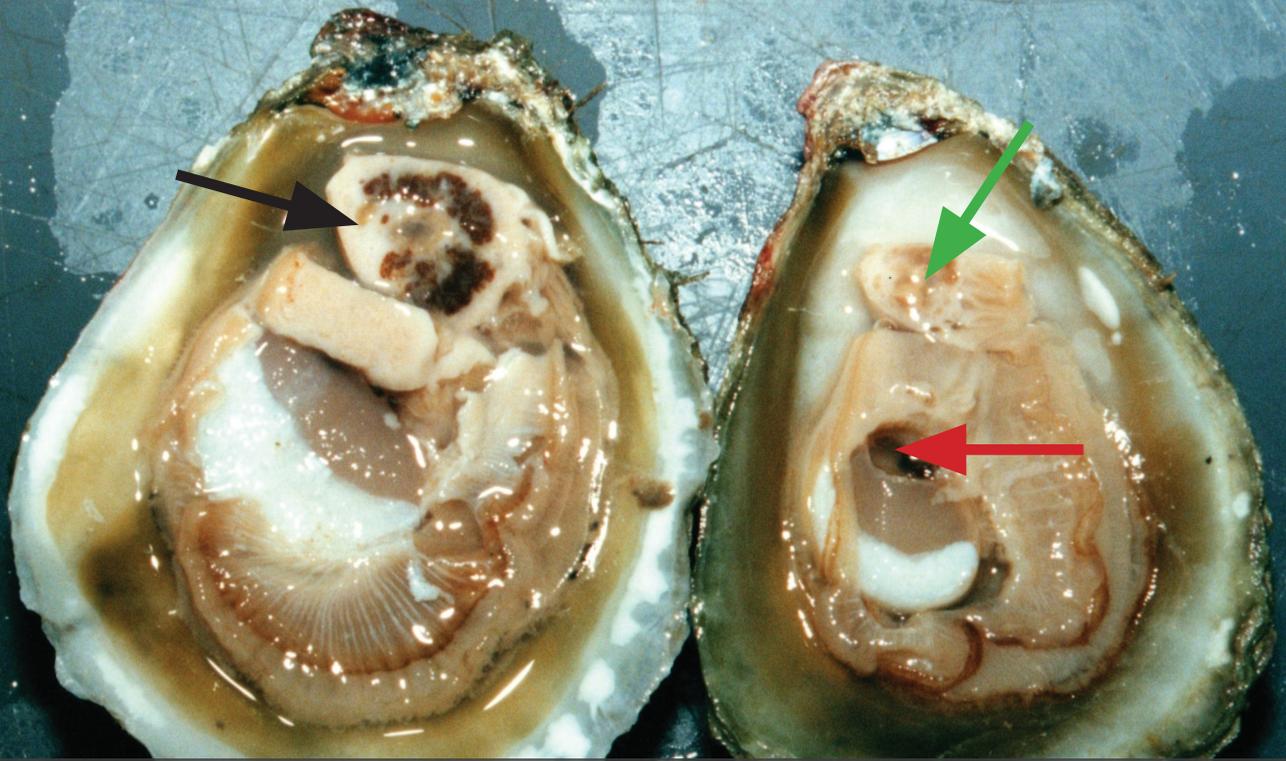


圖4.2 感染波納米亞蟲病的布拉夫牡蠣 (*Ostrea chilensis*)。左邊健康的蠔有深色的消化腺和正常大小的性腺 (黑色箭頭)，右邊的蠔則感染了包拉米蟲病 (*Bonamia exitiosus*)，消化腺和性腺相對較小和顏色蒼白 (綠色箭頭)，心臟增大 (紅色箭頭)。相片來源: Ben Diggles

題。因此，不應考慮將貝類物種引入其自然範圍以外的地區 (Bartley and Minchin 1996)。

寄生蟲和病害

為提升貝類捕獲量而移植貝類或貝殼材料時，過往曾經發生過意外引入貝類寄生蟲和病原體的情況，這種情況常常導致具有重要經濟價值的貝類種群大面積受損，造成巨大經濟損失。

例如，平牡蠣可感染一種名為波納米亞蟲 (*Bonamia ostreae*) 的寄生蟲，這種致命的微生物和平牡蠣一起從北美的太平洋引入法國，並在養蠔場中廣泛傳播，造成持續損失，北歐的情況尤其嚴重。這種外來疾病造成某些種群的初步損失幾乎達 80%，說明蠔對這些害蟲沒有天然抵抗力，極易受到侵害。新西蘭的布拉夫牡蠣 (*Ostrea chilensis*) 也受到類似的影響 (圖 4.2)。

同樣，惡性的疱疹病毒是導致太平洋牡蠣死亡綜合症 (Pacific oyster mortality syndrome, POMS) 的病因。

2010 年，該綜合症首次出現在澳洲新南威爾士州，導致當地的太平洋養蠔業遭受重創。2015 年，這種病毒性疾病又傳播到塔斯曼尼亞州，造成當地太平洋蠔大量死亡 (超過 60%)，令該州支撐著澳洲其他地區養蠔業的幼貝出口因此停止。

有害物種一旦引入新的海洋環境，就算有根除的可能，難度也會很大。

因此，在移植貝類和貝殼等附著基材料時，防止引入有害物種是至關重要的。

針對可能已經存在貝類疾病或寄生蟲的目標修復區域，必須確定用於引種的親貝或者用於移植的源種群對此類病害有抵抗力，從而儘可能確保移植後的存活率。在發病最嚴重、持續時間最長的區域存活下來的貝類最有可能對此種病害產生最大的抵抗力，但同時又必須注意避免將此類疾病的病原體擴散至新的地區。因此，繁育出具有抗病基因但又不帶病原體的健康種群，對受病害影響地區的貝類移植非常關鍵。

貝類育苗場在研發和培育經認證的無病害種群方

面，正發揮越來越大的作用，此類健康種群能夠有效降低貝類病害傳播的風險。

為了修復礁體而將大量貝類物種移植至新的區域，可能會改變接收移植的地區現有本地種群的遺傳多樣性和對當地的適應性。兩個群體之間的後續基因混合可能會降低基因混合種群的適應力。

例如，研究發現經選擇培育出來具有抗病性的美洲牡蠣品種在原產地的生長和存活率是最高的，然而一旦離開原產地，這些優勢往往隨著距離的增加而減少。如果把這些蠔移植到更遠的地方，和當地現有的蠔種群雜交，可能導致最終產生的蠔對當地環境條件的適應力降低。

在某些地區，例如澳洲南部和歐洲，貝類的原生種群已經在當地滅絕，所以不可能找到適應當地環境的親貝。

如果可能的話，最好使用當地貝類種群作為修復的根基，避免意外引入貝類病害和遺傳干擾的風險。對貝類種群遺傳結構的高精密度科學研究，是確定計劃用於礁體修復的貝類源種群與接收種群間可能存在的基因差異的最佳指導。在缺乏種群遺傳學資料的情況下，應儘可能使用來自同一地理區域、並且水體直接毗連的野生貝類種群。如果修復工作必須將貝類移植到相距較遠的地點，在開始前則需要進行仔細評估。

一些地區對此類詳細評估有強制性要求，其中可能還涉及向管理機構取得正式的許可，或是需要由區域性的生物安全機構進行評估。即使沒有強制要求也應進行評估，從而避免貝類移植時意外引入寄生蟲或病害，反而對環境造成弊大於利的影響。

此類評估通常需要專家鑒定，以評估移植貝類的潛在負面影響，一般包括比較來源地和擬進行修復的移植接收地區的寄生蟲和病害情況。要找到貝類病害和寄生蟲領域的合適專家可能具有一定挑戰性，尤其是對社區主導的貝類修復項目而言。此類人才往往就職於監管機構、大學或者其他水生生物科研機構，如果監管機構無法提供指導，可以向水生生物研究人員尋求幫助，他們往往能提供適當的專業知識和指導。

評估的結論可能會是建議採取若干個減少貝類移

植風險的操作規範（如 ICES 2008；CEFAS 2009）。評估中用到的操作規範可能包括：事先檢測貝類是否有病害，投放到目標地點前對移植貝類進行處理（消除貝殼內外的生物體），以及禁止將貝類從已知的病害感染區轉移至目前無病害的地區。

這正是目前平牡蠣已感染波納米亞蟲病的歐洲各地以及澳洲部分地區，蠔的移植受到限制的原因。

在獲准進行貝類移植的情況下，使用淡水或弱醋酸（醋溶液）對貝類進行浸漬或噴灑，可以消滅生物污染，如入侵的海鞘、海藻和帚蟲等，防止其轉移到其他地點。

與移植活體貝類一樣，移動和投放以貝殼為材質的附著基，在某種程度上也存在類似的風險。貝殼回收項目中收集來的貝殼材料若未經處理，可能會帶有活體害蟲或孢子，因此在投放前也應進行生物安全處理。

雖然各地規定不盡相同，但多種措施，例如加熱處理、氯處理、長時間浸泡在淡水中，或在戶外經歷長時間風化曝曬等，都可以消滅貝殼材料上附著的物種和病原體，或是至少能將其減少到可接受的水平，從而大大降低有害物種意外轉移的風險。若有大量貝殼需要處理，除非貝殼是貝類加工的副產品，且經過充分的高溫處理，否則在內陸地點進行長期風化曝曬可能是唯一價廉物美的方法，通常建議最少要經過 6 個月的風化處理。例如，羅德島生物安全委員會規定貝殼材料的風化期為 6 個月，貝殼材料攤平厚度小於 6 英寸或 15 厘米的情況下，每 2 個月要翻動一次，貝殼層更厚的情況下則需要每個月翻動 2 次（圖 4.3），溫暖氣候下則無需翻動這麼頻繁。

雖然這些措施看似是增加了貝類修復的複雜程度或障礙，但意外引入有害物種所帶來的生態和聲譽損失可能會遠甚於當地貝類礁體修復所帶來的益處，因此這些措施不容忽視。

許 可

一個成功的修復項目具備很多要素，其中，獲得許可的過程中所花費的時間和精力往往是被低估的。在許多司法管轄區，許可證是由自然資源管理機構簽發



圖4.3 美國羅德島 (Rhode Island) 的社區成員正在處理用於投放的回收貝殼。相片提供: John Torgan

的，這些機構肩負著保護公共資源的責任，要考慮修復工作可能產生的所有影響。完成許可流程需要申請人和審核人員對整個項目和修復過程有著充分的瞭解。

申請許可的過程中可能會出現一些複雜情況。從事修復工作的人們往往沉浸在修復過程中，或是忙著量化修復棲息地的生態效益，但管理機構的成員可能對海洋棲息地修復知之甚少。這種情況下，僅靠填寫表格來完成申請可能是不夠的，應考慮向監管機構詳細介紹具體的修復目標和益處。

建議通過修復網絡，吸引曾經與監管機構交手的合作夥伴加入，因為他們更瞭解監管機構可能關心或擔心的問題，有助於促進監管機構認可修復工作。

通常來說，在沒有開展過貝類礁體修復的地區，監管機構可能無法確定他們之間誰有權發放許可證，甚至需要多少個機構簽發許可。管轄權一般取決於所選定的修復地點的所屬類型，以及該地點內現有的管理制度，如沿岸水域、離岸水域、海洋保護區、多用途區域和漁場。

因為修復活動是相對新興的活動，所以很少地方有針對「修復活動」的許可證。這就意味著，至少一開始的時候，擬開展的修復項目有可能會被歸類到現有類別的類似或者相關的活動中。這些許可程序往往與其他活動相關，例如水產養殖、漁業、生物安全或海洋建設等。

在美國，貝類礁體修復項目擁有較長的歷史，各地的許可申請程序都十分繁複，且各不相同。大自然保護協會 (TNC) 曾委託機構對 21 個沿海州府的貝類修復許可程序進行盤點 (Mississippi-Alabama Sea Grant Legal Program and National Sea Grant Law Center 2014)。此次盤點描述了各州可能影響貝類礁體修復的監管環境，並將其分為 5 大類，之下再分 18 個類別。由此可見，美國各地影響貝類修復活動開展的監管制度存在巨大差異。

從業人員必須儘力熟悉監管程序，並促進監管人員瞭解貝類礁體修復的歷史和效益、以及即將申請許可的項目的本身。在不熟悉監管許可要求的情況下，基

本建議如下：

1. 儘早開始
2. 經常溝通
3. 加強持份者參與
4. 向有經驗的貝類修復網路尋求協助。

在對貝類礁體修復不熟悉的司法管轄區中，讓監管機構的工作人員和其他持份者從初步規劃和概念開發階段參與到整個修復項目，會有很大的益處。提供修復項目旨在達成的參照生態系統或模型明確構思和描述（詳見第三章），也有助於與監管機構之間的溝通，讓他們瞭解修復項目將來要達到的預期狀態。

項目規劃和許可階段經常出現的一個需要考量的因素是，在修復後修復區域內是否允許貝類捕撈。過度捕撈是導致貝類種群數量急劇下降的主要威脅，但許多轄區往往沒有相關法律框架來禁止修復區域內的捕撈行為，儘管修復項目的次目標就是為周圍漁業資源增補幼苗。因此，建議項目負責人員熟悉能對修復項目邊界內漁業捕撈行為進行管理的法律和社會框架，從而維持貝類修復工作的完整性。

在某些轄區，可能還需要額外尋求某些團體或個人的批准，而且這一過程可能不會像向政府機構提交書面申請書那樣簡單直接。例如，全球許多地區的原住民團體對沿海資源都有著歷史和（或）法定管轄權，其中可能包括對潮間帶和貝類的傳統業權或優先使用權。原住民持份者一貫與沿海資源有著密切的關係，往往對貝類資源有高度的瞭解，通常是寶貴的資料來源，也可以成為支持修復工作的強大盟友。儘早徵求原住民持份者的意見，在整個海岸帶修復項目中保持原住民的參與和對話，往往是成功的關鍵。

另外，還需儘早識別出社區中可能受修復項目影響的其他群體，徵求他們的意見，相關人士可能包括商

業捕撈業和休閒漁業人士、潮間帶土地業主或租客，或者水產養殖經營者等。促進與社區內所有相關群體公開對話，往往有助於提高他們對修復項目的支持度和認可度，也便於完善項目規劃，同時也能夠提高公眾認識，促進其更為積極的參與到解決沿海環境問題的行動中。

參考文獻

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

貝類礁體修復實踐

Stephanie Westby、Laura Geselbracht 和 Bernadette Pogoda

要 點

- 瞭解擬修復地點是否補充量受限、底質物受限，或兩者兼而有之，這一點至關重要，將指導修復方法的選擇。
- 移植到修復礁體上的貝類可能來自育苗場、池塘或當地親貝。
- 用於構建修復礁體的底質物有很多種，需要在瞭解當地物理屬性條件以及社會和監管因素的基礎上從中做出選擇。
- 病害可能會是貝類礁體修復過程中需要考慮的因素，需在修復開始前對其有所瞭解。

引 言

成功的修復方法需根據物種、規模以及當地生物、生態和物理屬性條件而定，地方監管和社會因素也很重要。從國內外先例中吸取經驗固然有用，但關鍵還是要考慮如何因地制宜地進行調整，以適應具體的區域或地點。瞭解當地參照生態系統的物理特徵和基本功能（礁體斑塊面積、礁體高度、產卵季節、蠔的密度、抗病能力、魚類和無脊椎動物的群落組成等）有助於決定修復生態系統所需要的技術方法，包括自然再生、輔助再生和生態重建等。採用這些方法前，必須消除或減輕造成退化的原因或威脅。這些不同的方法可根據其針對的問題，大致概括為以下幾種：缺乏礁體底質物、缺乏補充量、病害、或者以上各種問題同時存在，共同阻礙了貝類礁體的自然修復。

確定適當的修復行動

通常而言，需要修復的地區不是「補充量受限」，就是「底質物受限」，或兩者兼而有之（Brumbaugh and Coen 2009），需要進行輔助再生或生態重建（Gann et al. 2019）。補充量受限的環境周圍缺乏足夠的親貝（成熟且具備繁殖能力的目標貝類）來自自然補充到現有的礁體結構。底質物受限的環境缺乏可以供幼貝類幼蟲附著的礁體結構。如果可以在擬修復點附近的船塢、碼頭、橋墩、海堤等處觀察到有大量野生貝類附著，則說明該區域更有可能是底質物受限而非補充量受限。修復點也常常會同時面臨底質物受限和補充量受限的

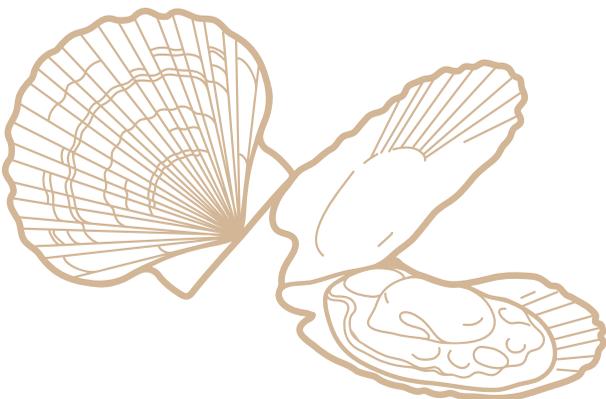




圖5.1 香港吐露港榕樹澳放置的附著板。相片提供: Lori Cheung

問題，瞭解當地到底是哪種問題，或者是兼而有之，有助於決定使用何種修復手法。

解決補充量受限的技术

在補充量受限的地區，從業人員需要往礁體上人工添加目標貝類，可以是成年貝類，但更常見的做法是補充幼年貝類（俗稱「幼苗」）。幼年貝類往往比成年親貝更容易獲得；在進行大規模修復（0.5公頃及以上）時更是如此。如果不確定所在地區是否為補充量受限環境，建議使用附著板收集貝類幼體附著率的資料。可以諮詢一下當地的學者、研究人員或資源養護管理人員，可能已經有人做過調查了。如果沒有任何現有資料，那麼建議從業人員在多個不同的潮汐位置放置附著板，並且每月檢查（圖 5.1），最好持續 1 年或更長時間，以瞭解季節性高峰。但如果時間或資源有限，則至少在預計的產卵季節（通常是春季到夏末）之前放置附著板。

幼苗來源包括育苗場（幼貝繁育設施）、池塘以及使用附著基收集的野生幼體（將附著基放置於高補充量地區，被貝類附著後轉移至修復點）。

育苗場可以生產「無附著基」苗（即單體苗，附著在一顆沙粒或微小殼片等非常小的附著基上），也會生產「附著基」苗（一個或若干個幼體附著在空貝殼等較大塊的附著基上）。修復工作通常使用的是附著基苗，因為這樣與天然幼蟲附著在前幾代貝類的殼上所形成的自然礁體結構相似。相比小型的無附著基苗，附著在較大的附著基上的幼苗比較不容易被捕食。而無附著基苗通常用於貝類養殖，尤其是網箱或網袋養殖，作為單一獨立個體更容易管理。一種常見的附著基苗是「附殼幼體」，即一個或多個幼貝附著在同一物種的單個空殼上（圖 5.2）。貝殼材料可以通過貝殼回收，從商業貝類加工場或餐館獲取，但必須要在陽光下風化處理至少 6 個月，確保消除可能攜帶的病原體（見第四章）。

育苗場常先繁殖出貝類幼蟲，然後將牠們放入裝

有附著基的大型水箱中，讓幼蟲「定居」（附著）在附著基上。一些育苗場可能也會出售未附著的幼蟲，這種幼蟲比附殼幼體更容易運輸（例如，就美洲牡蠣 (*Crassostrea virginica*) 而言，生產 11,400 公升水箱量的附殼幼體僅需要一團青檸大小的幼蟲）。從業人員可以從育苗場直接購買幼蟲，然後在別處建立一個小型的遠端著苗設施，讓幼蟲附著到附著基上 (Congrove *et al.* 2009)。但遠端著苗技術可因物種而異，比如，迄今為止轉移歐洲平牡蠣 (*Ostrea edulis*) 幼貝的死亡率仍為 100%。另一種可行的方式是將幼蟲直接投放到現存合適底質物的修復點 (Leverone *et al.* 2010; Fredriksson *et al.* 2016)。當地育苗場的年生產力是另一個需要

考慮的因素，育苗場每年的產量（幼苗、幼蟲或兩者的組合）通常是有定數的。若沒有事先通知或沒有足夠的準備時間，他們可能難以滿足額外的需求量。因此必須和育苗場管理人員討論項目計劃，從而確定所需數量的可行性和生產時間。

在歐洲，傳統上是在池塘裡生產貝類幼苗 (圖 5.3)。將親貝放置在水位較低的封閉池塘裡，塘內溫度的上升可以令貝類成功繁殖以及確保有充足的天然浮游植物作為食物供應。池塘裡放置著附著基，親貝生產的幼蟲就會附著其上。可使用的附著基有多種，包括人工底質物和預製礁體結構。著苗後再將附著基取出，運送至修復點。



圖5.2 育苗場生產的美洲牡蠣 (*Crassostrea virginica*)，前面為附著基及附殼幼體（紅色箭頭）。經過一段時間的生長，附著基上就會長出成熟的蠔。相片提供：馬里蘭大學環境科學中心Horn Point Hatchery



圖5.3 在愛爾蘭科克市 (Cork) 用作生產歐洲平牡蠣 (*Ostrea edulis*) 幼苗的池塘。相片提供: Shmuel Yozari

直接移植天然（有時也稱「野生」）的貝類幼苗是補充礁體的另一種方式，有時也許會比育苗場更可行、成本效益更高、更易於大規模應用（Southworth and Mann 1998）。這項傳統手段需要將附著基放置在補充量高的地區，以捕捉自然繁殖的幼蟲，然後再將著苗後的附著基轉移至修復點。這種方式利用了該地區的現存本地親貝和其天然繁殖的幼蟲，許多地區的私有貝類礁體都是用這種方法補充種苗的。建議諮詢當地水產養殖專家或貝類生物學家，詢問合適的附著基放置地點，並瞭解當地的許可申請相關問題。

無論幼苗是來自育苗場、池塘、還是天然種苗，都要對轉移貝類的高死亡率有心理準備，這是將仍然非常小的生物放置到礁體環境中必然會發生的情況，而運輸和搬動都可能提高死亡率（另見方框 5.1）。例如，在一項大規模修復方案裡，預計育苗場生產的附殼幼體第一年的死亡率為 85%，而之後每年的死亡率為 30%（Maryland Oyster Restoration Interagency

Workgroup 2013）。

修復礁體時投放幼苗的密度示例見表 5.1。

方框5.1: 在較冷的氣候條件中修復貝類礁體

如果工作地區的冬季氣溫會降到冰點以下（即使只是偶爾發生），且屬於補充量受限環境，那麼開展潮間帶的修復項目時就要謹慎。許多貝類物種一旦暴露在寒冷的空氣中就會凍死，哪怕只是一次低溫時間（如極端的退潮加上極冷氣溫），死亡率很可能接近 100%。

當然，只要礁體結構還在，且本地補充量充足，那麼礁體就可以自我修復，損失只屬短期性的（圖 5.4）。但請注意，如果該地區補充量受限，那麼每次受凍後就需要往潮間帶的蠔礁上不斷補充目標貝類，才足以維繫一個貝類種群。



圖5.4 位於Chesapeake Bay南部的潮間帶蠔礁由球形礁體組成，相片顯示為中等的潮水位。雖然這裡冬季的溫度偶爾會達到冰點，但天然的蠔類補充量足以在低溫導致蠔隻死亡後重新補充礁體。相片提供：Stephanie Westby

表5.1: 在補充量受限地區修復貝類礁體投放的幼苗密度示例。

地區 (礁體名稱)	貝類物種	幼年或成年貝類?	幼苗初始投放密度	修復後的目標蠔密度
美國大西洋中部海岸 Chesapeake Bay 及 Harris Creek	<i>Crassostrea virginica</i>	幼年	每公頃1,250萬	每平方米15到50個
英國埃塞克斯郡 (Essex)	<i>Ostrea eduli</i>	成年	每平方米3個	每平方米5個
荷蘭北海	<i>Ostrea eduli</i>	成年	每平方米10個	未知
德國北海	<i>Ostrea eduli</i>	幼年	每公頃100萬	每平方米15到50個
澳洲維多利亞州 Port Phillip Bay	<i>Ostrea angasi</i>	幼年	每公頃75萬	每平方米50個
澳洲南澳州 Windara Reef	<i>Ostrea angasi</i>	幼年	每公頃35萬	每平方米50個

貝類苗圃項目（在碼頭上使用浮筏或網箱養殖貝類，之後移植到修復區域）可以為小型修復項目提供成年親貝（圖 5.5）。如果當地已有此類項目，請諮詢項目營運者瞭解如何獲取修復礁體所需的貝類。如果沒有此類項目，從業人員可以啟動一個苗圃項目，但要意識到用於苗圃的貝類仍需來自育苗場、池塘或天然幼苗。

養蠔苗圃可以增加當地的親貝數量，為補充量受限的系統提供幼蟲（Brumbaugh *et al.* 2000a,b）。

養蠔苗圃的另一個好處在於可以鼓勵當地社區參與礁體修復，提供親身參與的自然教育體驗。在礁體大多位於潮下帶的地區（像歐洲等地），這可能是為數不多的能讓社區參與目標物種修復的方式。



圖5.5 澳洲昆士蘭州Pumicestone Passage的Bribie Island社區養蠔苗圃項目。相片提供: Ben Diggles

解決底質物受限的技術

在底質物受限的地區，從業人員需使用合適的底質物構建礁體（圖 5.6）。（如果該地區同時存在底質物受限和補充量受限的情況，則需先構建礁體，然後按上文所述引入幼貝）。

選擇造礁底質物時，需充份考慮當地的生物和非生物環境、社會因素以及材料是否容易獲得。有關文獻綜述了在美國使用的底質物材料（包括瓷器、混凝土、穩定後的煤灰、石頭、貝殼以及工程結構）（NOAA 2017）。表 5.2 列出了美國、歐洲、中國大陸和香港，以及澳洲的項目使用到的材料及其成本。

選擇礁體材料時需考慮的因素包括：

- **補充量：**目標貝類是否會附著在選定的礁體材料上？
- **波浪能：**波浪能量高的區域通常需要體積更大、更耐用、更重的底質物以保證耐久性。
- **水深：**貝類礁體是否位於潮下帶（即在潮水極低的情況下，礁石也浸沒於水下）還是潮間帶？潮間帶礁體極易被表層波浪影響，哪怕是很小的波浪，因此建造時必須加固以承受波浪能。位置較淺的潮下帶礁體也可能受到表面波浪能的影響，使用輕質材料（貝殼、小石頭）建造的礁體可能會被沖散，失去立體結構或徹底消失。



圖5.6 美國Chesapeake Bay的Elizabeth River項目，駁船正在投放用於修復貝類礁體的貝殼和石頭。
相片提供：Joe Riege

- **底質特徵：**重量大的礁體可能會陷入軟泥中，而貝殼或其他硬質底質物則可能可以支撐礁體重量。
- **修復項目的目的：**例如，若修復礁體是為了防護海岸線不受侵蝕，則需使用能夠發揮該功能的建造材料。
- **沉積物：**如果礁體位於沉積物淤積速率高的區域，則應建造有較大起伏的礁體。理想情況下應選擇沉積物少的區域。
- **禁捕區狀況和公共衛生：**該地區是否允許貝類捕撈？選定的礁體材料是否會妨礙捕撈？如果該地區因食品安全原因禁止捕撈貝類，那麼所選擇材料是否有助於防止非法的貝類捕撈？
- **漁具限制：**該地區是否允許海底拖網捕撈？所選材料是否會損害漁具，或防止捕撈？
- **修復點的保護狀況：**選用的礁體材料和設計是否與該地的保護狀況相符（例如海洋保護區、禁捕區、歷史遺跡）？需要考慮礁體材料可能會發生的自然移動，以及其可能對附近保護區或重要事物帶來的影響。
- **公眾和監管部門對材料的接受度：**公認的天然材料（如貝殼、石頭和黏土）可能比其他材料（如爐渣、混凝土、再生瓷器和塑膠）更能獲得公眾和監管部門的認可，但各地的觀點可能大不

相同。因此，通過諮詢監管機構、當地社區和持份者，對選擇礁體材料至關重要。

- **用戶群體衝突：**礁體材料是否會干擾（或有助於）休閒漁業或商業捕撈業（不論是目標魚種或其他物種）？是否會干擾行船或影響岸邊觀賞的景觀？即使當地曾經存在貝類礁體，現時的用戶可能習慣於或更喜歡生態系統當前的外觀或功能。
- **礁體材料獲取和投放：**特定材料可能非常適合某個修復點，但無法在當地獲得。材料成本、運輸成本和後勤物流都是必須考慮的因素。在淺水中作業，放置少量、輕材質的底質物可以以人手操作（須在安全的前提下），而在深水中投放大量重材質的底質物則需使用起重機和駁船。
- **材料成本：**不同材料的成本可能有很大差異（詳見表 5.2 中的例子）。

針對補充量受限和底質物受限的解決辦法有很強的季節性：育苗場和池塘可能只在特定季節生產；天然附著也是季節性的；如果投置時間與目標物種的產卵週期不同步，原本專門設計用來讓天然幼蟲附著的底質物上有可能會被非目標的物種覆蓋。建議就季節性問題諮詢當地漁民，或者來自相關機構、非政府組織或學術機構的貝類生物學家，可能會有所幫助。



香港流浮山的貝類礁體投放。相片提供：歐陽凱

表5.2: 近期貝類礁體修復項目的成本, 僅計算礁體材料(底質物) 購買和投放費用; 不包括規劃、設計和申請許可所需的成本, 以及將幼苗投放到礁體的費用。

物 種	項目名稱和所在地區	礁體大小 (公頃)	礁體高度 (米)
美洲牡蠣 (<i>Crassostrea virginica</i>)	美國東岸Chesapeake Bay的 Harris Creek	礁體大小不一, 从0.4到4.8 公頃不等, 总计30公頃 (哈 里斯溪还使用其他材料建 造了额外的礁體)	0.3
美洲牡蠣 (<i>Crassostrea virginica</i>)	美國東岸Chesapeake Bay的 Piankatank River	10	0.46
美洲牡蠣 (<i>Crassostrea virginica</i>)	美國東岸Chesapeake Bay的 Piankatank River	6	0.15
美洲牡蠣 (<i>Crassostrea virginica</i>)	美國墨西哥灣的Biloxi Bay	0.01	1.1
歐洲平牡蠣 (<i>Ostrea edulis</i>)	英國埃塞克斯郡 (Essex) 的 Blackwater、Crouch、Roach 及 Colne河口	0.12	0.3
歐洲平牡蠣 (<i>Ostrea edulis</i>)	北海German Bight的 Borkum Reefground	0.04	0.3-1
安加西牡蠣 (<i>Ostrea angasi</i>)	澳洲維多利亞州Port Phillip Bay 的Margaret' s Reef及 Wilson Spit	2.5	0.3-1
安加西牡蠣 (<i>Ostrea angasi</i>)	澳洲南澳州Gulf St Vincent的 Windara Reef	20	0.7-1
近江牡蠣 (<i>Crassostrea ariakensis</i>)、 熊本牡蠣 (<i>Crassostrea sikamea</i>)	中國浙江省三門礁	1	1
香港牡蠣 (<i>Crassostrea hongkongensis</i>)	香港后海灣流浮山礁	0.06	0.3
一些會有自然補充的貝類——如比 利尼塔牡蠣 (<i>Crassostrea bilineata</i>) 和翡翠股貽貝 (<i>Perna viridis</i>)	香港吐露港榕樹澳礁	0.0015	6

* 此合作項目由以下機構合作進行: 倫敦動物學會、大自然保護協會 (TNC)、埃塞克斯大學、愛丁堡大學、英格蘭自然署 (Natural England)、英國環境漁業和水產養殖科學中心 (Cefas)、英國環境署 (Environment Agency)、Tollesbury and Mersea Oyster Company、Colchester Oyster Fishery、Kent and Essex Inshore Fisheries and Conservation Authority、Essex Wildlife Trust、River Roach Oyster Company和Blue Marine Foundation。

礁體材料	礁體位置 (近岸/河口; 離岸)	每公頃成本 (材料 + 投放) (美元)	修復後的實際 礁體佔比 ** (每公頃)	礁體建造施工機構
直徑7到15厘米的 石頭, 以及海螺、 蜆和扇貝貝殼	近岸/河口	\$235,000	100%	U.S. Army Corps of Engineers (聯邦機構)
平均直徑30厘米的 石頭	近岸/河口	\$200,000	40%	U.S. Army Corps of Engineers (聯邦機構)
平均直徑5厘米的 石頭	近岸/河口	\$37,500	100%	大自然保護協會 (TNC)、 Virginia Marine Resources Commission (州政府)
Oyster Castles預 製混凝土結構	近岸/河口	\$2,400,000	33%	大自然保護協會 (TNC)
石頭和貝殼 (扇貝 和泥蚶) 混用	近岸/河口	\$217,235	100%	Essex Native Oyster Initiative
石頭、多種貝殼、 立體列印的砂石	離岸	\$570,000	75%	Alfred Wegener Institute與 Federal Agency for Nature Conservation*
平均直徑40至50厘 米的石灰岩和多種 貝殼	近岸/河口	\$85,000	15%	大自然保護協會 (TNC)
平均直徑20厘米的 石灰岩	近岸/河口	\$123,700	6%	大自然保護協會 (TNC)
直徑10至40厘米的 石頭	近岸/河口	\$8,555	0.8%	大自然保護協會 (TNC) 和中國水產科學研究院東海 水產研究所
粗糙的混凝土樁	近岸/河口	\$85,690	10%	大自然保護協會 (TNC)
回收貝殼	近岸/河口	\$3,427,000	100%	大自然保護協會 (TNC)

** 一些項目的礁體底質物完全覆蓋底面積，本欄用「100%」表示這種情況。還有一些項目在構造礁體時，其底質物材料僅覆蓋整個範圍的一部份，如礁體呈長條狀，這種情況下則小於100%。

選址的技術

從業人員應牢記，成功的礁體選址要既能滿足目標物種的生物需要，也能符合當地社區的利益（例如：對礁體材料的接受度、用戶群體衝突、法規遵守情況）。如果僅以其中一個、兩個因素作為礁體選址的依據，可能會影響項目成效。用於確定礁體選址的考慮因素與選擇礁體材料有所重疊（請參閱上文中「選擇礁體材料時需考慮的因素」列表的各點）。

貝類修復項目選址時還需考慮的其他因素包括：

- **擬修復點是否曾經存在目標貝類物種（即歷史分布）：**尋找證據證明目標貝類物種曾經存活於該地區，可以是歷史地圖、資料集，或擬修復地點或附近找到的遺留貝類底質物。
- **水質：**確定該地區溶氧量、溫度和鹽度是否適合目標物種，相關資料可從當地學者、管理分水嶺的組織或政府處獲得。
- **水深：**謹慎決定擬建礁體應為潮間帶或潮下帶，這一點在氣溫可能降至冰點以下的地區尤為重要（詳見方框5.1），這也會影響到礁體材料的選擇。決定礁體的位置和高度時，需考慮是否與當地航道和船隻往來存在潛在衝突。
- **生物因素：**向研究人員或資源管理者瞭解目標物種在當地的食物供應以及是否存在捕食者等問題。
- **總體可行性：**考慮礁體材料供應、運輸、後勤物流、公眾接受度、監管框架、目標物種及其他物種的捕撈狀況、和用戶群體衝突。

試點項目

選址一旦確定，下一階段的修復工作就是開展試點或概念驗證項目，以驗證貝類修復項目在該特定地點是否可行。試點屬於小型項目（一般為 10 平方米到 0.5 公頃），和大型項目的主要區別就是規模大小。試點項目應該經歷和大型項目一樣的可行性研究、設計、規劃、

公眾諮詢、許可申請、施工建設和監測。對試點項目進行監測不僅要確定礁體和目標物種的健康狀況，還要確定作為日後大規模修復工作目標的其他效益。

解決貝類疾病的技術

本節將討論影響貝類健康和生存的病害，其中某些病害可能並不影響進食者，但貝類攜帶的另一些傳染病（如創傷弧菌（*Vibrio vulnificus*）、毒藻、沙門氏菌（*Salmonella*）、志賀氏菌（*Shigella*）和會形成毒素的細菌）可能不會影響貝類自身，卻對食用貝類的人類有害（尤其是生食）。某些病害可能導致貝類種群的大量死亡，它們也可能會寄居在修復項目的礁體上。常見的貝類病害包括波納米亞蟲病（*Bonamia*）、馬爾太蟲病（*Marteilia*）、海水派金蟲病（dermo）、疱疹（Herpes）、冬季死亡病（Winter Mortality Disease）、昆士蘭未知病（Queensland Unknown, QX）、牡蠣幼貝疾病（Juvenile Oyster Disease）以及多核球未知病（Multinucleated Sphere Unknown, MSX）。這些由單細胞生物、細菌或病毒引發的疾病可能會給不同生命階段的貝類造成影響。因此，為了修復而轉移貝殼或活體貝類時必須考慮這一潛在威脅（更多關於生物安全的資料見第四章）。目前還沒有能夠在已出現病害的系統中徹底將病害根除的案例，因此，如果病害已出現於擬修復區域內，可以採取被動或主動的方法應對，具體如下。

帶病生存

對待病害的一種方法就是「順其自然」，也就是迅速推動修復工作，並做好修復點上的部份、甚至大多數個體都可能死於病害的準備。其背後的理論是：a) 現有的知識和實踐幾乎不可能減輕病害威脅；b) 病害可能導致較弱的、耐受力低的個體死亡，留下更耐受的（有希望是具有抗病能力）個體來繁殖後代。這種方法也會加速對其他適應性特徵的自然選擇，例如提升生長速度和存活率。這種情況下，修復工作最好使用曾經接觸過病害的本地親貝（詳見第四章）。儘管

這只是理論上的，但學術界的支持者認為，在疾病中倖存的貝類（即使很少）在培養種群整體抗病能力上是最具價值的。

選擇「帶病生存」時也要同時考量潛在影響貝類種群的其他壓力因素。例如，波納米亞蟲病雖然會導致大量死亡，但其在受感染種群中的流行程度似乎隨著外界壓力不同而有很大差異（van Banning 1991; Lynch *et al.* 2005）。

壓力因素可能包括：移植或搬運、鹽度或溫度條件不理想、食物供應不足、或者蠔的密度過高。目前，減輕外界壓力因素從而使帶病的蠔類種群恢復，這一概念尚未能完全解釋，仍需進一步理論分析和科學研究。

抗病能力

在疾病高發卻極為重要的蠔類生長地區，已開展了大量抗病能力的遺傳特性工作（Dégremont *et al.* 2015）。這項工作是為了提高水產養殖行業生產力，但修復工作者也可以利用這些改良。然而，從業者若想使用抗病貝類，就必須使用由育苗場培育的幼體，這有幾個重要因素需要考慮：在一個環境中抗病性最強的基因型換了環境後，對同種病害的抵抗力不一定是最強的。對一種病害有抵抗力的基因型不太可能對其他疾病也有抵抗力；當然，也有可能選擇同時對兩種疾病具有抵抗能力的基因型。抗病物種的開發需要專門的項目，提供設施和其他相應的支持。美國東



岸和澳洲已經開發出具有抗病能力的本土蠔基因型（Dégremont *et al.* 2015）。

貝類中的大型寄生蟲（橈足蟲和吸蟲）並不一定會對種群造成流行疾病或嚴重威脅。由於影響外殼美觀，水產養殖可能比較不歡迎牠們，但在修復項目中，如果對目標物種無害，那麼可將其視為自然生態群落的一部分。但也有記錄表明，吸蟲曾是導致蠔類大量死亡的原因（Hine and Jones 1994）。

著重於恢復具體生態系統服務功能的技術

生態系統服務功能通常被用來設定修復項目次目標，如果修復項目著重某一特定的生態系統服務功能，則其方法、技術和規模需要作相應的調整，例如：

- **海岸線防護/生態海岸：**應將礁體建在潮間帶。理想情況下，牠們可以促進鹽沼棲息地的穩固和生長，連通海底和海濱地帶棲息地，並能夠隨海平面上升而生長。相比潮下帶，潮間帶礁體需能夠承受更強的波浪能。目標貝類物種需能夠適應潮間帶環境。
- **過濾能力/提升水質：**為達到最佳濾水速率，礁體應建在潮下帶。每隻蠔隻淨化的水量取決於物種、蠔隻大小、沉積物量、溫度、鹽度和浸沒時間（zu Ermgassen *et al.* 2016）。脫氮和碳固存屬於額外效益，更多資訊詳見：<https://oceanwealth.org/tools/oyster-calculator>。
- **生物多樣性/魚類增殖：**應將礁體構造出複雜的立體生境，以最大限度為無脊椎動物和魚類提供定居、躲藏、覓食和產卵的結構和場所。關於修復後礁體帶來的單位面積魚類數量的增長，請參閱：<https://oceanwealth.org/tools/oyster-calculator>。
- **蠔業/捕撈：**礁體應建在底質物受限的地區，通過提供適當的底質物或附著基，提高目標貝類補充量。開放予蠔類捕撈則意味著這些底質物和附著基必須定期更換。

參考文獻

- 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

擴大貝類礁體修復規模

Boze Hancock、Simon Branigan 和 Stephanie Westby

要 點

- 從概念驗證和測試階段擴大至大規模項目時，需要對項目各方面都更加重視。
- 項目管理首要開展的步驟應是制定整個系統範圍的修復規劃。
- 修復規劃應包含社會和生態條件的梳理，包括選點適宜性評估、區域性目標以及所需許可。
- 要考慮大規模操作所需的後勤物流和機械設備，包括提高育苗場產量，識別、採購和運輸構建礁體所需的底質物，以及投放礁體材料和幼苗。
- 隨著規模的擴大，項目管理能力越來越關鍵，包括後勤物流監督、法律審查、訂立合同、維護對外關係和宣傳，以及公眾參與。
- 修復規劃應制定相應的監測方案。
- 就大型項目來說，建議進行經濟分析以證明修復帶來的投資回報。
- 需要為社區成員、政府、行業和企業合作夥伴創造參與項目的機會。



引言

貝類修復都始於小型項目，往往由社區主導，規模從幾平方米到幾百平方米不等。正如前幾章所述，這種規模較小的項目十分重要，通過「概念驗證」實驗對修復方法和手段進行檢驗，而且在新的地理範圍開始試點和測試新物種或方法時，仍發揮著作用，為後續大規模項目提供重要的借鑒（可同時參考 zu Ermgassen *et al.* 2016）。據記載，全球很多地區都出現了大規模的貝類礁體退化，只有開展更大型的修復項目才能逆轉這種損失。貝類礁體是退化最嚴重的棲息地類型之一，剩餘的貝類礁體生態系統通常還不到歷史水平的 10%，甚至很多低於 1%（例如 Beck *et al.* 2011）。無論修復項目的具體目標是什麼（生態系統服務功能或生物多樣性），都需要擴大到與棲息地退化程度相匹配的規模，才能在系統層面上產生影響。擴大項目規模不僅能夠提高其提供的服務功能效益（Bersoza Hernández *et al.* 2018），而且這些效益越顯著就越易於量化並得到社區認可。

前幾章概括介紹了為修復項目重要的早期工作，包括試點驗證、籌集資金以及進行預先規劃和可行性評估等。這些評估的關鍵組成包括識別衝突、合作夥伴以及他們的角色、生物安全和許可申請、以及解決主要威脅和知識缺口。儘管這些是所有修復項目都要考慮的問題，但對於大型項目而言，前期工作打好基礎亦非常重要，因為項目規模越大，情況就越複雜，成本也會越高，對協調、後勤物流安排和項目管理的要求也就越來越高，通常不可避免需要由承包商和合作夥伴承擔更多工作任務，而且需要在嚴格的時限內相互協調和適當排序。延遲可能會造成設備閒置，如果是每天花費數千美元、英鎊或者歐元的駁船，這將是一筆昂貴的費用。

大規模、高成本的項目也會有更加複雜的法律方面問題需要考慮，包括合理的合同制定和財務報告機制、勞工法、（工作地）衛生和環境安全考量等。即使在貝類棲息地修復歷史相對較長的美國，規模達到幾十、甚至幾百公頃的修復項目在大多數轄區也屬少見。雖

然這就意味著此類規模的貝類修復可能幾乎沒有現成的經驗可以借鑒，但其他類型的大型複雜項目也可以提供相當多的可供借鑒和複製的管理經驗。

大規模貝類礁體修復需要結合項目管理專長、對相關生物學知識的理解和對項目基本組成要素的熟悉，這包括了育苗場生產、管理海事承包商，以及維護發展外部關係和提高公眾意識等。例如 20 公頃左右的澳洲 Port Phillip Bay 及 Gulf St Vincent 項目，以及超過 100 公頃的美國 Chesapeake Bay 的 Harris Creek 項目，都突出了這些基本要素，而本章節將通過以下的案例說明這些要素的應用。

重要的是，近年來從業人員已經認識到，擁有明確的項目目標、監測方案和參照生態系統或模型（以從中瞭解生態系統屬性和功能、用於設定物理環境目標）是大規模項目成功的關鍵。本指南參考 SER 準則（Gann *et al.* 2019），為大規模修復項目提供了基本原則。



澳洲 Port Phillip Bay 的 Wilson Spit 位置上貝類礁體的投放。相片提供：Simon Branigan

案例研究：澳洲 Port Phillip Bay

背景

Port Phillip Bay 是位於澳洲南部維多利亞州的大型海灣，面積 1,950 平方公里，大部分海岸線屬於墨爾本和吉隆 (Geelong) 兩市 (圖 6.1)。生長在潮下帶的安加西牡蠣 (*Ostrea angasi*) 和紫貽貝 (*Mytilus edulis galloprovincialis*) 形成的礁體曾經是 Port Phillip Bay 海洋環境的主要特徵，然而，歷史上的過度捕撈，加上水質惡化、沉積物增加，導致貝類礁體大面積消失 (Ford and Hamer 2016)。現時，Port Phillip Bay 面臨底質物和補充量同時受限的問題，但仍殘存少量本地蠔和青口。

所有這些生態特徵都指明需對該地採取生態重建

措施 (見第五章和下文)。

2014 年，一項旨在修復 Port Phillip Bay 貝類礁體的長期項目啟動了。通過這個項目，大自然保護協會 (TNC)、維多利亞州政府、Albert Park Yachting and Angling Club (APYAC) 之間建立起了獨特的夥伴關係，並吸引了其他多個合作夥伴加入。最初啟動這個項目是因為 APYAC 俱樂部成員發現，1980 到 1990 年代間，他們最喜歡的海釣目標鯛魚物種——銀金鯛 (*Chrysophrys auratus*) 在當地貝類礁體上的捕獲量明顯下降，當中包括 Margaret's Reef。

成員對過度捕撈造成 Margaret's Reef 的退化，以及整個海灣健康受到影響的程度感到震驚。因此，俱樂部成員發起了一項可行性研究，在維多利亞州漁業部門牽頭完成 (Hamer et al. 2013)，通過文獻綜述、漁

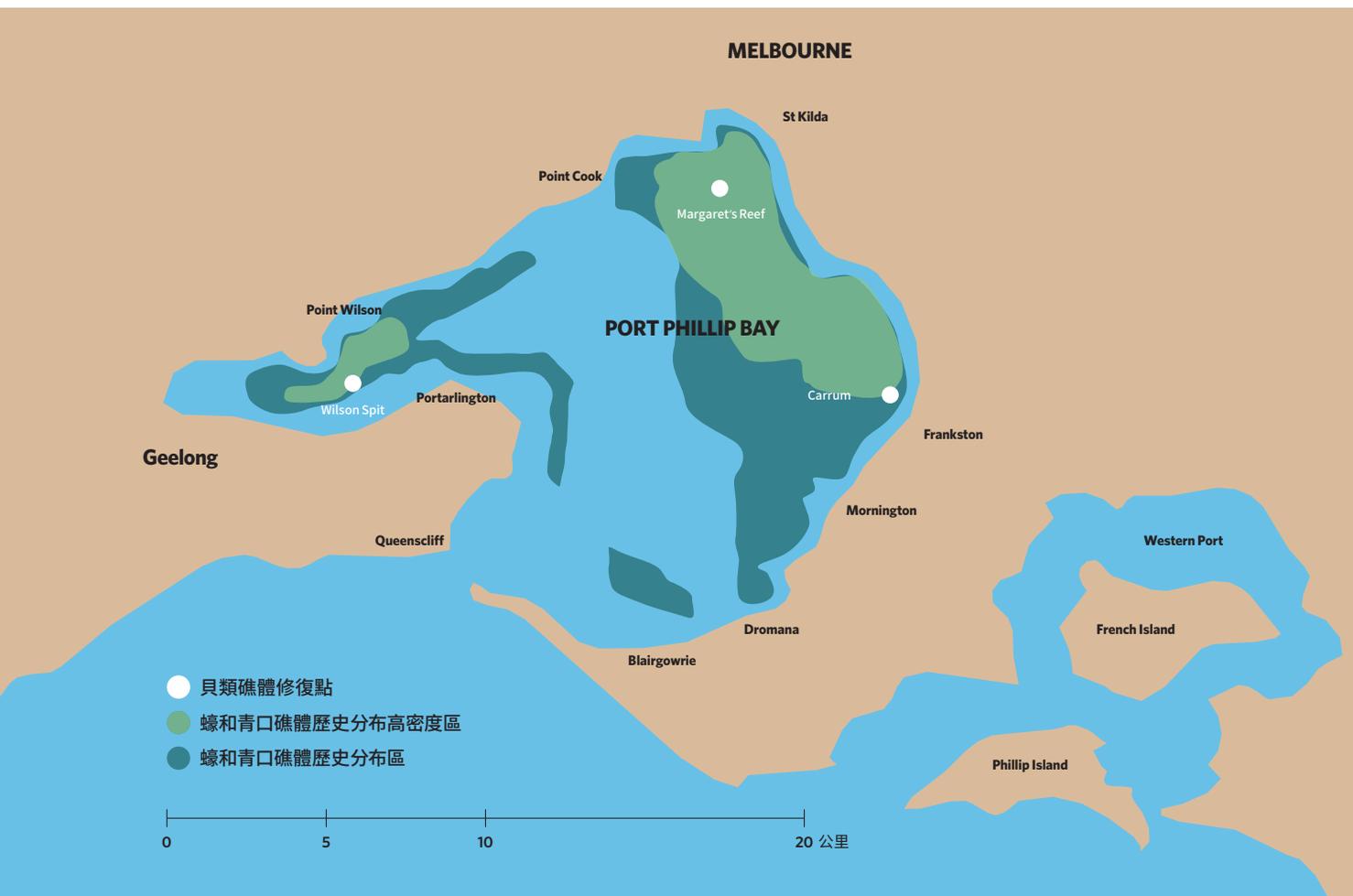


圖 6.1 Port Phillip Bay 地圖，包括貝類礁體歷史分布和修復地點 (修改自 Ford and Hamer 2016)。

獲記錄和漁民訪談，對 Port Phillip Bay 貝類礁體的歷史損失和退化前狀態進行了評估。研究還評估了修復面臨的主要威脅、漁民的支持程度、許可要求和選址等。

第一階段：試點項目

以可行性研究的結論為基礎，在獲得了必要的許可並得到基金會合作夥伴聯合提供的資金後，這個與墨爾本大學合作的試點項目正式啟動。第一階段在 Port Phillip Bay 的兩個地點進行小規模實驗，以確定最佳修復方法。修復技術基本從美國引入並根據本地情況進行調整以進行測試。

試點項目包括蠔和青口兩種貝類，並取得了一系列發現，其中包括證實了將蠔從海床上抬高（例如使用貝殼或碎石灰岩墊底），可以改善蠔的存活和生長。投放的蠔（即產自 Victorian Shellfish Hatchery 的附殼幼體）的年齡差異會影響存活率，但不同地點間存在差異。礁體底面積的大小和深度是減少邊緣效應、捕食、沉積和風暴影響的重要因素。初期針對青口礁體的實驗沒有使用任何底質物來提高礁床，而是投放了不同密度的青口，這種做法最終的存活率很有限。

擴大規模

從試點項目中得出的經驗教訓隨後被應用於第二階段，一個位於 Port Phillip Bay 內，面積 2.5 公頃的中等規模礁體修復項目。隨著項目規模擴大，項目管理工作也相應增加，其中包括例如：採購承包商服務、獲取礁體材料（如回收的貝殼、從採石場挖掘出的石灰岩）、合同草擬、重新制定修復目標、指標和基準、制定監測和評估方案以及獲得額外的許可證等。

要找到合適的地點將礁體底質物材料裝載到投放用船隻（如駁船或多用途船隻）上是一項很有難度的工作，建議在規劃時及早加以考慮，以免成為項目瓶頸。另一個潛在的瓶頸是育苗場的生產能力。Port Phillip Bay 的一大優勢在於修復點靠近育苗場，該處的工作人員在蠔和青口繁育方面經驗豐富，並且不斷創新，力求跟上日益擴大的需要。項目第二階段可分為兩期，

持續對修復方法進行測試。第一期使用碎石灰岩作為礁體底質物（每個礁塊約 300 平方米），再投放經過繩養一段時間的附殼幼體。第二期測試了以多種碎石灰岩和回收貝殼的組合作為礁體（礁塊大小 300 至 400 平方米），而投放的附殼幼體直接來自育苗場（圖 6.2）。總體而言，使用石灰岩和回收貝殼組合作為礁體底質，以及投放直接來自育苗場的蠔，是最具成本效益的方法，並且還能繼續實現高存活率（大於 70%）、高生長量以及生物多樣性等目標（The Nature Conservancy 2018）。目前正在規劃 Port Phillip Bay 大規模貝類礁體修復的第三期，將增加超過 20 公頃的修復面積。

Port Phillip Bay 對不同修復技術進行嘗試後得出的結果，隨後為南澳州 Gulf St Vincent 的 Windara Reef 項目選擇合適的技術提供了指引。該項目吸取了前者的

方框 6.1：社區的支持

社區的支持和參與從一開始就大大幫助了 Port Phillip Bay 項目，Shuck Don't Chuck 貝殼回收倡議以及 Restore The Bay Network（修復海灣網絡）的建立都離不開這些支持，兩項倡議都創造了機會讓企業和社區義工以切實有意義的方式參與該項目。

Shuck Don't Chuck 貝殼回收倡議從餐飲場所和海鮮批發點回收可用於貝類礁體修復的貝殼（詳見第四章）。和修復工作一樣，該倡議也是從小規模試點開始，在所有必要的後勤工作到位後再擴大規模。該倡議得到了許多合作夥伴的認可和參與，且廣受媒體歡迎，提高了澳洲貝類礁體修復的知名度。

「修復海灣網絡」堅負了該項目的義工組織工作，為社區成員（如海洋環境維護、潛水和休閒漁業團體）、政府、行業和企業合作夥伴提供了為修復活動義務工作的機會。相關活動包括，蠔隻觀測（Oyster Watch，即投放和監測附著板，見第五章），協助 Victorian Shellfish Hatchery 清理用於著苗的貝殼（見第五章）以及監測測量貝類個體（見第七章）。該網絡還通過資訊分享會和電子通訊方式，為項目進行有效的宣傳與傳播（見第九章）。



圖6.2 Port Phillip Bay的Margaret's Reef的貝類礁體建造。相片提供: Anita Nedosyko

經驗，啟動了首個 20 公頃的大規模修復項目（詳見方框 2.2）。雖然維多利亞州和南澳州的項目在生態系統服務目標功能（如魚類增殖）和修復技術上相類似，但 Windara Reef 項目以創造就業和刺激經濟的項目目標，使其在資金和成效方面有不同考量（Edwards *et al.* 2013）。

對於大型項目來說，上述兩者都很重要，有可能會帶來傳統意義上的保育資金之外的資助。該項目還進行了修復的成本效益分析，為大規模保育項目的資金籌集提供了有力依據（Rogers *et al.* 2018）。

更多關於 Windara Reef 和 Port Phillip Bay 項目的資

料，請瀏覽 www.natureaustralia.org.au。

案例研究： 美國 Chesapeake Bay 的 Harris Creek

背景

Chesapeake Bay 是美國最大的河口，位於靠近馬里蘭州和維珍尼亞州的大西洋海岸。據評估，目前 Chesapeake Bay 的美洲牡蠣（*Crassostrea virginica*）種群數量僅為歷史水平的 1%（Newell 1988）。Chesapeake Bay 開展修復工作已經數十年，但近年才在兩項政策的

推動下開展了更大規模的協調修復，這兩項政策分別是 2009 年的 13508 號總統行政令（Presidential Executive Order 13508）和 2014 年由 Chesapeake Bay 流域各州州長和美國聯邦政府簽署的《Chesapeake Bay 流域協定》（2014 Chesapeake Bay Watershed Agreement），兩項政策要求在 2025 年之前恢復 Chesapeake Bay 10 條支流中的蠔類種群。

這些遠大的目標引出了實際的問題：甚麼才可稱作「恢復」了，以及（或者）多少算夠？在整條支流層面上修復蠔礁的不明言目標是：大幅增加蠔種群數量，以及恢復支流中礁體曾經提供的大部分生態系統功能。要達到這種規模的修復，就必須設定可衡量成功的目標。

關鍵目標

一支由科學家和資源管理者組成的團隊共同為 Chesapeake Bay 制定了礁體層面和支流層面的蠔類修復指標，統稱為「Chesapeake Bay 蠔類指標」（Chesapeake Bay Oyster Metrics）（Oyster Metrics Working Group 2011）。這些指標是專門為了恢復該海灣 10 條支流上的蠔類種群這一政策目標而編寫的。

其理念是要回答以下問題：「甚麼才是成功修復的蠔礁？」和「需要成功修復多少礁體，才算成功修復了一條支流？」

在礁體層面，「Chesapeake Bay 蠔類指標」將修復成功的礁體定義為修復後 6 年滿足以下標準：

- **蠔的密度：**最低閾值 = 每平方米 15 個；目標 = 每平方米 50 個
- **蠔生物量：**最低閾值 = 每平方米乾重 15 克；目標 = 每平方米乾重 50 克
- **多個年齡級：**成功 = 兩個或以上
- **貝類預算：**成功 = 穩定或增長
- **礁體高度和礁體面積：**成功 = 穩定或增長 標準一旦確定，就能以此為依據規劃、建造和監測礁體。

在支流層面，「Chesapeake Bay 蠔類指標」文件指

出，並非所有支流都適合建造礁體，且歷史上礁體也並非覆蓋整個支流底部。因此，支流層面的成功修復被定義為 50% 以上的可修復河床（目前為硬質底的區域）由「達標」的礁體覆蓋。此外，修復後的礁體應至少佔該支流估計歷史礁體面積的 8%。

擴大規模

在計劃開展大規模蠔類修復活動的 10 條支流中，Harris Creek 被選為開展行動的第一條支流。Harris Creek 位於 Chesapeake Bay 的東岸，屬馬里蘭州，是一個佔地 1,829 公頃的蠔類保護區（蠔類禁捕區）。該處是歷史上有名的蠔類捕撈地，但到 21 世紀初出現了蠔補充量和礁體結構受限的雙重問題。聯邦政府和州政府以及當地非政府組織的合作夥伴共同制定了河口修復計劃（Maryland Oyster Inter-agency Working Group 2012）。他們首先收集了一些地理空間資料，如水質資料、通過聲納獲取的底棲生境特徵、蠔的種群調查、以及水深調查，以確定在河流中的甚麼位置建造蠔礁。適合投放礁體的區域需滿足以下條件：水質適宜蠔類種群生活、硬質底、水深 1.2 至 6 米、遠離碼頭、航道和輔助航道。

規劃採用兩種方法進行修復（圖 6.3）：

- 只投放貝類幼苗的輔助再生法（詳見第五章），將附殼幼體直接投放到現有殘存的貝類礁體（62 公頃）上；以及
- 在投放底質物和幼苗的生態重建法（詳見第五章），首先投放底質物（80 公頃），再將附殼幼體移植其上。這種方法適合礁體殘餘很少的地方，而底質物由石頭或海螺、蜆等貝殼混合構成。

2011 年至 2015 年間，Harris Creek 建造了一個總面積為 142 公頃的礁體網路，資金主要來自兩大美國聯邦政府機構（U.S. Army Corps of Engineers 以及 National Oceanic and Atmospheric Administration）以及馬里蘭州政府。礁體投放的附殼幼體主要來自馬里蘭大學的 Horn Point Oyster Hatchery，移植密度通常為每



圖6.3 Harris Creek地圖，圖中標明使用了底質物的修復區域，以及僅使用附殼幼體的修復區域。

公頃 1,250 萬隻幼苗，水中礁體建造成本為 2,856 萬美元，投放了超過 20 萬立方米的底質物，用於構建高度在 0.15 至 0.3 米的礁體，並投放了超過 20 億隻附殼幼體。

Harris Creek（以及附近兩個地點：Tred Avon 河口和 Little Choptank 河口）距離貝殼清理場和育苗場都不遠，並且還靠近經改造可以機械化將附殼幼體直接裝載至投放船上、並配有異地著苗設施的碼頭。這就解決了大規模作業相關的一些物流問題。

結 果

截至 2017 年底的監測，Harris Creek 98% 的礁體上蠔的生物量和密度都達到了成功標準的最低「閾值」，75% 達到了更高的「目標」標準。目前，Harris Creek 使用的通用方法也推廣到了 Chesapeake Bay 其餘 9 條被納入大規模蠔礁修復計劃中的支流。在修復後的 3 年後，團隊已對每個礁體都進行了監測，並將在修復 6

年後再次進行監測。令人驚訝的發現是，以石頭為底質物建造的礁體（圖 6.4）上生長的蠔的數量是貝殼底質物礁體的平均四倍（NOAA 2018）。

根據模型估算，Harris Creek 修復的貝類礁體每年可消除 46,650 公斤氮和 2,140 公斤磷。保守估計，這一生態系統服務功能每年創造的價值為 300 萬美元（Kellogg *et al.* 2018）。另外，模擬結果預測，與未修復時相比，當 Harris Creek 以及附近的 Tred Avon 河口和 Little Choptank 河口修復的礁體成熟時，當地的藍蟹（*Callinectes sapidus*）捕撈量將可增長超過 150%；僅此一項每年就能額外帶來 1,100 萬美元的碼頭銷售額（Knoche *et al.* 2018）。此研究（Knoche *et al.* 2018）還預計該區域內漁業總產出的增長為一年 2,300 萬美元（直接、間接及連帶效應的總和）。

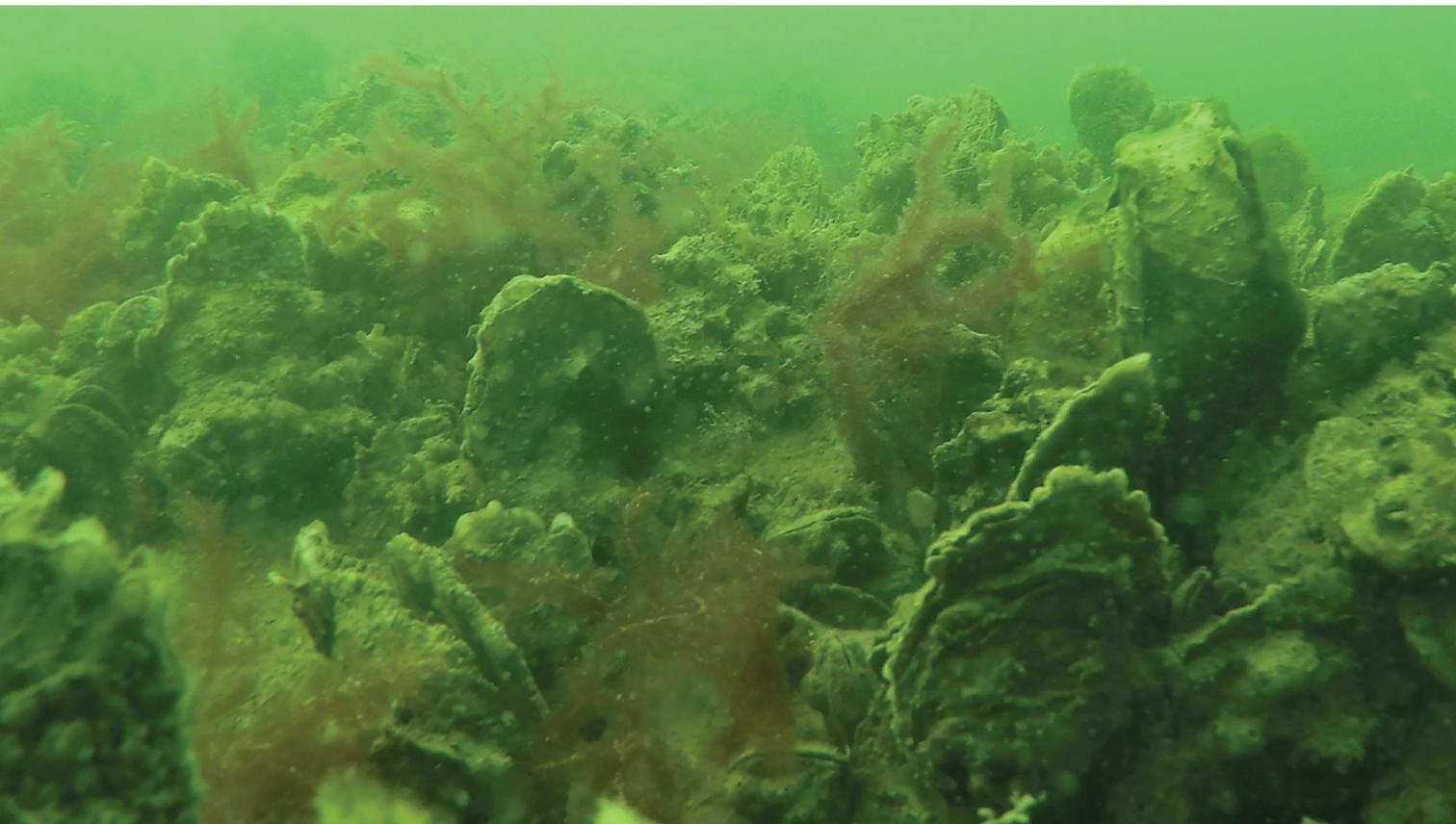


圖6.4 美國馬里蘭州Harris Creek內以石頭為底質物修復的貝類礁體上生長的美洲牡蠣（*Crassostrea virginica*）。相片提供：NOAA Chesapeake Bay Office

參考文獻

- 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

為什麼要監測貝類礁體？

Bryan M. DeAngelis 和 Laura Geselbracht

要 點

- 需要對修復項目進行監測以評估其成果，且採用的監測方式應便於與其他項目進行比較。
- 美國的蠔礁修復有一套最基本的通用衡量指標和環境變量，可用於監測所有項目而不受修復目標限制。這些指標可以為其他造礁的貝類礁體修復項目提供指導。
- 針對修復目標而進行的監測雖然實施起來難度較高，但可以評估修復項目提供的一個或多個生態系統服務功能的完成情況，既可以用於適應性管理提供監測資訊，也可以為其他的生態系統服務功能預測性模型提供資訊。

引 言

開展修復活動的主要動機是提高或改善退化的生境，使其恢復到參照生態系統或模型的狀態（見第三章），其中一個假設是，修復後的生態系統將為人類和自然帶來回報，而貝類礁體修復通常是為了實現一個或多個主要目標（詳見第二章；Coen *et al.* 2007；Grabowski and Peterson 2007；及其他）。為瞭解修復項目是否達到預期成果，需對項目進行監測以評估其成效，且採用的監測方式應便於與其他項目進行比較（圖 7.1）。

不同項目之間的比較十分重要，有助於從方案和（或）地形層面評估項目成效，並且用於對比多個修復點之間的不同修復效果。很多情況下，對修復礁體的監測都未能達到通用標準，因此無法與其他項目進行比較（Kennedy *et al.* 2011；La Peyre *et al.* 2014）。如果從業人員在修復前後進行系統性監測，就可以根據預期和項目目標對結果進行評估。重要的是，可以在多個地點評估項目成效，從而在更廣泛的空間層面上，改進修復方法並回答可被應用於更廣泛空間層面的研究問題。

最近，美國國家科學、工程和醫學學院（The National Academies of Sciences, Engineering and Medicine 2017）為墨西哥灣修復活動（包括美洲牡蠣 *Crassostrea virginica*）的監測和評估方法進行了指導，並提供了最佳方式。雖然報告重點評估的是墨西哥灣的生態系統，但關於監測方法的總體指引適用於全球各地的貝類礁體修復。此外，Baggett *et al.* (2014, 2015) 在之前工作的基礎上出版了一本關於蠔類修復監測的回顧和從業人





圖7.1 美國南卡羅來納州Palmetto Plantation的貝類礁體修復點的工作人員正在進行監測。相片提供: Joy Brown

員手冊，其中包括針對美洲牡蠣（*Crassostrea virginica*）和奧林匹亞牡蠣（*Ostrea lurida*）的具體建議。這份指南中，監測貝類礁體修復項目的基本概念總結自上述兩份主要出版物，兩者都是從業人員可以進一步研讀的、可起到指導作用的資料來源。

修復目標和成效指標

任何修復項目都要首先明確修復目標，這個步驟很關鍵，但卻往往被忽略，應當在所有修復活動開始之前制定出明確的目標。正如第三章所述，明確修復目標能給項目帶來諸多好處，也為監測提供指導。首先，明確的目標迫使項目管理者不得不積極思考開展修復工作所要實現的預期成果，以及修復後生態系統的預

期狀態是什麼。其次，明確目標後就可以根據參照生態系統或模型，確定修復活動最有效的監測標準或指標，這通常稱為「成效指標」，這些標準或成效指標為制定合理的監測方案指明了方向。最後，明確的修復目標為衡量修復工作的成功與否提供了標準，也為如何進行適應性管理以改善修復成效提供了依據。

三種監測類型

如上所述，監測具有多重目的，其類型應為以下三種中的一種或多種。第一種是**執行監測**，非常直接的對修復項目的管理行動進行評估，判斷其是否按照預先的設計和規劃開展和完成行動。第二種是**成效監測**，用於衡量修復活動是否對生境產生了預期的回應，例



Palmetto Plantation 養蠔苗圃的年度監測。相片提供：大自然保護協會 (TNC)

如，總體貝類補充量、生物量或其他種群層面的參數變化是否與參照生態系統或模型的水平接近。

修復項目也可能想獲得生態系統層面的回應，例如區域內魚類生物量或水質等。成效監測要求項目目標制定得清楚明確，並能夠識別出訊息有效的監測指標。最後，**適應性管理監測**旨在為後續修復管理提供資訊，從而完善未來修復設計。在進行後兩種監測的過程中，務必使用具有可比性的標準化方法進行系統監測，以確保能夠對不同項目進行對比，同時也避免各項目因監測規程差異而出現觀測上的差距。

適用於所有貝類礁體修復項目的最基本通用衡量指標

無論修復目標如何，每個項目都應對一組相同的最基本**通用衡量指標**進行採樣，以評估修復項目的基本成效。雖然目前還未有找出所有造礁貝類物種的相關通用指標，但 Baggett *et al.* (2014, 2015) 針對美洲牡蠣和奧林匹亞牡蠣發佈的最基本通用衡量指標，可作為其他造礁貝類物種修復的指南（見表 7.1）。對這些通用衡量指標進行採樣，既有助於跟蹤評估每個礁體的

基本成效，也便於與其他項目進行比較。測量通用環境變數（水溫、鹽度和溶氧量、潮汐規律）也能提供有價值的資訊，有助於解讀礁體監測活動收集來的資料（Baggett *et al.* 2014, 2015; Wallis *et al.* 2016）。

為確保對通用衡量指標進行監測的方法的系統性，貝類礁體修復從業人員應採取相似的影響評估方法、採樣方法、採樣頻率和採樣持續時間（如 Baggett *et al.* 2014, 2015 所述；表 7.1）。

針對修復目標的衡量指標

如前文所述，貝類礁體修復項目的目的是造福大自然（如改善魚類或螃蟹的棲息地、或去除過量的氮）和 / 或造福人類（如帶來更多捕撈機會）。修復項目需要制定一個或多個**根據修復目標的衡量指標**並對其進行監測，才能評估該項目是否實現了這些效益（參考 Baggett *et al.* 2014, 2015 及 The National Academies of Sciences, Engineering and Medicine 2017）。對根據修復目標的衡量指標進行監測通常更為複雜，需要額外的能力和專業知識來確保收集到有效的和科學嚴謹的資料，才能對項目提供的服務功能進行評估，以及讓未

來修復項目的設計和實施更完善。修復活動完成後，預期效益可能需要很長時間才能實現（某些情況下需要幾十年），並取決於遠超項目地理邊界和持續時間的大範圍環境因素。獲得支持長期監測的資金也是一項挑戰，因為資助方和修復項目的優先事項及預算都有限制。指望每個項目都對大量的成效指標進行監測是不現實的，尤其是因為這既需要豐富的實地生態學經驗和專業知識，又或者項目可能需要數年才會展現出可觀察到的結果。然而在某些情況下，尤其是在無法提前預測修復回應的情況下，針對修復目標的監測可以為適應性管理提供資訊。如果從業者識別出一套可以整合監測資料的結構化適應性管理流程（例如，預測性生態系統服務功能模型、管理決策或修復問題），那麼該修復項目就可以減少不確定性，強化當下或未來的修復決策，從而大幅度提升修復成效。

公民科學

管理得當的公民科學項目可以減輕監測活動的部份資金和人員負擔，同時提供寶貴的公眾參與機會。接受過培訓的公民科學家有能力使用 Baggett *et al.* 2014, 2015 提出的最基本通用衡量指標參與監測活動（如測量礁體尺寸和高度、貝類數量和大小、計算活貝和死貝數量），從而協助論證項目成效（圖 7.2）。公民科學家還可以成為項目大使，有效建立其所屬社區對修復項目的支持（DeAngelis *et al.* 2018）。美國有一些公民科學項目的例子，詳細資料可參考 Charlotte Harbour National Estuary Program 的蠔類棲息地義工監測手冊 (Oyster Habitat Monitoring Manual, <https://www.chnep.org/publications>)。



圖 7.2 公民科學家在澳洲 Port Phillip Bay 的 Warmies Boat Ramp 協助測量貝類。相片提供：大自然保護協會 (TNC)

表7.1: 監測貝類礁體修復的通用衡量指標 (修改自Baggett et al. 2014, 2015)。制定具體的目標或成效時, 應參考參照生態系統或模型。dGPS = 差分全球定位系統

指 標	方 法	單 位	頻 率	成效指標
礁體區域尺度				
項目範圍	使用dGPS、測距輪或樣帶、或者航空圖像測量礁體區域範圍的最大值; 潮下帶的礁體則使用聲納或潛水進行監測。	平方米	修復前、修復後3個月內、修復後至少監測1至2年 (最好4至6年), 以及發生會導致礁體區域變化的事件後。	無
礁體面積	使用dGPS、測距輪或樣帶、或航空圖像測量礁體斑塊的面積; 潮下帶的礁體則使用聲納或測深儀輔以實地驗證。所有斑塊面積之和就是礁體總面積。	平方米	修復前、修復後3個月內、修復後至少監測1至2年 (最好4至6年), 以及發生會導致礁體區域變化的事件後。	無
礁體高度	使用刻度尺和經緯儀或測量設備; 潮下帶的礁體使用聲納或測深儀。	米	修復前、修復後3個月內、修復後至少監測1至2年 (最好4至6年), 以及發生會導致礁體區域變化的事件後。	呈增長或不變趨勢
蠔的密度	使用樣方。收集必要深度的底質物以獲得樣方內所有活體蠔, 清點活體蠔數量 (包括補充量)。如果項目使用了蠔幼苗, 則需清點樣方內所有蠔的幼苗數量。	個體數/平方米	若使用蠔幼苗, 則在投放後立即監測, 否則就在每年蠔類生長季節結束時 (具體時間因地而異) 進行監測, 至少監測1至2年, 最好4至6年。	根據已有的區域性和項目類型的資料, 以及當地或區域內現存和/或歷史的蠔密度所制定的短期和長期目標。
大小-頻率分佈	從每個蠔密度樣本中, 取至少50個活體蠔測量其蠔殼高度。	毫米 (大小), 每個直方區間內的數量或百份比單位 (頻率分佈)	在每年蠔生長季節結束時 (因地而異), 與蠔密度一起進行監測採樣。	無

參考文獻

- 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

貝類礁體修復：蠔礁以外的選擇

Andrew Jeffs 和 Philine zu Ermgassen

要 點

- 修復青口與其他造礁貝類能夠帶來與蠔礁修復類似的效益。
- 幼年和成年青口比蠔更具移動性，這個特點往往使修復的最適宜方式有所不同。
- 幼年青口對棲息地的需求可能與成年青口不同，青口礁體修復工作需要考慮到這一點。
- 考慮到貝類補充量和存活量的年際波動，應展開長期監測。



新西蘭 Waheke Island 東部修復後的青口礁體。
相片提供：Shaun Lee

引 言

目前貝類礁體修復項目大多以蠔礁為主，但修復青口和其他造礁貝類的項目正在迅速增加。

這些物種能夠提供許多與蠔類相似的生態系統服務功能，但牠們的生活史往往與蠔不同（圖 8.1），尤其是整個發育過程中對棲息地不斷變化的需求。因此，針對這些造礁的貝類，往往需要採取與蠔礁不同的修復方法才能取得成功。

和蠔一樣，這些貝類的許多種群也大大減少，這通常是由於過度捕撈和各種形式的環境退化所共同造成的，包括污染、沉積、破壞性捕撈（如海底拖網捕撈）和喪失可供幼蟲附著的自然棲息地。

因此，成功修復這些貝類種群的關鍵，通常主要取決於找出限制貝類礁體形成或恢復的威脅和環境退化因素，並對其加以管理。

確定並管理威脅

和蠔礁修復一樣，修復青口礁體關鍵的第一步是確定退化的原因，然後消除或減輕威脅；有時候，這就足以成功修復青口礁體。以荷蘭 Wadden Sea 潮間帶的紫貽貝（*Mytilus edulis*）礁體修復案例為例，就是在未有首先解決貝類面臨的威脅的情況下，採取了主動干預的修復行動（如投放幼苗或成年青口），最終效果非常有限（de Paoli *et al.* 2015）。

相比之下，在識別出泥蚶形成的礁床面臨的捕撈威



脅後，保護其不受進一步捕撈，使得重要的青口幼貝附著和育苗棲息地得以恢復，並最終使青口礁體得到了大規模且低成本的修復（Dankers *et al.* 2001）。

收集適當的知識

如果消除威脅並不足以促進生態系統修復，則可能需要採取其他干預措施。青口和蠔一樣，種群數量下降後可能出現底質物受限或補充量受限的問題，需要添加可供附著的棲息地或增殖產卵種群，或兩者兼顧。

但和蠔相比，野生青口礁體的生態重建還存在關鍵的知識缺口。

- 瞭解青口的生命週期對制定有效的修復措施尤為重要，因為許多青口物種在幼蟲附著和幼年時期對棲息地的要求與成年階段不同。青口幼苗往往傾向於附著在海藻、水媳蟲和海草等絲狀生物上，這樣一來幼貝的早期成長過程就可以遠離海底表面。相比之下，成年青口往往喜歡聚集在海底，形成礁體結構。青口幼蟲對育苗棲息地的需求與成年完全不同，這與蠔類幼

蟲形成鮮明對比。蠔類幼蟲需要堅硬的底質物，尤其是成年蠔的殼，之後便永久性附著並定居在上面，在成長過程中一直保持相同的位置。

- 瞭解青口整個生命週期所需的關鍵棲息地，對於成功修復青口礁體往往也很重要。例如，附著和育苗棲息地的喪失，可能是導致青口礁體因缺乏充足的幼蟲補充量而退化或消失的常見原因。這種情況下，成功修復青口礁體有賴於恢復青口的附著和育苗棲息地，如海藻床和海藻床，而這些生境也常常受到沿岸水域人類活動的影響。
- 瞭解關鍵棲息地的空間分布以及青口生命週期各階段的移動能力，對於成功修復青口礁體棲息地也很重要。雖然確定附著物適宜性是為修復後的青口礁體持續提供補充量的重要先決條件，但附著底質物相對於成年青口的位置，也是確保幼貝能夠遷移並補充到成年青口礁體的關鍵所在。許多青口物種幼體的移動性很強，能夠從最初的幼蟲附著點，通過在海底爬行或被動地隨波逐流而漂流很遠的距離。從這一點來說，選擇曾經存在過青口礁體的地方開展修復工作更為可行，因為那裡的空間條件可能已經具備幼貝從附著點遷移並長成成年種群的前提。

技術

一旦解決了退化的成因，就可以採取一系列適合修復該地退化程度的應對方案。如果單純添加附著底質物提高幼貝附著的方式不足以恢復青口礁體，那麼投放成年或經過附著期的個體以擴大成年礁體，可能才是有效提高親貝種群數量的合適措施。相比生性固著的蠔，青口的移動性極強，因此兩者在修復方式存在顯著差異。例如，在修復地點投放幼年青口時可能需要使用可生物降解的網兜來防止牠們在建立礁體的過程中四處移動。

同樣，也可以直接將大量活體成年青口從船上投放

到適當位置，青口一旦沉入海底就會四處移動，自行尋找便於覓食的位置，然後用足絲相互附著在一起，形成功能齊全的青口礁體的基礎（圖 8.2）。正因為成年青口能夠相互繫牢的特點，所以牠們在海底沉積物表面上會形成穩定的毯狀礁體結構，這也就意味著，不同於蠔，青口修復不需要硬質底質物（如蠔附著基）就可以形成礁體。聚合的青口礁體能夠穩定軟質沉積物並在其表面形成複雜的結構，從而為其他物種提供棲息地，發揮著重要的生態意義。

從增殖放流和資源增殖中借鑒經驗

許多青口物種被視為一種極好的食物，而又往往聚集地出現在較淺水的沿岸水域（青口礁體），因此很容易被過度捕撈。雖然在某些情況下這會為修復帶來



澳洲Port Phillip Bay從船上投放青口。
相片提供: Johnno Rudge



圖8.2 新西蘭Revive Our Gulf項目義工正用鐵鏟把青口傾倒入修復點。相片提供: Shaun Lee

問題，但同時也是社區修復青口礁體的動力。幾個世紀以來，以恢復或改善貝類捕撈業為目的的青口等貝類種群的修復，一直是沿海社區一種很常見的操作。近年來，貝類種群的修復通常採用兩種形式，一般稱為增殖放流和資源增殖。

增殖放流通常採用的方法是將養殖的幼貝放歸野外，目的是恢復捕撈造成的親體生物量枯竭，人為增加補充量從而最終改善捕獲量。相比之下，資源增殖是專門為了改善現有漁業捕獲量而進行的一系列直接干預措施，例如人為改善附著物或補充量（Bell *et al.* 2005）。

雖然對貝類種群進行增殖放流和資源增殖的最終目的不同於貝類礁體修復（即提高捕撈量對比棲息地保育），但採用的方法卻往往異曲同工。因此，青口礁體修復可以從過去各種貝類（包括青口）的商業性

增殖放流和資源增殖工作中借鑒大量經驗。這方面有很多有用的相關綜述值得仔細閱讀（參考 Bell *et al.* 2005）。

可借鑒的一些重要經驗包括，必須建立足夠大的本地親貝種群，才能有充足的親體生物量來產生自給自足的補充量，以維繫貝類種群的可持續或擴大（Bell *et al.* 2005）。要滿足這一需求、將貝類種群建立得足夠大，可能需要付出相當大的努力，或者需要經過多年多次投放以累積大量青口。然而，很難定義親貝種群多大才算足夠，這會因青口物種和地域環境的差異而有所不同。

監 測

監測附著量和補充量尤其重要，用以得出補充到所

修復的青口種群中的幼貝數量變化（見第七章）。

對青口礁體這兩項指標的監測必須是長期且方法保持一致的，這是由於大多數青口的繁殖量和幼蟲附著量天生就是多變的，因此，受這種天然的波動性掩蓋，短期監測可能無法捕捉到修復工作的真正效果。

監測已成形的青口礁體也是一項長期工作。由於捕食者數量的變化和強烈風暴等自然事件的影響，青口礁體的範圍經常有相當大的自然波動。青口礁體能夠在此類事件發生後維持存活並能夠恢復，就是其修復成功的有力指標。

參考文獻

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.



香港榕樹澳的附著板投放。相片提供: Lori Cheung

第九章

貝類礁體修復項目的傳訊策略

Ian McLeod

為什麼要進行傳訊交流？

與持份者各方進行有效交流是貝類礁體修復項目成功的關鍵，通常在申請許可和籌集資金方面是必要的。溝通交流順暢的話，有助於人們建立與項目之間的聯繫和情感。

相反，如果沒有儘早和妥善地開展交流並加強各方參與，則可能導致誤解和不信任，從而產生問題和延遲。有效的傳訊交流需要有預算支持，並且應納入項目規劃中。本章節介紹了貝類礁體修復項目有效傳訊策略的關鍵要素。

傳播策劃

成功策劃傳訊工作似乎令人卻步，但一個好的策略能充分利用有限的資源，並可能為項目帶來更多的支持和資金（Olsen 2009）。成功的傳訊內容還可以闡明項目的使命和目標，但通常這些要素要到團體面臨為項目建立網站或準備支持文件時，才會被明確定義。那麼，我們該從哪裡開始呢？

建立團隊：確定項目人員中可以協助開展傳訊活動的人，可以包括來自相關監管或科研機構的傳訊專員，亦可以考慮任命一位傳訊經理負責項目這方面的工作，如果預算允許的話還可以聘請專業人員。

定義受眾：按重要程度列出對項目成功來說最重要人員名單，確保傳訊策略優先考慮這些人士。建議這

些人士中要包括資助方、項目團隊、項目擁護者、當地持份者和潛在受益人。關於如何定義項目受眾的進一步指導，請瀏覽 Reef Resilience Network 的網站（<http://reefresilience.org/communication>）。

確定關鍵訊息：從項目願景開始。項目試圖解決哪些問題，設想實現甚麼益處？願景應是積極正面的、非政治性且基於事實證據的。不要忘記隨時認可合作夥伴和資助方，不要誇大項目可實現的成果。建議探討能給當地民眾和經濟帶來的益處，而不僅限於生態效益，因為多數人更關注前者。

找出與項目目標受眾交流的最佳方式：需要考慮和權衡目標受眾的常用方式、方便項目團隊使用的方式、以及項目時間和預算允許的可行方式。

追蹤策略的施行：列出傳訊策略的目標並追蹤其完成情況。次目標應滿足 S.M.A.R.T. 原則，即具體（Specific）、可衡量（Measurable）、可實現（Attainable）、現實（Realistic）及有時限（Time-bound）這五個要求。

對策略進行回顧：項目會發生變化，所以需要花時間回顧傳訊策略、反思做得好和不好的地方。在日曆中設置提醒，確保每年至少對策略進行一次回顧和更

✓ **專業建議：**儘量嘗試與潛在反對者接觸，並願意作出能讓他們認同的修改。貝類修復項目最令人興奮的一點就是，它能夠讓在其他情況下可能相互對立的各種持份者群體聯合到一起。



圖9.1 新西蘭一港口帆船賽上的貝類修復資訊點，一名遊艇船長過來討論附近港灣的貝類修復活動。
相片提供：Andrew Jeffs

新。谷歌分析（Google Analytics）等工具可用來識別甚麼是最有效的傳訊方式，例如追蹤和總結那些能夠給項目網站帶來訪客量的文章。還可以直接詢問受眾甚麼是他們認為最有效的方式。剔除那些對實現目標和次目標沒有幫助的傳訊方法，或準備好修改呈現給受眾的內容，以提高傳訊的有效性。

做好基礎工作

雖然專注於社交媒體或新聞報導很有誘惑力，但大多數項目還是依賴於少數人的支持。因此，面對面交流、打電話、公共論壇和拜訪當地持份者往往比在 Twitter 上擁有幾千個擁躉更有用（圖 9.1）。

原住民和當地行業是大多數項目的關鍵合作夥伴和受眾，應及早將他們納入項目的傳訊計劃（McLeod *et al.* 2018）。網站建設已不再是一個令人生畏的過程，現在許多公司都提供易於使用的範本，可以用來創建項目主頁，為網民提供項目的基本資訊。

項目網站需要及時進行更新，然而在最初的热情過後，這項工作可能會變得枯燥，因此可以考慮將社交媒體帳號與項目網站連結，以保證新內容不斷出現。

電郵和電子報仍是向大眾傳播的有力方式，因此非常值得下功夫建立一份全面的通訊錄。

建議與研究機構合作，並將學術出版物納入項目的傳訊策略中，以便記錄項目所獲取的經驗教訓，並與學術界分享。

花一些時間列出項目相關的常見問題及其答案，這些將成為將來媒體報導的巨大資源，並且可以幫助項目團隊預先對風險和異議做出準備。這是一個提供背景資料和依據的機會，能夠幫助項目解決潛在的風險，減少外界的疑慮。

傳統新聞和媒體渠道

當地報紙和類似的媒體對項目而言非常重要，當地記者很可能成為項目的關鍵擁護者，尤其是當項目涉及很多當地人，並且能為當地解決實際問題的時候。記者通常很忙，往往對項目背景的瞭解也不多，因此建議多提供關鍵訊息、照片和影片以提高他們報導項目時的準確度。注意不要誇大項目目標和預期結果；和媒體交流時很容易變得激動，進而過分誇大項目的潛在成效（例如「此項目將淨化整片海灣」），最好務實一些，但又要保持積極正面。接受媒體採訪前，建議提前構思想要傳達的關鍵訊息，不要涉及政治或離題，還要避免加入過多的技術細節。

視像傳意

良好的視像素材是向受眾傳達關鍵訊息的重要元素。

相片和影片

出色的相片和影片是分享項目新聞的有力方式，儘可能預留聘請專業攝影的預算。然而，並不是每張相片都要達到《國家地理》雜誌的標準，「拍得不好」的相片也有用，所以可以拍攝大量相片來展示項目進度和參與工作的人員。確保相片中的人物看起來（而且確實）是安全且專業的，可考慮請被拍攝者簽署肖像使用授權書（或使用手機應用程式記錄他們的知情同意）。隨著時日的過去，在同一地點拍攝一組時間序列的相片是展示項目進展的絕佳方式。建立一個「電子多媒體庫」，即儲存傳訊用的相片和影片的網上資料夾，其中還包括各檔案的合理使用說明及版權訊息。

資訊圖表和其他視像資料

很少非科研人員的人士能理解傳統統計圖表，因此，使用圖表時應確保其簡單易明。比較好的解決辦法是使用資訊圖表 (Infographics)，以圖像及有趣的方式展示要點，有效的資訊圖表示例可參閱圖 9.2。可以使用免費又相對較易用的網上軟件（如 Easel.ly [https://](https://www.easel.ly/)

✓ **專業建議：**使用手提電話拍攝、編輯和分享影片，既方便又保障質量，現在大多數手提電話都能拍攝高品質的影片和相片。

✓ **專業建議：**GoPro 一類的運動相機有廣角拍攝的功能，可以放置在更靠近拍攝對象的位置，非常適合拍攝貝類修復項目的水下影像，在水下能見度低的情況下特別有用。

www.easel.ly/) 在網上製作資訊圖表。

社交傳播——如何使用社交媒體

社交媒體是一個互動的過程，而不是像傳統媒體一樣單向傳播，這是其眾多優點之一。社交媒體裡展示的訊息沒有經過記者的解讀和修改，因此對訊息傳達有更多的控制。社交媒體通常是免費的，運用相對簡單，而且和傳統媒體有越來越多的交集，記者們常常會通過社交媒體來發掘新聞故事。社交媒體平台非常多（方框 9.1），項目團隊肯定沒有時間使用所有的平台，所以建議選擇一至兩個項目人員和受眾都適用的平台。

總體來說，社交媒體發佈的訊息應保持簡短易明，不涉及政治話題，注意錯別字，發文前通篇閱讀一遍。

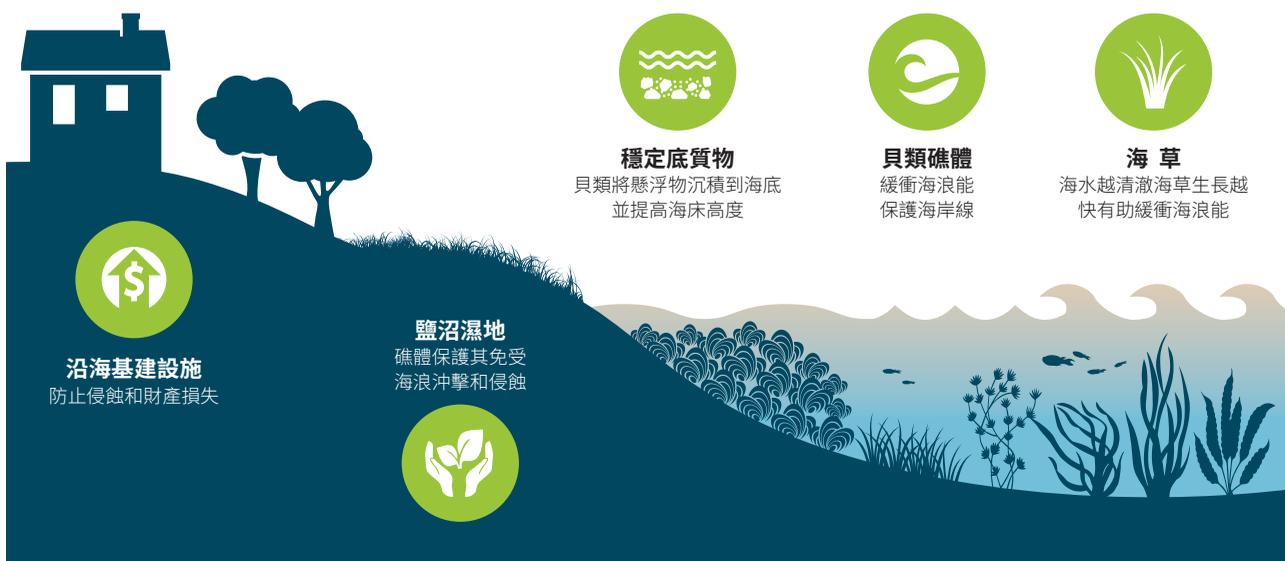


圖9.2 貝類礁體修復所帶來的海岸線防護、改善水質與其他棲息地效益的資訊圖表。

方框9.1: 社交媒体平台

以下是一些貝類礁體修復項目常用的平台，這些平台可能變得流行或過時，將來甚至可能會消失，但這卻是 2019 年的最佳建議。



Facebook——依然是2018年最多人使用的社交媒體平台，擁有25億活躍用戶。Facebook群組是與項目參與者保持聯繫的好辦法，而且這些群組可以設置為「私密」狀態，只有被加入的人士才可看到內容。Facebook的影片和相片壓縮功能強大，因此項目受眾只需使用少量的網絡流量，但缺點在於除非向Facebook公司付費，否則發文通常只有一小部份的人士可以看到。



微信和微博——都是中國最主流的社交媒體平台，微信擁有10億活躍用戶，微博擁有3億用戶。在這兩個平台發文和分享相片、影片、簡短訊息或者博客類文章都很方便。帖子和文章可使用英語等外語，具體取決於目標受眾。使用微信需要建立官方公眾帳戶，只有訂閱的人士才會收到新帖發布的自動通知；使用微博則可以利用微博話題進行推廣。



YouTube——常被遺忘的平台，但卻是上傳和分享影片的強大平台。當有外部媒體機構製作項目相關的影片時，建議向其索取影片的檔案，並在對方許可的情況下上傳到項目的YouTube頻道，YouTube會根據瀏覽者瀏覽時的頻寬選擇適當的播放質量，而且可以簡單地將影片植入到網頁上。



Instagram——側重於圖像，非常適合年輕受眾。貝類礁體修復面臨的一大挑戰在於人們腦子裡往往沒有具體的圖像，因此通過Instagram提供引人注目的圖像，可以引起人們的關心。



Twitter——科研人員、記者和政客們著重的平台。記者們喜歡在Twitter上發掘故事。



LinkedIn——可能會適用於某些項目，因為顧問、工程師和政府人員經常會使用LinkedIn。



ResearchGate——科學家和科研人員分享論文、提出和解答問題以及尋找合作夥伴的社交網站。問答區的回覆通常可以針對具體的問題而提出詳細答案，非常適合分享科研成果和項目介紹。

花時間瞭解每個平台的運作方式，要待人友善，對待他人的不同觀點要不卑不亢、有禮有節。

社交媒體平台的選擇取決於項目受眾的需求、以及項目管理者的能力、舒適度和時間投入。不要試圖面面俱到，要選擇適合團隊的方式並制定可實現的目標（如每週發佈一次），而不是在建立受眾群體之後就失去幹勁。建議為項目制定一頁紙的社交媒體計劃，並指定使用的平台和負責發文的人員。

瞭解更多資訊：

請參考 Reef Resilience Network 的工具包中關於傳

訊的內容（Reef Resilience Network 2019），其中有一章關於傳訊策略的內容是專門為只有少量或根本沒有經過傳訊培訓的海洋資源管理者和保育工作者撰寫的（<http://reefresilience.org/communication>）。

參考文獻

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.



澳洲Port Phillip Bay的Margaret's Rock。相片提供: Paul Hamer



大 自 然 保 護 協 會