自然资办函〔2025〕236号附件

海草床
生态修复手册

自然资办函〔2025〕236号附件

海草床
生态修复手册

组织机构和人员

指导机构

自然资源部国土空间生态修复司

编制组成员

陈光程	自然资源部第三海洋研究所
王　静	北京市企业家环保基金会
张沛东	中国海洋大学
邱广龙	广西海洋科学院（广西红树林研究中心）
周　毅	中国科学院海洋研究所
陈石泉	海南省海洋与渔业科学院
高亚平	中国水产科学研究院黄海水产研究所
刘松林	中国科学院南海海洋研究所
于　硕	自然资源部第四海洋研究所
隋海东	北京市企业家环保基金会
陈顺洋	自然资源部第三海洋研究所
俞炜炜	自然资源部第三海洋研究所
巫鸿艺	自然资源部第三海洋研究所
袁辰睿	北京市企业家环保基金会
谢　斌	自然资源部第三海洋研究所
徐少春	中国科学院海洋研究所
张　晶	北京市企业家环保基金会

技术指导专家

陈　彬	自然资源部第三海洋研究所
黄小平	中国科学院南海海洋研究所
王道儒	海南省海洋与渔业科学院
方建光	中国水产科学研究院黄海水产研究所
范航清	广西海洋科学院（广西红树林研究中心）
杨　彪	北京市企业家环保基金会
毛　伟	海南大学
窦　瑞	蚂蚁森林基金会
郭　栋	辽宁省海洋水产科学研究院
左丽明	河北省水文工程地质勘查院
蓝文陆	广西海洋环境监测中心站

图片提供

邱广龙，陈石泉，高亚平，张沛东，周毅，陈光程，刘松林，王静，隋海东，张晶，陈顺洋，袁辰睿，于硕，张义涛，王森林，王军威，何云昊，王思宇，吴江，李文涛，林树浩，Muhammad Husni Azkab，Gary Kendrick，Elizabeth Sinclair

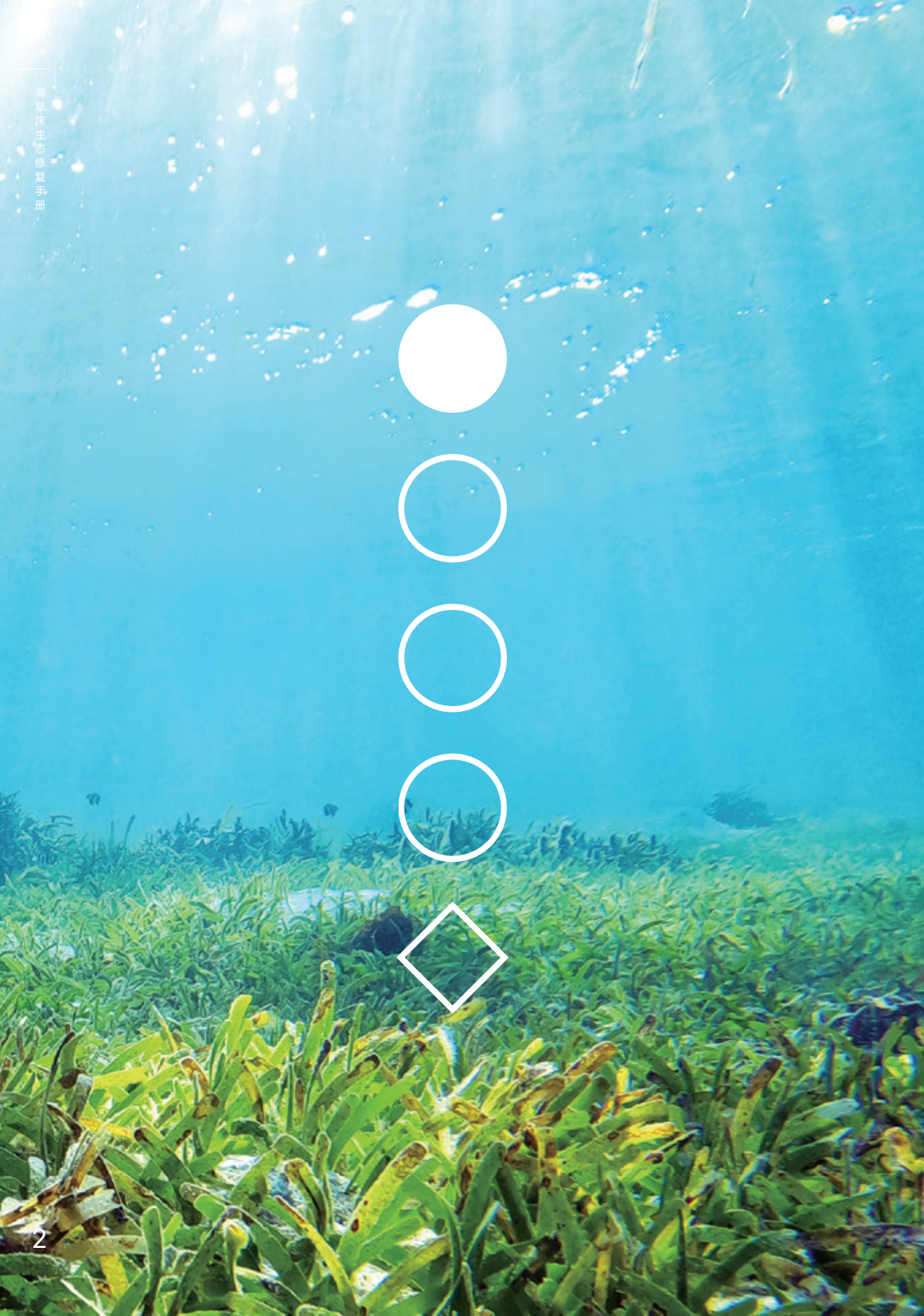
目录

前言

海草床是具有重要生态系统服务的海岸带生态系统，在消浪护岸、净化水体等方面发挥重要作用，同时为众多海洋生物提供栖息地、产卵场和食物来源，维持着近岸海域的生物多样性和生态系统的稳定。近年来，海草床在固碳、储碳和应对气候变化方面的作用引起了全球的广泛关注。尽管如此，在全球范围内，近岸水体富营养化、气候变化、渔业活动和海岸工程建设等人为因素以及台风、海冰等自然因素的共同作用威胁着海草床生态系统的健康，造成局部地区海草床的生态退化。因此，需积极采取行动推动海草床的保护修复工作，恢复海草床生态系统，提升海岸带固碳增汇和应对气候变化的能力。

当前，我国生态文明建设为海草床的保护修复带来了良好的机遇。《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划（2021–2035年）》《海岸带生态保护和修复重大工程建设规划（2021–2035年）》《“十四五”海洋生态保护修复行动计划》等规划对我国海草床等滨海湿地的保护修复工作做出了明确的部署，要求加快生态修复技术标准体系的建设，《2030年前碳达峰行动方案》中也明确提出要“提升红树林、海草床、盐沼等固碳能力”。因此，海草床生态保护修复是我国国土空间生态保护修复和应对气候变化措施的重要内容。

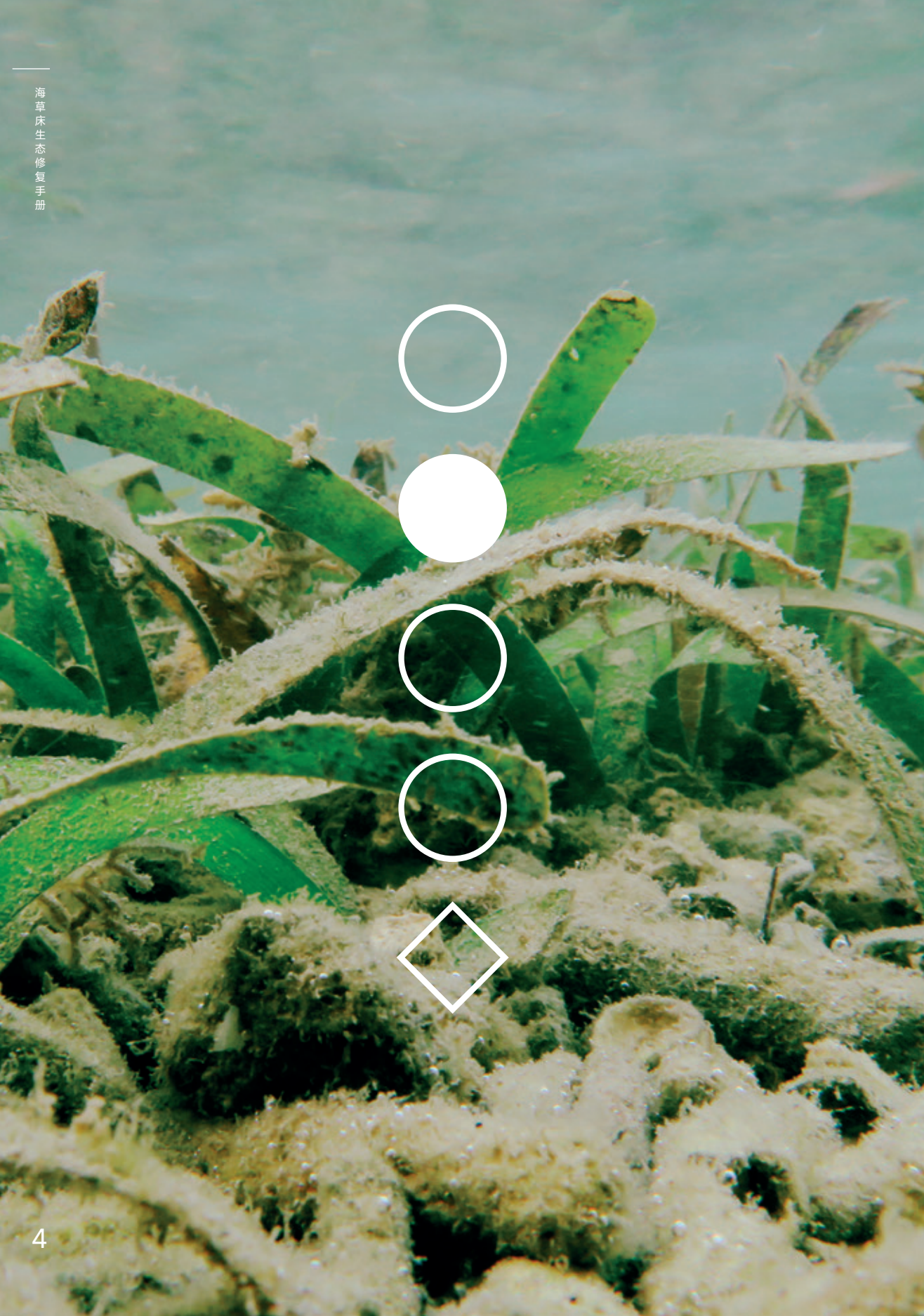
近年来，沿海各地通过实施“蓝色海湾”整治行动和海岸带保护修复工程等海洋生态保护修复重大项目，不断加大海草床的保护修复力度，同时，科研机构、社会公益组织与爱心企业也积极参与，为推动我国海草床保护修复的技术发展与实践做出了积极的贡献。为科学有序地推进海草床的保护修复工作，自然资源部组织有关单位，在梳理国内外海草床生态修复技术、研究成果及修复案例的基础上，结合我国海草床保护修复的实际情况与需求，编制本手册。



一、适用范围

本手册适用于我国海草床的生态修复，包括退化海草床的修复和海草床完全丧失区域的生态重建。

本手册给出了海草床生态修复的术语与定义，规定了海草床生态修复的原则、技术流程、生态本底调查、生态退化诊断、修复目标与修复方式、修复措施选择以及监测、效果评估、适应性管理等主要技术要求和方法。



二、术语与定义

下列术语和定义适用于本手册。

–	海草	Seagrass
–	海草床	Seagrass bed
–	海草床生态修复	Ecological restoration of seagrass bed
–	移植单元	Transplanting unit
–	草块	Seagrass plug
–	茎枝	Shoot
–	种苗	Seedling
–	生殖枝	Reproductive shoot
–	覆盖度	Canopy coverage
–	成活率	Survival rate
–	供体海草床	Donor seagrass bed
–	参照生态系统	Reference ecosystem
–	生态修复效果评估	Effectiveness evaluation of ecological restoration

海草 Seagrass

可以完全生活在海水或河口水域咸水中的单子叶被子植物。

海草床 Seagrass bed

具有一定面积的海草群落。

注：一般认为，海草群落的面积超过100 m^2 时被称为海草床。

海草床生态修复 Ecological restoration of seagrass bed

协助退化、受损或破坏的海草床生态系统恢复的过程。

移植单元 Transplanting unit

以草块或植株为移植对象的基本单元，包括草块移植单元和植株移植单元。

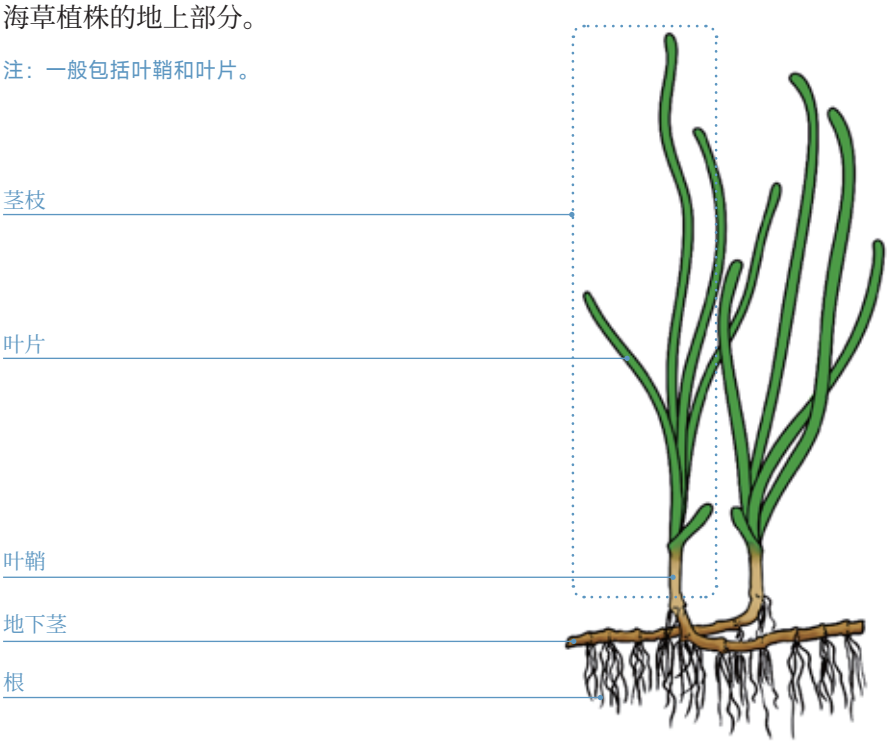
草块 Seagrass plug

由海草植株和底质构成的集合体。

茎枝 Shoot

海草植株的地上部分。

注：一般包括叶鞘和叶片。



种苗 Seedling

海草种子发芽后形成的幼小植株。

生殖枝 Reproductive shoot

海草进入花期后，可逐步发育形成花、果实、种子等繁殖器官的茎枝。

覆盖度 Canopy coverage

海草植株地上部分垂直投影面积占地表面积的百分数。

成活率 Survival rate

一定时间内修复区域移栽海草植株成活株数占初植株数的百分比。

供体海草床 Donor seagrass bed

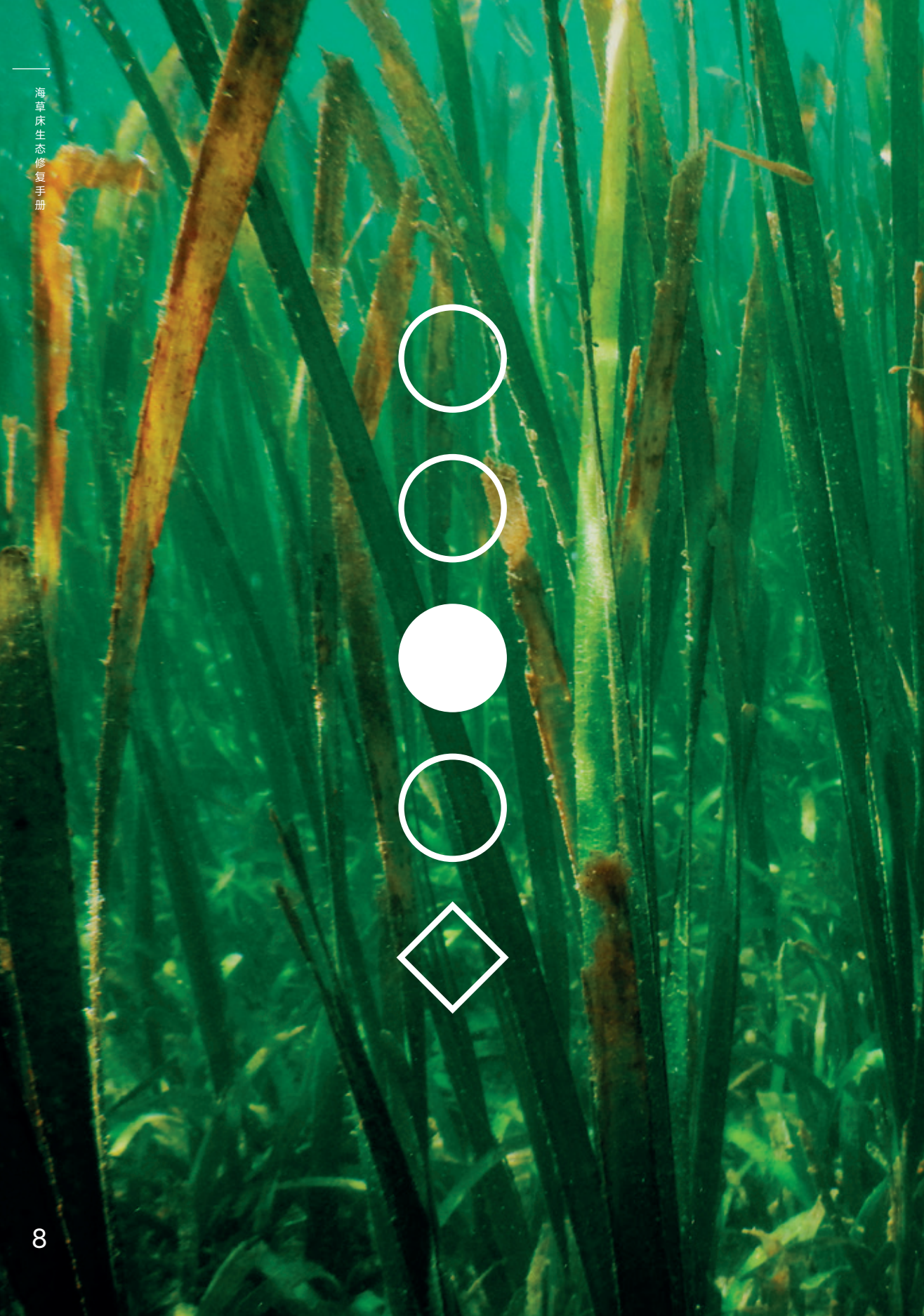
为海草床生态修复提供种子、植株等修复材料的健康海草床。

参照生态系统 Reference ecosystem

能够作为海草床生态修复目标或基准的特定生态系统。

生态修复效果评估 Effectiveness evaluation of ecological restoration

根据海草床生态修复实施前、实施中和实施后的监测结果，对海草床生态修复的效果进行分析，评估海草床生态修复是否达到预期目标的过程。



三、海草床生态修复原则

开展海草床生态修复应遵循下述原则：

——坚持生态优先，自然恢复。重视现有海草床的保护，优先开展退化海草床的修复；宜充分利用海草植物的自然更新和扩繁能力，实现植被和生态系统的自然恢复。

——坚持科学修复，合理节约。修复目标清晰，选址和修复技术方法合理、科学，优先使用本地物种进行修复；在植被修复的同时应充分考虑其他生物群落的保护修复，实现生态系统的修复；应尽量采用经济和环保的修复手段、技术和原材料，减少工程投入。

——坚持统筹规划，协同增效。修复项目应与区域发展和国土空间规划相符合，避免与泄洪通道、航道等其他用途空间冲突；充分考虑邻近社区民众的生计，鼓励修复地周边区域社区民众的积极参与。

四、技术要求

4.1 | 技术流程

海草床生态修复的工作内容包括生态本底调查、退化诊断、修复目标确定、修复方式确定、修复措施确定、生态修复工程实施、跟踪监测、修复效果评估和适应性管理等。具体技术流程见图1。

总体上，海草床生态修复按照如下步骤进行：

1 分析诊断

- 开展生态本底调查，掌握退化海草床及其周边区域的生态环境和人类活动现状，确定海草床的退化程度，并分析其退化原因；

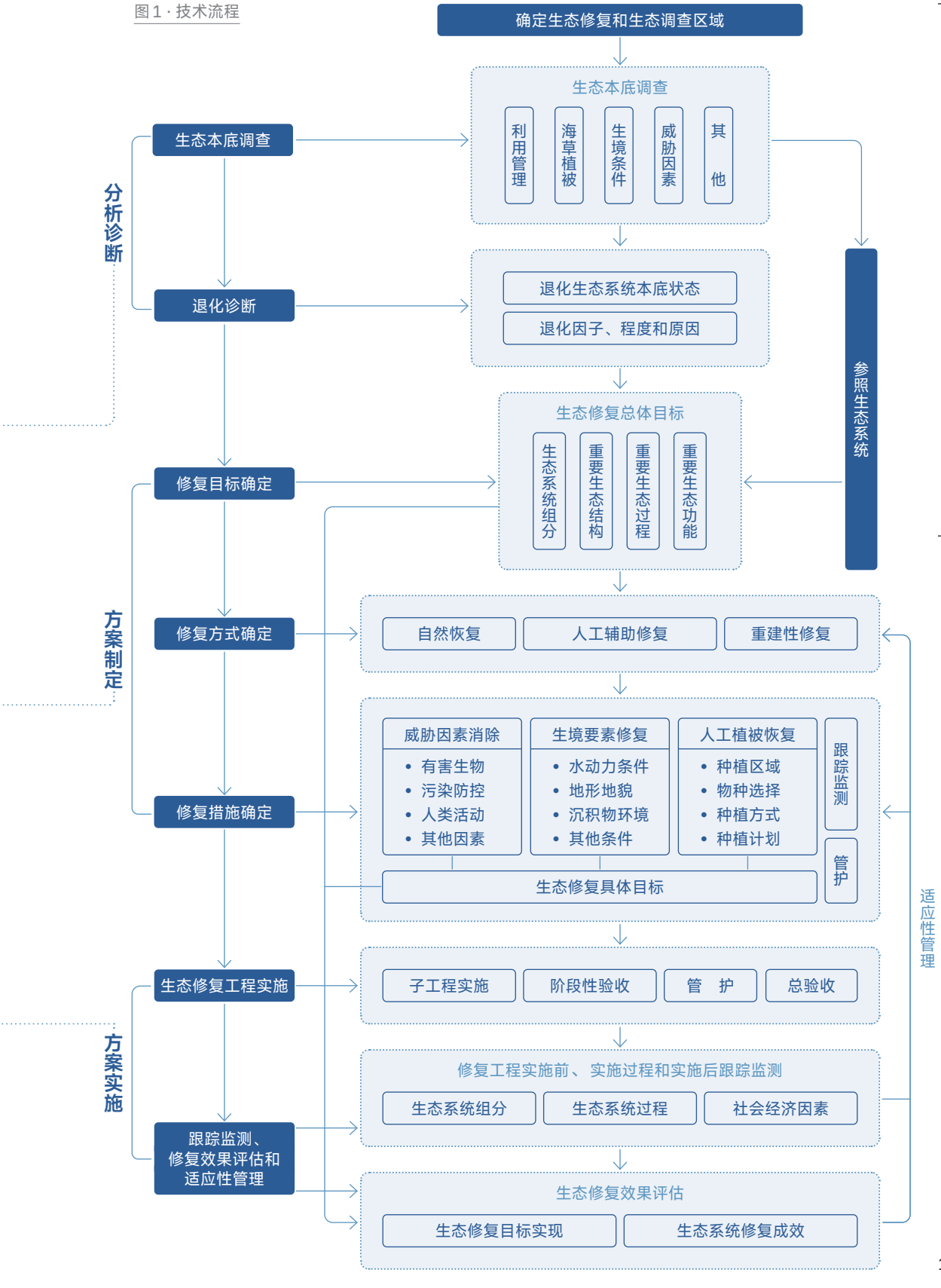
2 方案制定

- 制定生态修复的总体目标，确定生态修复方式；
- 编制生态修复方案，制定具体的修复内容和技术措施、管护措施等，明确修复的具体目标与生态修复监测计划等，并对方案进行论证；

3 方案实施

- 实施生态修复，各子工程完成后进行阶段性验收，实施修复区域的管护，在总项目完成后要进行总验收；
- 开展修复项目跟踪监测和阶段性修复效果评估，了解修复目标的实现情况，并开展适应性管理。

图1 · 技术流程


确定生态修复和生态调查区域
分析诊断
生态本底调查
退化诊断
生态本底调查
利用管理
海草植被
生境条件
威胁因素
其他
退化生态系统本底状态
退化因子、程度和原因
参照生态系统
方案制定
修复目标确定
生态修复总体目标
生态系统组分
重要生态结构
重要生态过程
重要生态功能
修复方式确定
自然恢复
人工辅助修复
重建性修复
修复措施确定
威胁因素消除
有害生物
污染防控
人类活动
其他因素
生境要素修复
水动力条件
地形地貌
沉积物环境
其他条件
人工植被恢复
种植区域
物种选择
种植方式
种植计划
跟踪监测
管护
生态修复具体目标
方案实施
生态修复工程实施
子工程实施
阶段性验收
管 护
总验收
跟踪监测、修复效果评估和适应性管理
修复工程实施前、实施过程和实施后跟踪监测
生态系统组分
生态系统过程
社会经济因素
生态修复效果评估
生态修复目标实现
生态系统修复成效
适应性管理

4.2 | 生态本底调查

生态本底调查目的在于综合采用资料收集、遥感分析、现场调查、座谈和问卷调查等方式掌握海草床生态系统现状，以及参照生态系统的生态现状。

参照生态系统是能够作为海草床生态修复目标或基准的特定海草床生态系统，可采取以下方式确定：

1. 海草床生态修复区受干扰前未退化的海草床；
2. 如退化前海草床生态系统的信息不满足需求，可选择邻近区域内与海草床生态修复区生态系统特征相似、但未退化或轻微退化（保存较完整）的现存海草床作为参照生态系统；
3. 如上述条件都不满足，可根据海草床生态修复区或邻近区域的历史、现状及预测数据，构建科学合理的海草床参照生态系统。

4.2.1 | 调查内容

生态本底调查内容包括海草植被、生境条件、威胁因素，以及区域的保护管理和利用状况等信息。

（1）海草植被

海草植被调查是生态本底调查的关键内容，能够为了解区域内海草床分布现状、退化程度，制定合理的修复目标和技术措施提供重要信息。

海草植被调查的内容包括海草床的分布情况、植物群落与自然更新情况等，主要指标有海草分布面积、物种组成、覆盖度、茎枝密度、生物量，以及海草种子（或胎生苗）的成熟期、数量、萌发期等物候特征（表1）。

（2）生境要素

生境要素调查有利于了解海草生长对生境条件的需求，诊断引起海草床退化的生境因素，并为选划适宜的修复区域提供基础数据。

生境条件主要包括气候条件、水文环境与地形条件、水体化学环境、沉积物环境等。

气候条件主要包括最冷月平均气温、降雨量和气候事件等，其中气候事件主要包括台风、风暴潮和极端气温事件（极寒、海冰等），及这些气候事件的持续时间等。

水文环境与地形条件重点关注水深、潮滩高程（潮间带海草床）、流速、流向、盐度、透光率、水温及冲淤环境，宜了解海草床分布区的水深区间或高程范围。

水体化学环境重点关注水体悬浮物、营养盐等，其中水体营养盐包括硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、活性磷酸盐等。

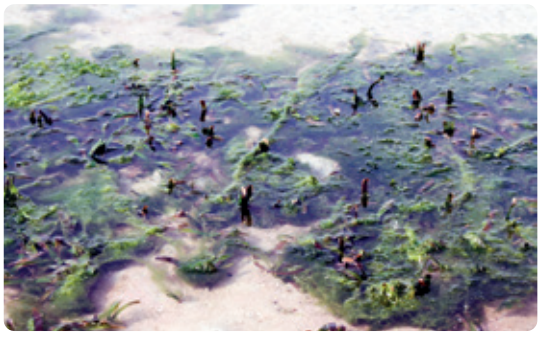
沉积物环境重点关注沉积物粒度和硫化物等。

（3）干扰及威胁因素

海草床的干扰与威胁因素调查可为海草床退化诊断、威胁因素消除和生态修复后管护方案制定等提供依据。

海草床生态系统的威胁因素主要包括有害生物和人为开发活动及其引起的生境变化（表1），主要包括：

> **民众渔业捕捞和养殖活动：**民众在海草床泊船、渔业养殖、赶海等活动的作业方式、区域以及频次等。
>
> **入海污染物：**海草床及周边区域存在的污染物排放情况（包括近岸海漂垃圾），包括污染源分布、主要污染物种类、排污方式、排放强度等。
>
> **海岸工程：**如周边区域存在海岸工程，关注海岸工程的位置、对水文环境和地形地貌环境的影响范围，以及采取的防护措施等。
>
> **有害生物：**海草床及周边区域的互花米草（*Spartina alterniflora*）的分布情况，浒苔（*Ulva prolifera*）、石莼（*U. lactuca*）等漂浮性大型藻类、叶片附生生物和有害草食性动物的种类、暴发时间和影响范围等。



大型藻类暴发导致泰来草（*Thalassia hemprichii*）海草床的退化

村民在贝克喜盐草（*Halophila beccarii*）海草床中挖贝类

（4）保护管理与利用现状

保护管理与利用现状调查有利于了解海草床生态修复区与区域发展规划的一致性，明确利益相关者，以及可能对海草床造成不利影响的人类活动因素。调查内容主要包括修复项目所在海区及周边海域海岸的规划、管理和开发状况、海草床生态修复情况等（表1）。

海草床相关的保护规划与管理：修复项目区域和周边区域的国土空间规划、区域经济社会发展规划、生态保护红线区域保护规定、海草床保护的相关规定、自然保护地范围和管理等。

海草床相关的利用现状：修复海域的权属和行政主管部门，海草床及其周边区域的海域利用现状，海草床生态修复潜在的社会影响（风险）和利益相关者。

海草床生态修复情况：本地区或周边区域内已有的海草床生态修复工程情况，可采用的修复技术措施及投入成本；对于修复面积较大的项目，宜了解所在区域或周边区域的海草种苗的供应能力。

（5）其他生态本底调查

条件允许时，可对拟修复的区域开展综合的生态本底调查，以了解生态修复前生态系统的本底状况。除上述的内容外，本底调查还可包括大型底栖动物、游泳动物、鱼类浮游生物、大、中型浮游生物等生物群落（表1），以及大型海藻、环境微生物等生物群落调查，也可以开展海草床消浪缓流、固碳等重要功能的调查。

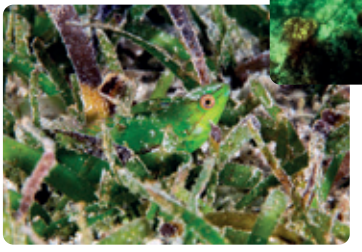


表 1 · 海草床生物群落与生境条件调查的内容与指标

类别	内容	指标
海草植被	植被覆盖	面积、覆盖度等
	植物群落特征	物种、茎枝密度、茎枝高度、生物量等
	自然更新能力	种子（或胎生苗）成熟期、数量、萌发期等
其他生物群落	大型底栖动物	种类组成、密度、生物量等
	游泳动物	种类组成、资源密度等
	浮游生物	种类组成、丰度等
生境条件	气候条件	最冷 / 热月平均气温、极端低 / 高温、降雨量和气候事件等
	水体化学环境	溶解氧、**悬浮物**、**无机氮**（硝酸盐、亚硝酸盐和铵盐）、**活性磷酸盐**、叶绿素 a 等
	沉积物环境	**粒度**、硫化物、有机碳、总氮、总磷、无机氮、活性磷酸盐、氧化还原电位和 pH 等
	水文环境与地形条件	**滩面高程 / 水深**、**水温**、**盐度**、**透光率**、**流速**、流向、潮汐类别、**冲淤环境**和沉积速率等
干扰及威胁	人为因素	民众渔业捕捞和养殖活动、入海污染物、海岸工程等
	有害生物	外来种入侵、敌害生物爆发等
保护管理与利用现状	**保护规划与管理**	修复项目涉及区域的国土空间规划、区域社会经济发展规划、生态红线区域保护规定、自然保护地范围和管理等
	利用现状	海域的权属和行政主管部门、海域利用现状，生态修复潜在的社会影响（风险）和利益相关者
	生态修复情况	已实施修复工程，可采用的技术措施、投入成本、种苗供应能力等

表中蓝色加粗内容为生态本底调查的重要内容和指标

4.2.2 | 调查区域与站位

生态本底调查的范围除生态修复区和作为参照生态系统的现存海草床外，亦包括可能影响修复区域或项目实施可能影响的周边区域。针对未明确具体修复区域的项目（如需要选择适宜地块开展重建性的修复），调查区域宜覆盖海草床分布区域所在河口、海湾或潟湖等区域，必要时可以包括周边的河口、海湾等区域。生态资料收集的空间范围宜包括拟实施海草床生态修复项目所在的相对完整的自然地理单元及其行政区。

现场调查的站位宜覆盖整个调查范围，并考虑地形地貌、底质类型、水深、盐度、海流流速、流向、植物群落特征等要素的空间差异设置，空间差异大的区域可视情况增加站位密度。站位设置可参考以下方式：（1）根据海草床分布面积大小、生境

条件及空间变化特征设置调查断面位置与数量，断面方向应大体上与海岸垂直；(2) 每个海草床断面宜均匀设置3个以上调查站位，站位宜涵盖断面上典型的海草群落类型，可根据需要在海草群落分布区外的向海侧和向陆侧增加调查站位。沉积物环境和大型底栖动物的调查站位和样方宜与植被调查一致并同步开展调查。

4.2.3 | 调查方法与时间

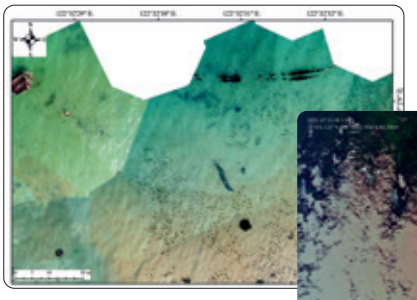
应充分收集区域的自然地理、海草资源、海洋生态环境、海洋开发利用与保护修复等方面的规划、报告和数据等历史与现状资料。如现有资料数据不能满足需要，应通过现场调查和遥感分析等方式获取数据。

可参考历史调查的时间设定本底调查的时间，保持调查数据与历史资料的连续性。开展至少一次全面本底调查，条件允许时可根据区域生态系统特征、调查指标的季节变化特点和项目实际情况，开展季节性的调查。

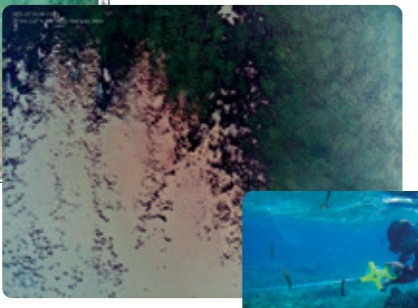
可参考以下调查方法：

(1) 海草植被

可采用卫星遥感、无人机航拍与现场调查获取海草床的面积和分布边界，如果受水深或透光率条件限制，遥感与无人机航拍不可行时，通过踏勘或走航的方式现场调查海草床面积和分布情况，现场调查可参考HY/T 083和T/CAOE 20.6。



卫星遥感



无人机航拍

现场调查

海草物种组成、分布面积和覆盖度的调查可在每年海草生长旺季开展一次，温带海域调查时间宜为6月~8月，热带—亚热带海域调查时间宜为4月~8月[1]。海草群落特征的调查，如茎枝密度、茎枝高度、生物量等参数的调查宜至少在生长旺季开展1次，条件允许时开展季节性调查，调查方法可参考HY/T 083和T/CAOE 20.6。

海草花期、果期、种子（或胎生苗）萌发期与数量等信息可通过文献资料收集和调访等形式获得，必要时通过现场调查估算种子（或胎生苗）的数量。

（2）其他生物群落

其他生物群落的监测根据修复区域水域环境条件，每年宜开展2~4次监测，并符合GB/T 12763.6和SC/T 9110的规定。

（3）生境条件

水文环境和水体化学环境等调查宜考虑相关指标（如盐度、悬浮物）的时间变化特征，应考虑陆源排放、季节性降水和河流淡水输入等因素的影响，了解水体环境整体情况。

每个站位采集表层和底层水样，水体化学环境各项指标的测定方法按GB 17378.4的规定执行。

水体盐度的调查按GB 17378.4的规定执行，波浪和潮流特征等水文条件的观测宜符合GB/T 12763.2的规定，透光率的调查按HY/T 083的规定执行。

区域的冲淤环境可在现场水文和地形等观测的基础上通过数学模型进行判断。底质类型除根据沉积物粒度定量分析外，也可通过观察简易判断。沉积物粒度、有机碳、总磷、总氮和pH等监测宜符合GB 17378.5和GB/T 12763.8的规定。

（4）干扰及威胁因素、保护管理与利用现状

调查方法包括资料收集、现场调研、采样调查、座谈和问卷调查等。如敌害生物危害明显，应调查敌害生物的类型、影响区域、面积和影响程度，调查的方法包括无人机航拍、现场调查等，其中互花米草分布现状、生长状况等调查可参考《互花米草调查技术规程》[2]。

4.3 | 海草床退化诊断

根据本底调查结果，综合分析海草床退化程度和退化原因，识别导致退化的主要胁迫因素，评估退化海草床的可修复性，确定海草床的修复方式。

通过对比退化海草床和参照生态系统，分析出退化的生态系统因子及其退化程度，并结合水动力条件、水质条件、地形地貌条件等相关生境指标，以及海草床及其周边区域的人类活动等威胁因素，识别引起退化的主要威胁因素和影响途径，分析生境条件是否适宜海草植物生长的要求，分析退化因子是否需要通过修复措施恢复，确定生态修复的方式。

退化的海草床一般表现出海草床面积减少、覆盖度下降、分布碎片化，海草地上部分死亡、茎枝密度和生物量降低，叶片附生生物增多、腐烂，地下茎裸露等现象。常见的引起海草床退化的威胁因素主要有：

❶水体富营养化 投饵型海水养殖、工业生产和沿岸生活中排放的营养物质造成水体富营养化，引起漂浮性大型藻类暴发覆盖海草植被、浮游植物暴发影响水体透光率、水体中病原菌生长，以及海草叶片上附生生物增加，影响海草植物的健康。

❷海岸工程建设 海岸工程建设、运营和拆除改变周边区域的海洋动力条件和冲淤环境，造成局部地区的侵蚀或者泥沙淤积，直接导致受影响区域海草床的丧失。

❸渔业和捕捞活动 使用耙刺类、陷阱类、拖网类等设施破坏海草植被和生境，不当的养殖活动挤占海草床生存空间。

❹极端高温、严寒、台风天气 海冰拖曳导致海草植被受损，台风和风暴潮引起植被损失、潮滩地形地貌改变等。

❺互花米草等敌害生物 海胆过度啃食导致海草植被退化、互花米草侵占潮间带的日本鳗草（*Zostera japonica*）和贝克喜盐草等海草床。

海草床中摄食海草植物的海胆

互花米草入侵贝克喜盐草海草床

海草床的退化程度

海草床的退化及退化程度可综合参照生态系统和退化海草床的状态、海草床的威胁因素及影响程度、植被和生境条件的变化程度等进行分析。以下海草床退化分析可供参考：

轻度退化 海草床中存在一些威胁因素的影响，但地形地貌、动力和水质等生境条件未发生明显的变化，海草植被仍具有再生能力，消除威胁因素后植被可自然恢复。

中度退化 海草床部分区域的水动力条件、地形地貌条件和水质发生明显变化（如水体交换受阻、淤积或侵蚀），威胁因素消除后如不采取人工干预措施，生境条件恢复缓慢或者难以恢复。

严重退化 海草床大部分区域的生境条件发生明显变化，或者因为人类活动的直接破坏，海草床大规模消失，自然更新能力严重下降或丧失。

对比退化海草床与参照区或者退化前海草床分布面积、覆盖度、茎枝密度等指标的变化情况是判断海草床退化程度的主要方法。例如，可基于海草床植被的连续观测数据进行分析，如5年以上时间内海草床面积累计下降10~30%时海草床为轻度退化，累计下降30~60%时为中度退化，＞60%时为严重退化，该方法得到的退化程度可为海草植被修复方法选择和种源地选择提供依据[1]；也有学者提出，当海草床面积、覆盖度与茎枝密度相比参照系统减少10~30%时海草床出现受损退化，＞30%时为严重退化[3]。开展生态修复时，应综合现场调查、资料收集、遥感分析、调访等方式获取退化区域、参照区域或退化前海草床的植被情况，根据实际情况分析海草床的退化程度、是否需要开展修复以及可修复性等。

4.4 | 修复目标

4.4.1 | 设定原则

生态修复目标是生态修复内容、技术措施的设计依据。综合考虑区域管理利用、相关规划和生态功能的定位等，根据区域的生态现状、生态退化诊断结果，确定海草床生态修复的目标。

海草床生态修复的理想目标为恢复或构建一个能够自我维持或在有效管理下能健康运行的生态系统，不同的生态修复项目应依据具体情况设定不同的修复目标，简而精的定量指标会更加实用有效。

设定目标时要明确对应的生态系统参数，综合修复区域的生态状况、生态修复技术水平、生态系统恢复过程、生态修复相关规划和区域社会经济等多方面因素量化其达到的水平与阶段性的目标，目标的设定参考以下原则：

- ◎ 目标应能够定量化，尽可能保证在生态修复监测中能够获得数据；针对生态过程和生态系统服务的目标，应明确对应的参数、表征和计算方法。
- ◎ 海草植被是海草床生态系统最主要的初级生产者和维系生态系统的基础，植被的恢复是海草床生态修复的关键目标。
- ◎ 生态系统的恢复是动态发育的过程，生态修复目标的设定要充分考虑生态系统及其参数的恢复轨迹，设定阶段性的目标。
- ◎ 需要充分考虑科学、经济和社会等多方面的因素设定修复目标，充分考虑自然条件和修复技术的可行性，以及工程的经济性。

4.4.2 | 修复目标的设定

生态修复目标包括总体目标（长期目标）和具体目标（近期目标），两类目标均要明确实现期限，并设定阶段性的目标。

（1）总体目标

总体目标反映在一定期限内海草床生态系统预期达到的状态及水平，即生态修复的中长期目标。总体目标考虑生物群落、自然环境、重要生态过程、生态系统服务的恢复等几个方面的内容，明确对应的生态系统参数并量化其恢复的水平。

总体目标的设定可参考以下内容：

> **生物群落的恢复：**海草植被、底栖生物、浮游生物和游泳动物群落，食物网、营养级指数等；
>
> **自然环境的恢复：**水文条件、沉积物环境、水体化学环境等；
>
> **重要生态过程的恢复：**初级生产力、植被更新能力，以及与周边生态系统的生物和化学物质的连通等；
>
> **重要生态系统服务的恢复：**消浪弱流、固碳增汇、维持生物多样性和净化环境等。

设定总体目标的实现期限时，生物和自然环境因子可设定为5~10年，生态过程和生态功能的恢复以20年为宜。

（2）具体目标

在总体目标的基础上进一步明确修复的具体目标。具体目标反映在修复项目实施期限内或者修复后的初期，被修复的具体对象或生态系统参数拟达到的水平。

具体目标可结合工程实施的具体内容进行设定，考虑以下内容：

> **海草植被的恢复：**种植或自然恢复海草床的面积、物种数量、覆盖度、密度、生物量等；
>
> **海草床生境条件的恢复：**包括水体营养盐、透光率和溶解氧、底质类型、潮滩高程、水文动力条件等；
>
> **胁迫因素的消减：**威胁海草床的人类活动、污染物排放和海漂垃圾、漂浮性大型藻类、有害动物、外来入侵种等影响范围和程度。

修复项目短期目标的实现期限以3~5年为宜。

动物群落是海草床生态系统重要的组成部分

4.5 | 修复方式

根据退化程度，海草床生态修复的方式包括有效管理下的自然恢复、人工辅助修复和重建性修复3种方式。

◎ **自然恢复** 对于轻度受损、恢复力强的海草床生态系统，在去除外界压力或干扰后海草植被可通过自然再生实现自我修复时，不需要实施人工修复措施。主要采取封滩（禁海）保育、消除或减缓威胁因素等措施促进海草植被的自然更新和生态系统自然恢复。自然恢复通常需要项目区域内仍有海草植物并且有足够的种子（或胎生苗），或者邻近区域有的海草种子（或胎生苗）能够随潮水到达修复区域，同时生境条件能满足海草植物生长的要求。

◎ **人工辅助修复** 对于植被出现明显退化的海草床生态系统，其生境条件出现退化不再满足海草正常生长要求，只依靠保护和管理不能实现海草床的自然修复时，则通过消除胁迫因素并修复生境条件后，在原地利用生态系统再生能力，或者补植少量的海草植物，促进生态系统的正向演替发育和恢复。

◎ **重建性修复** 对于严重受损的海草床生态系统，在威胁因素消除和生境条件恢复到满足海草生长需要的水平后，海草植被无法通过再生或者在少量人工辅助下实现自我恢复的，采用人工种植等手段进行重建性修复。如生境难以修复或修复成本过高，也可采用异地重建的方式进行恢复，应优先选择生境条件适宜的地块开展植被修复。开展重建性修复时，需明确可作为供体的适宜海草床或种苗来源。

人工种植海草

4.6 | 修复区域选址

海草床主要分布于水流速度较小的沿海潟湖、河口和海湾，生长在潮间带和潮下带柔软底质区域。总体上，海草床的修复区应选择在水体交换良好、水质优良且具有良好隐蔽条件的海域，优先选择海湾或有礁坪保护的水域。水体深度、盐度、透光率、温度、营养盐、水流流速以及底质类型、性质等是判断某一区域是否适宜海草床生长的主要生境因素；适宜海草床生长的区域宜满足以下生境条件[1,4]：

- 符合 GB 3097 海水水质一类或二类标准；其中，水体氨盐含量宜≤ 1.0 mg/L。
- 水体盐度为 10~35（不同海草物种适盐范围有所差异）；
- 底层海水透光率连续低于 10% 的天数＜ 15 d；
- 在温带地区海域水体温度连续超过 30 °C 的天数＜ 15 d；
- 海底表层为粘土质粉砂、粉砂质砂或细砂，并符合 GB 18668 海洋沉积物质量一类标准；
- 海流流速≤ 1.0 m/s。

除了基于上述生境条件的判断外，是否与周边的现有海草床分布地具有相似生境条件也可作为修复区域选址的依据。

同时，海草床生态修复区选址应与区域发展规划以及邻近社区的民众海洋生态系统保护活动相协调，避开旅游、捕捞、航运和养殖等活动频繁、污染物排放超标或存在大型海岸工程建设的海域，获得当地政府、社区民众的支持，并且确保修复区实施修复活动不会对周边其他生态系统产生不利的影响。

在确定修复区域后，还应进一步确定种植海草的边界。

4.7 | 修复措施

4.7.1 | 威胁因素消除

海草床生态修复过程中，应消除可引起植被退化的直接或潜在的威胁因素。

在人类活动影响较大的区域，尤其是在营养负荷较高的海域进行海草床生态修复时，需重点对海水养殖生产、海洋捕捞生产、入海污染及其他人类活动等进行管控，限制沿岸居民生活、养殖和工业生产活动向海草床排放污染物，清理影响海草床的海漂垃圾，以恢复适宜海草生长的海洋环境。

潮间带区域浒苔等大型藻类暴发时，可在退潮时使用耙子打捞水面上的半漂浮状态的大型藻类；对于潮下带海草床中暴发的大型藻类，可使用打捞网潜水打捞或利用其他辅助性工具收集。采集的藻类运回陆地集中处理。

互花米草入侵潮间带海草床时，可采用人工清除、刈割、刈割+覆盖遮荫、翻耕处理等物理措施清除互花米草，但不宜使用化学除草剂和水淹的方法；互花米草的清除方法参考DB31/T 1243和《红树林生态修复手册》（自然资办函〔2021〕1809号附件）[5]等。互花米草防除难度大，单一的物理方法难以大面积治理，需要根据互花米草的入侵和复发情况综合采用多种方式或多次清除，并加强监测和防控。

清理黄河口海草床中的互花米草

4.7.2 | 生境修复

生境恢复是退化海草床恢复的前提。当海草床生境发生改变或局部生境丧失，例如，水体交换受阻、水流方向改变冲刷岸滩、废弃设施堆砌等，不再适宜海草植物的生长，可采用工程技术手段改善水文条件恢复水体环境、改善底质类型、恢复地形地貌等。也可通过营造适宜的微生境，促进海草植株的定植和植被恢复。

开展生态修复需根据相关法律法规取得工程施工的相关许可或审批手续；涉及清淤、滩涂垫高、堤坝拆除、临时围堰等内容的项目，工程实施前应根据生态环境部发布的《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021版）》[6]中“158海洋生态修复工程”和“160其他海洋工程”的相关要求开展环境影响评价；涉及用海用岛手续办理的项目，工程实施前应按照《自然资源部办公厅关于加强国土空间生态修复项目规范实施和监督管理的通知》（自然资办发〔2023〕10号）[7]的相关要求完成手续办理。

4.7.2.1 | 地形地貌和水文条件修复

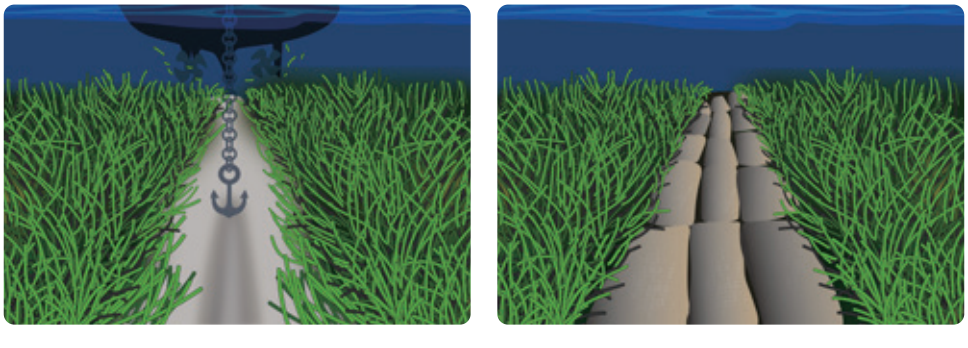
尽管生境修复是海草床生态修复中广泛采用的手段，但与红树林、盐沼湿地的修复相比，较少进行高程改造，在实践中主要涉及坑穴、沟壑的回填、整地、养殖池塘的开口或是拆除、废弃养殖设施的清除等。

因海上养殖活动、海洋工程等改变水动力条件导致海草床退化或丧失的区域，在合理清退这些活动的同时，拆除影响海草生长的人工设施，包括养殖网箱、渔排，养殖池或盐田围堤，以及阻碍水体交换的堤坝等，修复区域水动力条件，促进水体环境的恢复。

养殖池塘在清退后，如果池塘底泥中富含大量饲料残渣和动物粪便，呈缺氧和酸化的状态，在开展修复前宜关闭水闸，在干塘后采用深翻和晒塘（1~2周为宜）的措施改善沉积物的物理和化学条件，然后采用拆除围堤、打开闸口等措施，加强修复区的水体交换。

海南等地潮间带低位养殖池塘恢复潮汐通道后，海草床可自然恢复

在民众赶海、滩涂养殖、船只行驶和停泊区域，人为活动造成海草床地形地貌和植被的破坏，形成坑穴、沟壑或空斑，海草植被无法生长。在实施海草床生态修复前，需平整底质表面、回填坑穴，恢复地形地貌条件。回填优先采用原土，如使用客土进行回填，应分析客土的物理和化学性质是否满足海草植物生长的要求，回填后应留有足够的时间让底质沉实稳固。



美国佛罗里达州，因船只在浅水海草床区域航行时，螺旋桨的作业破坏了海草植被并造成底质的扰动和损失，由于龟裂泰来草（*T. testudinum*）生长缓慢，空斑区域海草难以恢复。当地通过在空斑区域投放由生物降解材料制作、装有沉积物的编织袋，以提高受损区域的底表高程，恢复海草的生境条件，促进海草的自然恢复[8]。

4.7.2.2 | 微生境改造

在海草的修复过程中，也会采取一些措施改善退化海草床的微生境，提高海草植物的营养供给，减缓海流的作用，为海草植物的定植、生长和扩繁提供良好的环境，促进海草植被的恢复。常用的措施包括采用优质客土置换海草床空斑处的沉积物、增殖贝类等底栖动物改善海草床的微生境[9,10]、投放附属设施改善海草幼苗的定植环境[11,12]等。

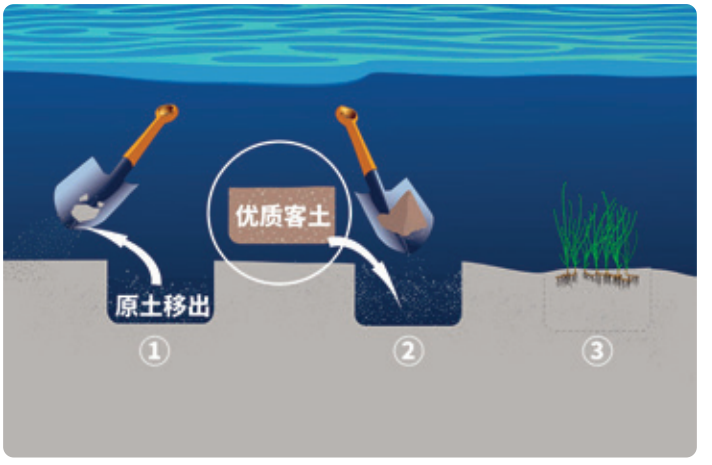


图 2 · 海草床沉积物客土置换示意图

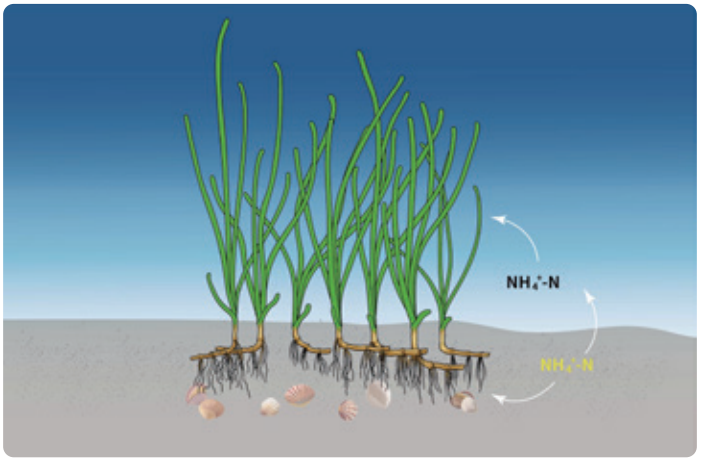


图 3 · 低营养盐的海域适当投放贝类可促进海草植株的生长[9]

【案例】

“海草捕捉器”助力澳大利亚鲨鱼湾海草恢复[12]

位于澳大利亚西部的鲨鱼湾（Shark Bay）是世界自然遗产，这里拥有约48万公顷的海草床，是全球连片面积最大的海草床之一，养育着成千上万头鲨鱼、海龟、海豚、儒艮及其他多种珍稀海洋生物等。

2010－2011年期间，澳大利亚西部海域夏季的热浪导致大片（约13万公顷）海草和大量海洋动物死亡，受影响最大的海草正是该海湾的优势种海草——南极根枝草（*Amphibolis antarctica*）。在很长的时间内，鲨鱼湾海草床仍未能得到全面的恢复。

为了助力鲨鱼湾的海草恢复，科研人员与鲨鱼湾的社区及志愿者，制作并投放了数以千计的“海草捕捉器”。这些海草捕捉器实际上是装满沙子的长条形麻袋。从海草植株释放出来的胎生苗，其底部拥有倒钩状的刺，极易被麻袋制作的海草捕捉器截获，可加快海草床自然恢复的进程。相比之下，没有投放海草捕捉器的区域，绝大部分南极根枝草胎生苗容易被冲刷到海滩上晒死。

志愿者正在将“海草捕捉器”– 沙包运送到投放海域

被海草捕捉器截获的南极根枝草胎生苗

4.7.3 | 海草物种选择

对于海草床无法通过自然再生能力实现海草床自然恢复时，采用人工种植或补植的形式修复海草植被，应确定修复的海草物种与对应的种植方法等。

退化海草床进行植被修复时，宜使用退化区域的原有物种进行修复；严重退化或者丧失的海草床选择历史分布的优势种或周边海域现有的物种进行修复，轻度或中度退化的海草床可选择现有海草物种进行修复，且以现存的优势种为主进行修复；海草床退化程度的判断参考本手册第4.3部分。如项目所在地区或周边地区分布的物种信息不可获取，可参考表2选择适宜种植的物种。

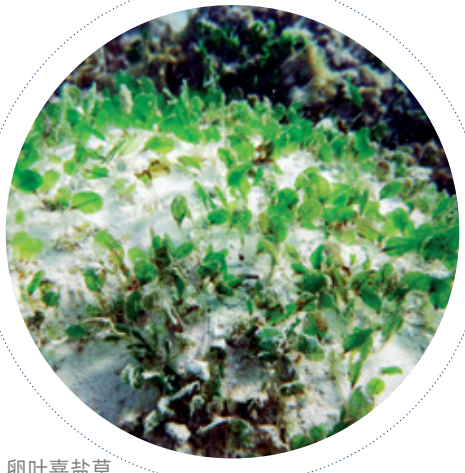
如种植历史上没有分布的外来物种，应进行引种风险评估并开展跟踪监测，确保引种的生态安全。

表2 · 不同地区的海草物种的选择

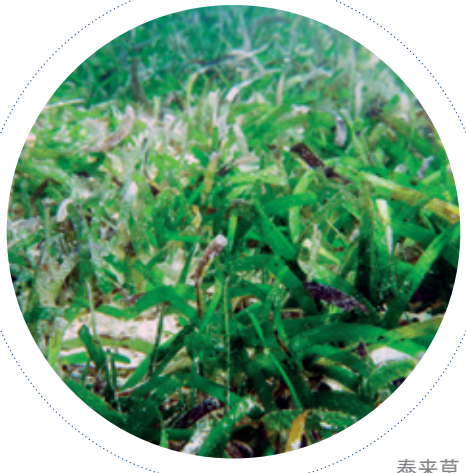
省/自治区	市/县	主要物种
辽宁省	大连市	鳗草、日本鳗草、丛生鳗草、红纤维虾形草
	葫芦岛市	鳗草、日本鳗草
河北省	唐山市、秦皇岛市	鳗草、日本鳗草
山东省	威海市、烟台市、青岛市	鳗草、红纤维虾形草、日本鳗草、丛生鳗草
	东营市、潍坊市	日本鳗草
福建省	福州市、泉州市、漳州市、厦门市	贝克喜盐草、日本鳗草、卵叶喜盐草
广东省	潮州市、汕头市、深圳市、珠海市、江门市、阳江市、茂名市、湛江市、惠州市	贝克喜盐草、卵叶喜盐草、单脉二药草、日本鳗草
广西壮族自治区	北海市、防城港市、钦州市	卵叶喜盐草、贝克喜盐草、日本鳗草、单脉二药草、羽叶二药草、小喜盐草
海南省	文昌市、琼海市、陵水黎族自治县、三亚市	泰来草、海菖蒲、圆叶丝粉草、卵叶喜盐草、单脉二药草、针叶草、日本鳗草
	海口市、澄迈县、临高县、儋州市、东方市、乐东黎族自治县、万宁市	贝克喜盐草、卵叶喜盐草、单脉二药草
	三沙市	泰来草、卵叶喜盐草、圆叶丝粉草、单脉二药草、针叶草

备注：表中未包含港澳台地区；我国的川蔓草属植物主要分布于底质偏向泥质的沿海咸水池塘、水沟等静水环境，在自然海域中较少见，本手册中不列入川蔓草属分布的地区。

我国常见的海草植物

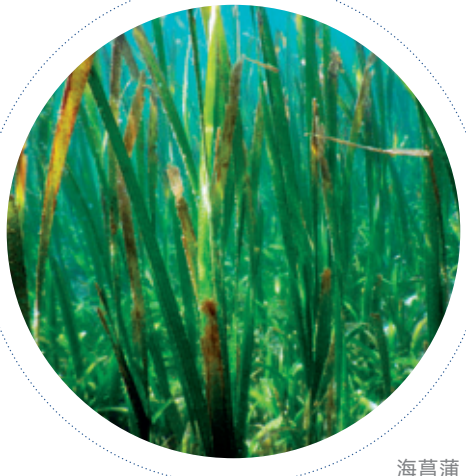


卵叶喜盐草

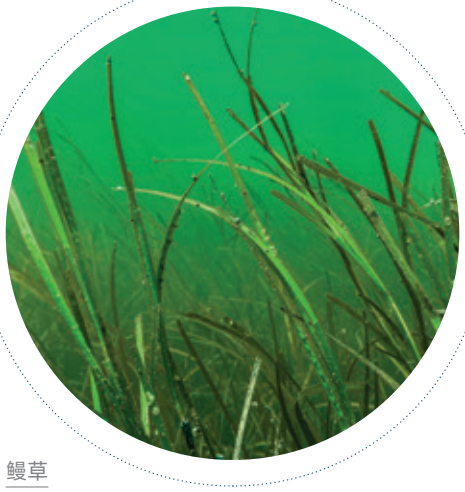


泰来草

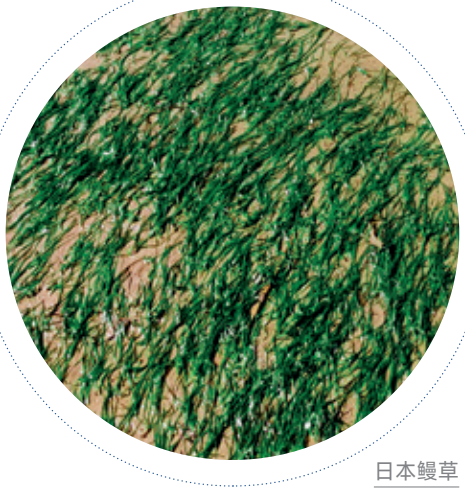
贝克喜盐草



海菖蒲



鳗草



日本鳗草

在此基础上，综合考虑修复区域及周边区域的海草床资源、修复技术成熟度与海草植物的生境要求等因素确定修复的物种及搭配方式，并注意以下事项：

◎ 优先选择技术成熟度高的物种，其中温带海域宜选择鳗草（*Z. marina*）、日本鳗草等海草种类，亚热带–热带海域宜选择泰来草、海菖蒲（*Enhalus acoroides*）、日本鳗草、卵叶喜盐草（*H. ovalis*）等海草种类。

◎ 生境条件重点考虑底质类型、水深和盐度等，我国主要海草植物的适宜生境可参考表3。

◎ 在保证海草成活和正常生长的前提下，尽可能丰富物种多样性，加强丛生鳗草（*Z. caespitosa*）、贝克喜盐草等濒危物种以及针叶草（*Syringodium isoetifolium*）、齿叶丝粉草（*Cymodocea serrulata*）等分布稀少物种资源的恢复。

表3 · 我国主要海草植物的适宜生境

物种	适宜生境
鳗草	生长于泥或泥沙底质中，中潮带至潮下带，水深一般 6 m 以浅，盐度一般为 20~35
日本鳗草	喜泥沙底质，主要分布在中潮带，水深一般 3m 以浅，盐度一般为 5~35
丛生鳗草	生长于沙与砾石底质中，主要分布在潮下带，水深一般 3~6 m，盐度一般为 20~35
红纤维虾形草	生长于礁岩性底质，中潮带至潮下带，水深一般 6 m 以浅，盐度一般为 20~35
卵叶喜盐草	生长于泥质与砂质底质中，中潮带至潮下带，水深一般为 20 m 以浅的水域，盐度一般为 20~35
贝克喜盐草	生长于泥质与中砂质底质中，主要分布在高潮带、中潮带，水深 3 m 以浅，盐度一般为 2~28
泰来草	生长于砂质与珊瑚砂底质中，中潮带至潮下带，水深一般 8 m 以浅，盐度一般为 25~35
海菖蒲	生长于砂质与珊瑚砂底质中，中潮带至潮下带，水深一般 5 m 以浅，盐度一般为 25~35
针叶草	生长于砂质与珊瑚砂底质中，中潮带至潮下带，水深一般 5 m 以浅，盐度一般为 25~35
单脉二药草	生长于泥质、砂质及珊瑚砂底质中，中潮带至潮下带，水深一般为 20 m 以浅的水域，盐度一般为 20-35
圆叶丝粉草	主要分布于砂质和珊瑚砂底质，中潮带至潮下带，水深一般为 10 m 以浅的水域，盐度一般为 25~35

4.7.4 | 海草种植

4.7.4.1 | 种植方式

海草的种植方法包括移植法、播种法和种苗种植法等。通常一个物种可采用不同的种植方式，宜根据修复时间、海草植物的物候特点和工程成本等因素综合选择种植方法。

● 移植法

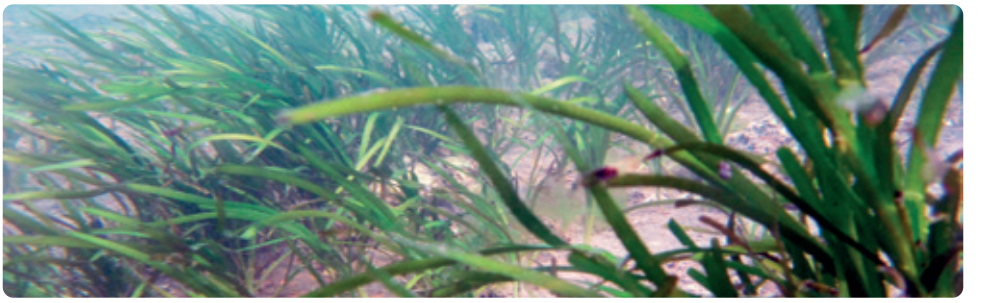
移植法是指从自然生长茂盛的海草床中采集长势良好的植株或草块，利用某种方式将其移植于待修复海域的一种方法；该方法利用海草无性生殖的特点，可以在较短时间内形成新的海草床，适用范围广，是迄今为止使用较多的海草床修复方法。直接从野外采集植株或草块可能会对现有的海草床造成影响，因此只有在当移植规模较小且附近有健康且充足草源的海草床时采用移植法，并且应充分评估移植的效果以及移植对供体海草床的生态影响，严禁出现边修复边破坏的现象。

● 播种法

播种法是指从自然生长良好的海草床采集成熟的海草种子（或胎生苗），然后将其直接散播到修复海域或埋藏于底质中，使其萌发生长形成稳定的植被。该方法是利用海草的有性生殖方式实现海草床的修复，可以保持海草的遗传多样性，对天然海草床影响较小、易于实施，适合大规模修复，特别在风浪较小的地区海草种子可以下沉、发芽和定植，而不被海水冲走[13]。这种方法尽管修复成本低，但出苗率也可能较低，主要适用于鳗草、日本鳗草等种子产量高、易存储的海草物种。

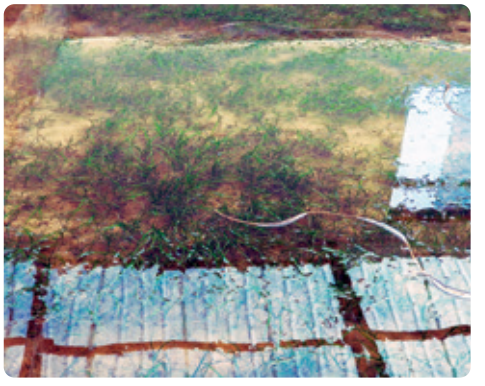
收集的鳗草生殖枝（佛焰苞）

收集的鳗草种子



● 种苗种植法

种苗种植法是先将种子置于适宜条件下培养，待其萌发并长成幼苗后再移栽的一种方法。该方法在避免对供体海草床产生损害、保持海草遗传多样性的前提下，可减少修复区域生境条件等对海草种子萌发和生长的限制，提高种子的发芽率和种苗成活率。此外，该方法也为种子（或胎生苗）成熟期以外的时间开展种植提供种苗保障。该方法适用于修复中等规模但具有重要性的退化海草床，或是对已修复的海草床实施的补种。种苗种植法主要适用于鳗草、日本鳗草等种子产量高、易收获的海草物种[14,15]。开展一定规模的修复项目时（如＞10万株），宜采用繁育的苗种进行种植，避免对供体海草床的潜在破坏。



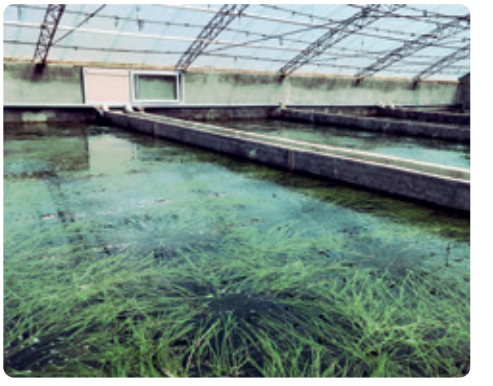


表 4 · 我国常见海草物种的种植方式

物种	适用的种植方式	适用条件说明
鳗草	移植法、播种法、种苗种植法	① 修复规模较小，移植的植株易获得、便于运输、对供体海草床影响较小或不造成影响时，可选择成体移植。由于植株为成体，该方法相比播种法具有相对较高的成活率； ② 修复规模大、自然植株获得困难或对草床影响较大，且目标修复区水流平缓、种子（或胎生苗）被动物摄食的压力小时，适合用播种法，该方式操作相对简便，劳动强度相对较小，但幼苗生长的各个阶段存在的限制较多，成活率相对较低，需提高播种的密度； ③ 修复规模较大，移植植株难以获得，海区水动力较强，种子因流失和被摄食、被掩埋造成的损失比例高时，适宜采用种苗栽植；使用较大规格的种苗有利于成活率。
日本鳗草	移植法、播种法、种苗种植法	除生长的水深范围不同外，日本鳗草具有与鳗草较接近的生境条件，修复方式的选择参考鳗草。
卵叶喜盐草	移植法（优先）、播种法、种苗种植法	① 通常难以采集到足够的种子，因此优先采用移植法； ② 对于具有丰富种子产量的种群，可采集种子直播或培养成种苗进行栽植，该方式能够减少对原生草源破坏。
贝克喜盐草	移植法、种苗种植法	① 修复区域环境适宜且有足够量草源时，宜采用草块法移植，采用移植方式主要为海草成体，植株环境抗逆性较好； ② 修复区域环境适宜且有培育苗种时，采用种苗栽植，该方式能够减少对野生种源破坏。
泰来草	移植法、种苗种植法	① 修复区域环境适宜且有足够量草源时，宜采用单株或草块法移植，采用移植方式主要为海草成体； ② 修复区域环境适宜且有培育苗种时，采用种苗栽植；该方式能够减少对野生种源破坏。
海菖蒲	移植法、种苗种植法	① 修复区域环境适宜且有足够量草源时，可采用单株或草块移植，采用移植方式主要为海草成体； ② 修复区域环境适宜且有培育的苗种时，采用种苗栽植，该种植方式能够减少对野生种源破坏。
单脉二药草	移植法、种苗种植法	① 修复区域环境适宜有足够量草源时，可采用单株或草块移植，采用移植方式主要为海草成体； ② 修复区域环境适宜且有培育的苗种时，采用种苗栽植，该种植方式能够减少对野生种源破坏。

4.7.4.2 | 海草移植法

(1) 移植方法

移植法包括草块移植法和植株移植法，基于不同海草物种形态大小等差异选择移植方法。日本鳗草、卵叶喜盐草、贝克喜盐草等小型海草可采用草块移植法；鳗草、海菖蒲、泰来草等较大型海草可采用植株移植法。

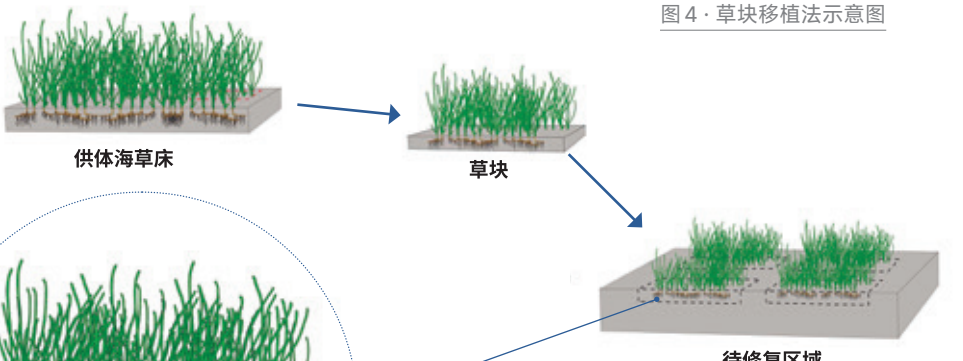
● 草块移植法

直接在现有的海草床内植株密集区域挖取圆柱体、长方体或其他不规则体的草块。在采集移植单元时，草块移植单元的挖取深度大于海草地下根茎分布深度，草块移植单元的采集间隔大于1 m；鳗草、海菖蒲和泰来草草块的采集面积以不超过0.25 m^2为宜，日本鳗草、泰来草和贝克喜盐草草块的采集面积以不超过0.12 m^2为宜。尽量从不同海草床区域采集草块，减少对局部海草床的影响。

移植单元采集后宜尽快完成移植或者进行临时保存。移植单元在保存和运输过程中，宜保持植株湿润新鲜，必要时可使用冰袋以保持新鲜。具有密集的根系和较长叶片的物种，在移植和转移过程中需注意避免对根系和叶片造成损伤。

移植时，首先在修复区域挖出比移植单元略大的坑，将草块放入后压实（图4）；草块移植密度根据草块大小确定，草块越大，密度越低。海流流速较高时可用U型或V型等枚订固定（图5），可选用不锈钢或玄武岩纤维材料等材质制作的枚订。对小型海草，在移植后可适当使用网罩对种苗进行保护。

图4 · 草块移植法示意图



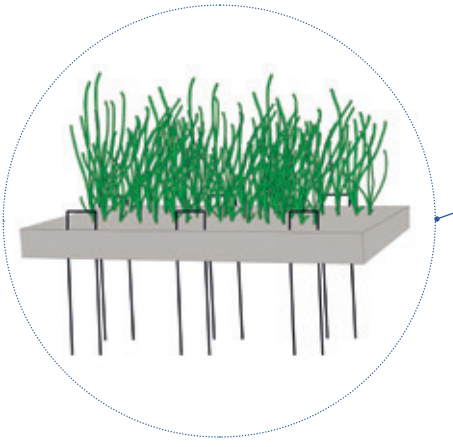


图5 · 使用U型枚订对草块移植单元进行固定

● 植株移植法

鳗草、海菖蒲和泰来草等物种，采集草块或者海草植株个体后，将其分截制作移植植株单元。为增强海草植株相互之间的“凝聚力”，提高移植的成活率，每个移植单元可由一定数量的茎枝数量组成，即将2株及以上植株组成1个植株束作为移植单元（图6）。例如，鳗草植株移植单元包含3~4个茎枝，泰来草植株移植单元的茎枝数不低于4个。

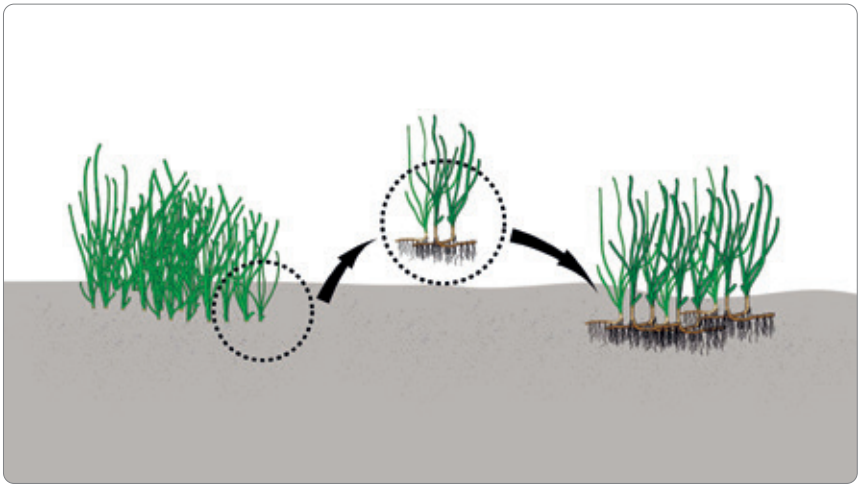


图6 · 海草植株的移植单元示意图

对于叶片较长的海草植物（如鳗草和海菖蒲），可剪除部分叶片使其叶片长度控制在20~30cm，便于植物的运输和种植，并减少种植后水流对植株的冲刷作用。

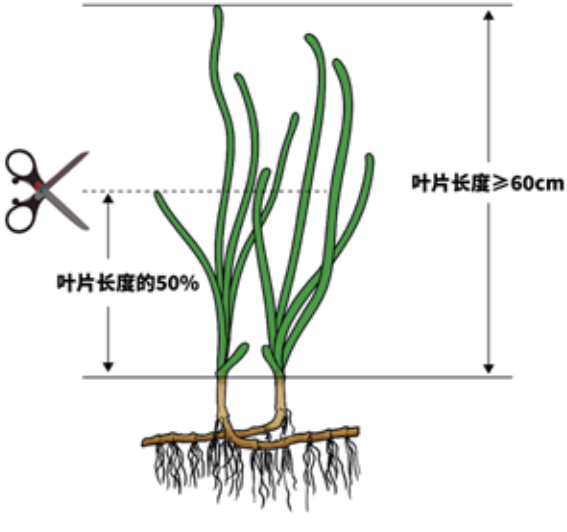


图7 · 修剪海草植株的叶片

在修复的区域，直接利用海草移植单元进行种植，或辅以器具将根状茎埋入底质并固定。根状茎埋藏深度的确定宜参照供体海草床中海草植物根状茎的生长深度。海草的移植方法如下：

◎ **直插法：**将移植单元根状茎植入底质中，移植单元间距宜为25~50 cm；该方法适用于海流流速低的海区。

◎ **枚订法：**使用U型、V型或T型枚订，将移植单元固定于移植海域底质中，将根状茎掩埋、压实，移植单元间距同直插法；适用于海流流速中等的海区。

◎ **框架法：**用麻绳或棉绳等易降解材料将移植单元根状茎绑缚于密度较大的环保材质制作的移植框架上，将其压入移植海域的底质内，将根状茎掩埋、压实；移植框架的间距宜为50~200 cm；待海草植株定植成活后，可对移植框架进行回收再利用。可用于海流流速较高的海区。

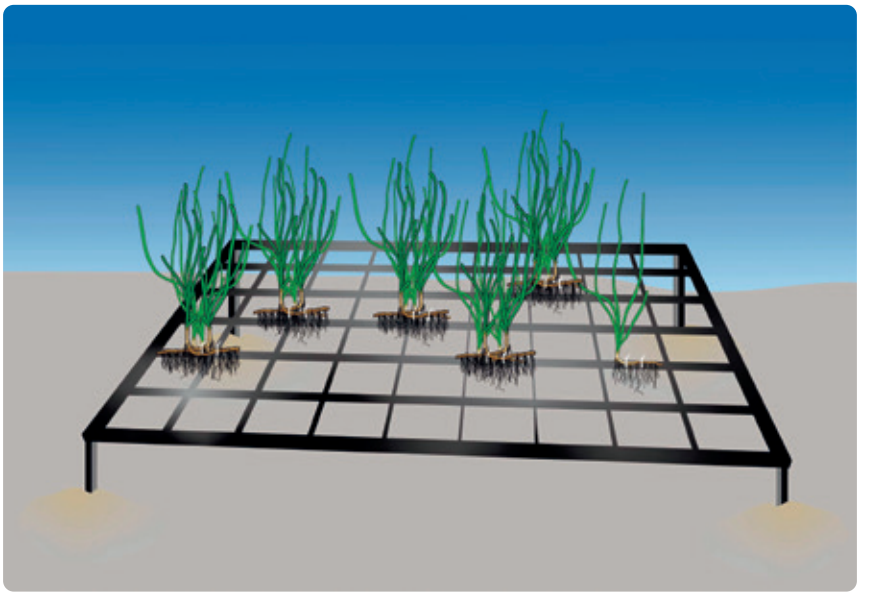


图8 · 框架法示意图

◎ **根状茎配重法：**用麻绳或棉绳等易降解材料将移植单元的根状茎绑缚或系固于长条状石块等硬质块状物上，将其掩埋于移植海区底质中[16]。

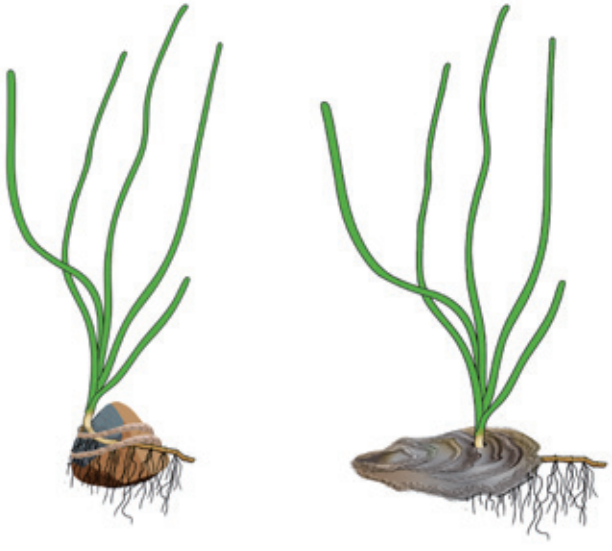


图9 · 根状茎配重法（左）和牡蛎壳移植法（右）示意图

◎ **牡蛎壳移植法：**使用重量大于10 g的牡蛎壳，在每个贝壳上钻两个直径为5~7 mm的孔，各插入一个鳗草芽，形成一个种植单元[17]。贝壳具有重力，抛入后可沉入海底。

（2）移植时间与移植密度

海草的生长具有季节性，移植海草的存活与生长很大程度上受移植时间和移植密度的影响，通常在生长季移植的效果更好；移植时间宜根据移植物种的物候特征和修复区的气候特征，并充分考虑移植工作的安全性和舒适性。

我国常见海草物种的移植时间可参考以下要求[2]：

> **温带海域：**鳗草移植时间为4月~6月或9月~10月；日本鳗草移植时间为5月~6月；
>
> **热带—亚热带海域：**日本鳗草移植时间为11月~翌年2月；海菖蒲、泰来草、卵叶喜盐草移植时间为3月~6月。

移植密度宜充分考虑不同海草物种植株形态大小等差异，在生境条件较差时可适当采用密植的方式提高海草的定植效果。其中，鳗草、海菖蒲和泰来草的种植密度以≥4株/m^2为宜，日本鳗草和卵叶喜盐草以≥8株/m^2为宜。

【案例】

根状茎绑石法在唐山海草床修复中的应用

唐山曹妃甸鳗草海草床是我国面积最大的海草床，面积达3200公顷，受渔业生产作业等高强度人类活动破坏，海草床边缘区域退化严重，部分区域已完全消失，亟需开展海草床生态修复。

2018年唐山市开始鳗草的生态修复，修复中采用根状茎绑石配重的方法进行植株移栽。采用铁铲或其他工具人工挖取粗壮的鳗草茎枝，在海水中洗掉海草根状茎附带的底质及其他杂物，随后对采集到的鳗草植株进行标准化，叶片保留20 cm，地下茎保留3~5个茎节。取3~4株具根茎的新鲜鳗草植株，以地下茎和叶鞘的节点将其对齐，用可降解的绳子（棉绳、麻绳等）将鳗草植株结实地系绑在一个50~150 g的石头（选择适合绑扎的石块）上，如此形成一个移植单元。

在移植时，在移植地点用小铲挖5 cm深的坑，将绑好石头的移植单元埋入沉积物中并压实，地下茎应尽量摆放至水平状态。每组移植单元之间间隔20~30 cm，10行10列构成一个3 m × 3 m的移植斑块。移植半年后，海草的茎枝密度增加了4倍，在移植1年后种植的海草斑块外沿开始扩展，5年后种植区域形成连片分布的海草。

根状茎绑石法制作的移植单元

海草床修复半年后

海草床修复1年后

海草床修复5年后

4.7.4.3 | 播种法

(1) 繁殖材料的采集与处理

在海草种子成熟季节，采集生殖枝等生殖材料，用于收集种子（或胎生苗）或直接播种。为了最大限度地发挥种子存活和生长的潜力，宜在修复区域就地采集海草种子。如海草床严重退化或者采用重建性修复时，宜在与修复区域环境条件相似的区域采集种子，需重点考虑水深、退潮后的暴露时间和底质环境等生境条件的相似性。选择修复区域临近的海草床采集海草种子（或胎生苗），有助于保障生物安全和遗传多样性[18]。选择供体海草床时不仅要考虑对供体海草床的影响，还应该考虑种子在恢复区域的环境条件下存活和生长的潜力，因此需要对供体海草床的状况进行初步评估，以判断其是否适合收获种子（或胎生苗）。

我国主要海草物种的种子采收期如表5所示。

种子（或胎生苗）的采集宜充分考虑海草植物花果期。在海草种子（或胎生苗）成熟季节进行采集，以种子散落开始至种子散落高峰期之间为宜，即10%的生殖枝种子成熟并散落至25%的生殖枝种子成熟并散落的时间范围内进行采集。种子采集时，单位面积种子采集强度不宜高于单位面积种子产量的10%。

表5 · 不同海草植物的适宜采种时间

种类	地区	适宜时间
鳗草	山东、河北、辽宁	5月中旬至7月
日本鳗草	山东、辽宁	8月至11月
	广西	4月至6月
	广东、海南	6月至9月
海菖蒲	海南	7月至12月
泰来草	海南	10月至12月

海草种子（或胎生苗）收集宜充分考虑不同海草物种种子（或胎生苗）的形态特征，考虑不同海草物种休眠期等特点选取种子的运输和保存方式：

◎ 温带海域的鳗草和日本鳗草：采集的生殖枝置于海水池中通氧暂养，或装入网袋（孔径＜种子短径）并固定在船只、木桩、筏架等设施上进行海区暂养。待种子脱落后，人工搓洗生殖枝去掉茎枝、叶片等杂质，收集种

子。种子短时间运输（≤24 h），可将种子放入网袋（孔径＜种子短径），直接置于泡沫箱或恒温箱，用海水浸湿的毛巾覆盖。长时间运输，需将种子放入盛有自然海水的可密封容器，置于泡沫箱或恒温箱，温度应控制在4~20 °C（可视需要加入冰袋或启动控温装置等）。种子宜置于温度为4~7 °C的海水中冷藏保存，或装入网袋在海水池中保存；如需长期保存（3个月~1年）时，种子宜置于温度为4~7 °C、盐度为40~50的人工海水中冷藏保存，可添加抗菌剂（如纳米银溶液、硫酸铜溶液）防止种子发霉腐烂。种子在运输过程中宜浸水低温保存。

◎ 热带海域的海菖蒲和泰来草：在海草果实成熟时采集果实，放入网袋后固定于海区中进行现场暂养，或置于海水池中暂养，当果实爆裂后，收集种子；种子采集后宜尽快完成种植或进行临时常温保存。

潜水员采集鳗草生殖枝

在天然海域挂袋保存海草种子

室内保存的鳗草种子

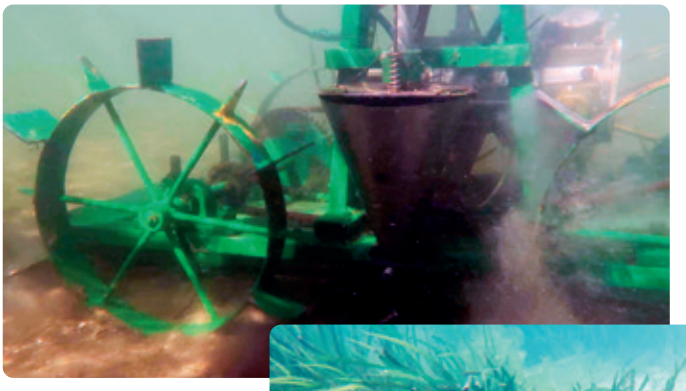
（2）播种方法

种子修复法包括直接播种法、人工埋种法、泥块（丸）播种法、网袋播种法和生殖枝播种法等；其中，直接播种法和生殖枝播种法适用于鳗草、日本鳗草等种子产量高、易收集和存储的海草物种。

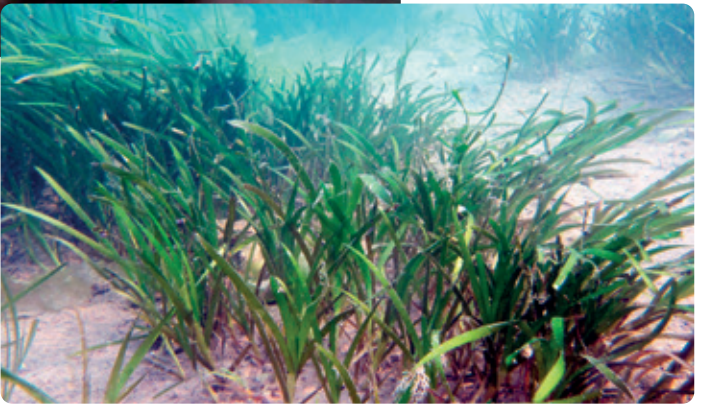
● 直接播种法

对于底质较软的泥沙底质，低潮时将海草种子直接播撒在拟修复海域（图10）。播种后，宜增加网罩进行保护。该方法适用于海流流速较低的海域。

图10 · 直接播种法示意图



机器播种鳗草种子



播种海域长出的鳗草

● 人工埋种法

在拟修复的海草床海底表层挖取播种空穴，将种子放入空穴后，用底泥将种子掩埋、压实（图11），掩埋深度以2~3 cm为宜。该方法适用于海流流速较低的海域。

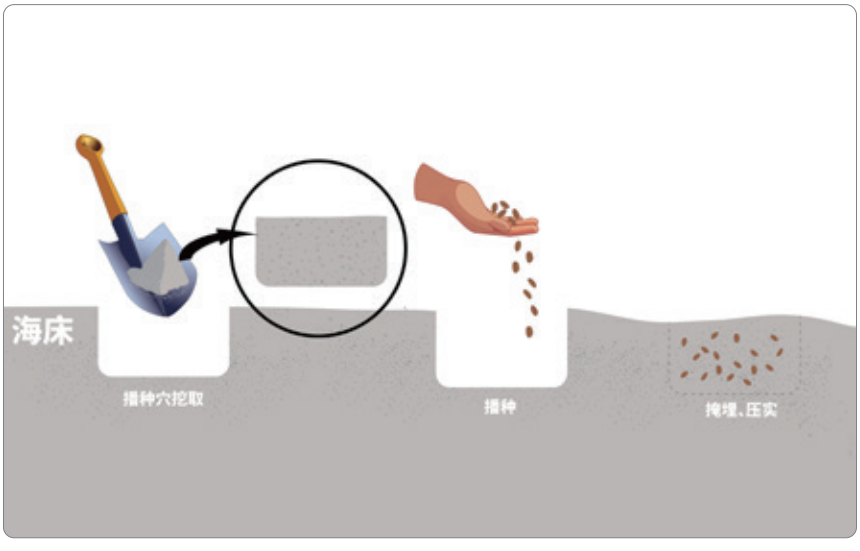


图11 · 人工埋种法示意图

● 泥块（丸）播种法

使用黏土和细沙加水制成泥块，将种子置于泥块（丸）内形成播种单元（图12），低潮时将泥块（丸）投掷于修复海域底质表层并掩埋，避免泥块（丸）被水流冲散或流失。该方法适用于海流流速中或较低的海域。

图12 · 泥丸制作示意图

【案例】

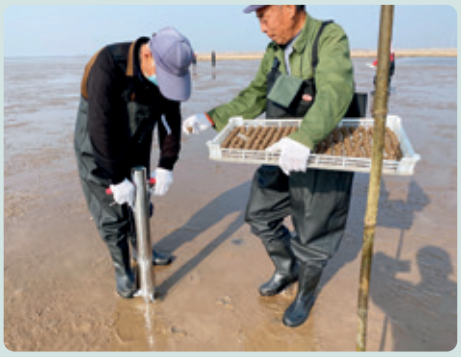
泥丸播种法在东营海草床修复中的应用

黄河口历史上分布有我国面积最大的日本鳗草海草床，2015年其面积达到1030公顷。但受台风、互花米草入侵和人类活动等因素影响，海草床资源严重衰退，近年来分布面积仅几公顷，零星分布。

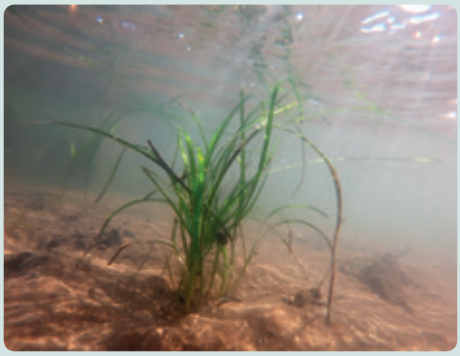
2022年启动，当地开始实施日本鳗草的植被恢复工作，并采用泥丸播种法进行海草种子的种植[19]。该方法使用购买的商品化海泥，与海水按5: 1的比例混合形成软泥，将鳗草种子包在湿泥丸中作为一个种植单元，每个泥丸约10粒种子；种子包于泥丸内部，离泥丸表面至少3 mm，泥丸直径为2~3 cm。

泥丸制作好后在24小时之内播种，播种前每隔3小时喷水一次，保持泥丸表面湿润。于低潮期间使用栽苗器在泥滩挖孔埋藏泥丸，每间隔25 cm种一粒泥丸，泥丸种植深度为2~3 cm。

制作的泥丸



将泥丸播种于潮滩



播种后长出的海草

● 网袋播种法

将种子与泥沙混合，装入棉制或麻制等易降解材料制成的网袋，网袋孔径宜小于种子短径，网袋规格可根据种子大小及海流流速进行调整。在网袋中可加入一些底质，如底泥[20]和海草碎屑[21]，提高海草的萌发效果。低潮时将网袋投掷于修复海域或将网袋平铺在底质的表面，并用U型、V型或I型等枚订将网袋固定于底质表面。待种苗茎枝达到适宜高度后，可剪碎并回收网袋避免造成污染。该方法可用于海流流速较高的海域。

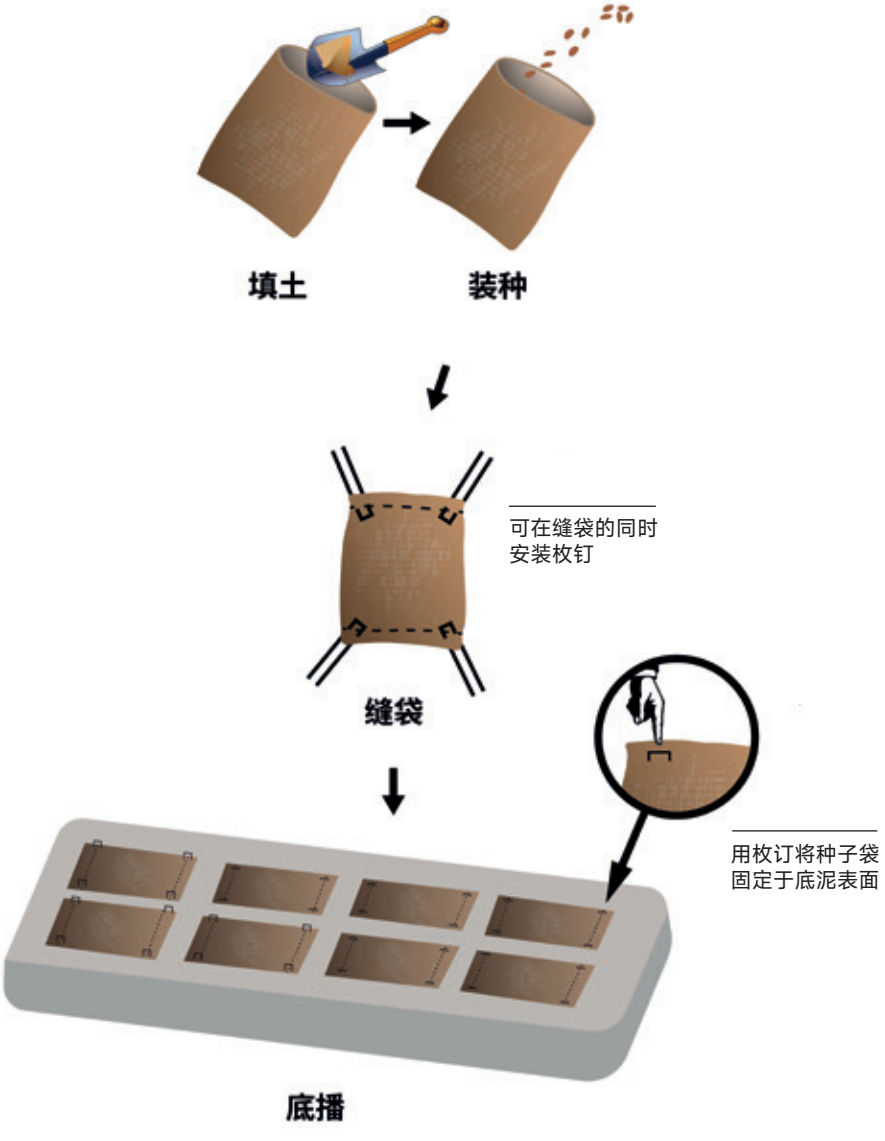


图13 · 网袋播种示意图

【案例】

网袋播种法在山东威海天鹅湖海草床修复中的应用

山东荣成天鹅湖是典型的潮汐潟湖，是现今我国北方为数不多且保存较为完好的沙坝潟湖体系之一。湖内大部分区域水深小于1.5 m，大潮潮差1.15 m，小潮潮差0.64 m，潮流性质属于不规则半日潮性质。

1979年，由于水产养殖而人工关闭了潟湖入口导致水体交换不良造成海草床的退化，到1982年底当地的鳗草几乎完全消失。人工堤坝于1986年被拆除，水文环境得到有效改善。

2010年以来，鳗草的植被恢复陆续开展。在海草床的植被恢复中，当地采用了网袋播种法进行种子种植[20]。防护网袋使用孔径为1 mm（孔径应小于种子短径）的粗麻布缝制成，网袋尺寸为120 cm × 90 cm（长×宽）。将鳗草种子与25~30 kg的沉积物混合并装入网袋中并将网袋缝合（400粒种子/袋），填充沉积物由细砂和粉砂/淤泥按照1: 3比例混合而成。

在修复区域，将网袋平整为2~3 cm厚铺于海底表面，并用U形钉固定。

装填完成的播种网袋

用U形钉固定在海底的播种网袋

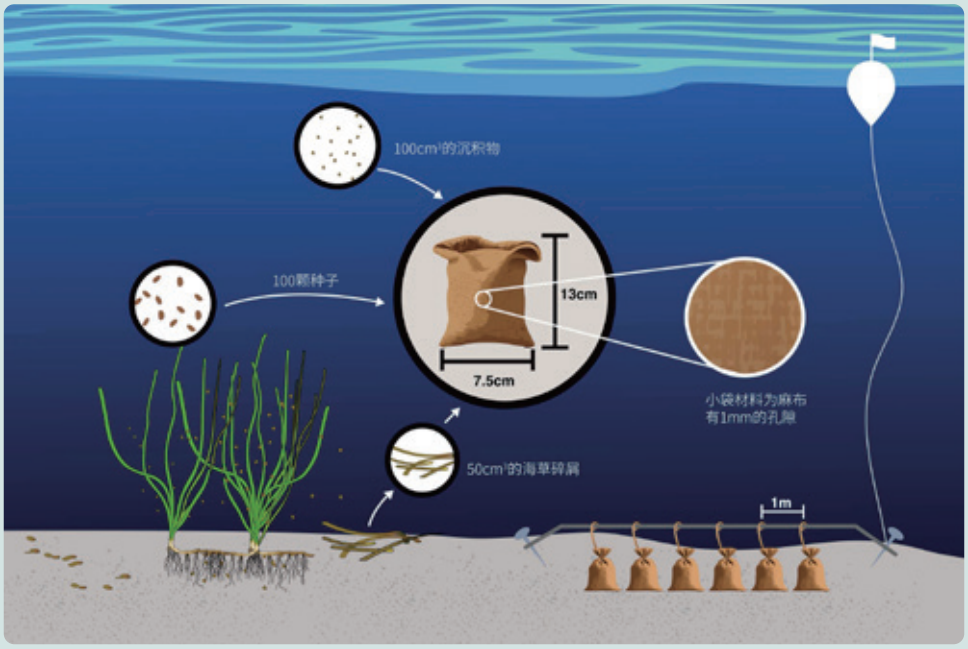
网袋播种法长出的鳗草

【案例】

小袋法在英国威尔士海草床修复中的应用

为减少潮汐海流运动对播种海草种子的影响，英国科学家在威尔士海域做了用小袋法进行海草床修复的实验[21]。该方法将大约100粒种子连同100 cm^3的沉积物和50 cm^3海草碎屑一起装入小麻袋。麻袋无涂层，尺寸为13 cm × 7.5 cm，孔径在1 mm左右；填装的沉积物采集于现有海草床内，海草碎屑是来自采集种子的茎枝的降解残骸。将种子袋捆绑固定在麻绳上，每隔1 m捆绑1个种植袋，每条绳子上有六个种子袋。

将带有种子带的绳子使用钢钉固定在修复区域。这种方法取得了较好的效果，监测结果显示，在适宜的环境中，94%的袋子都长出了海草幼苗，每个袋子在种植10个月后平均长出了约4个成熟的茎枝。



小袋法种植的示意图[18]

● 生殖枝播种法

将生殖枝采集后直接固定在拟修复海域，待种子成熟后不断散落于海底并埋入底质中，经种子萌发、幼苗定植后形成稳定的植被。可用麻绳或棉绳等易降解材料将生殖枝下端绑缚或系固于长条状石块（或者人工加工的硬质块状物）上，将其投掷在海底表面；也可将生殖枝夹在绳子上，绳子的一端固定在海底，另一端通过浮球漂浮在水面[22]。

图 14 · 生殖枝播种法被用于海草植被修复

（3）播种时间与密度

海草种子（或胎生苗）的萌发与幼苗定植很大程度上受播种时间和播种密度的影响，播种时间为自然海域种子萌发前1~2个月，播种密度通常根据设定的修复目标和种子（或胎生苗）的成苗率设计；成苗率可按照1~10%预估，在环境适宜度高、水流流速较低的区域可按照10%预估，反之则应适当降低预估的成苗率并提高播种密度[2,23,24]。

我国常见的海草物种的播种时间和播种密度可参考表6。

表 6 · 部分地区海草植物的适宜播种时间和播种密度

地区	种类	适宜播种时间	播种密度（粒/m^2）
辽宁，河北，山东	鳗草	9 月至 11 月中旬，及翌年 3 月	⩾ 15
	日本鳗草	10 月至 11 月，及翌年 3 月	⩾ 30
福建、广东、广西、海南	日本鳗草	4 月至 6 月	⩾ 30
	卵叶喜盐草	3 月至 6 月	⩾ 15
海南	海菖蒲	3 月至 6 月	⩾ 4
	泰来草	3 月至 6 月	⩾ 4

4.7.4.4 | 种苗种植法

通过育苗再进行移植已经成为全球普遍使用的一种修复方法。该方法将海草种子置于载有人工流水系统的培养池或海水池塘中，萌发培育成种苗，至种苗达到适宜高度后，将种苗移植到拟修复海域。

(1) 海草植物育苗

可于近岸建立陆基温室内或海湾/近岸的围堰池塘进行海草育苗。陆基温室应具有海水给排水系统、适宜盐度、良好的透光能力和一定的控温能力的培养池，围堰池塘应具有良好的换水能力，以可连通海水并实现潮汐涨落的池塘为宜。

选取富含有机质的粉砂、粉砂质砂作为育苗基，筛除大块砾石/贝壳备用。播种前用高锰酸钾等对基质进行消毒。在培养池或池塘内先铺一定厚度的育苗基质，将种子均匀撒播于基质表面，密度应适中，避免过多种子堆积在一起，播种后覆盖 1 cm 厚的基质并轻轻压实。也可在塑料育苗钵中进行育苗，对于体型较小、叶片较薄的海草物种，适合放置于营养钵中培育，以减少后续移植对植株的破坏。

播种后，要维持培养池或池塘内水体的流动和水温；对温度、光照、换水频率等进行适时调整可以提高苗的生长速度和出苗规格，也利于增强植株抗性和对环境的适应性，提高移植成活率。在夏季和秋季可加快水体交换速率，并且避免水温过高，冬季和春季期间可减缓换水频率，并维持一定的适宜温度。

（2）种苗移植

当播种苗茎枝高度至10~20 cm高时，可分装于营养钵中进行移植，也可直接使用海草植株进行移植（参考4.7.4.2部分）。

使用营养钵进行移植时，宜采用生物降解的材料制作营养钵。营养钵可选择方形或圆形，高度以6~8 cm为宜，面积可在100~300 cm^2。植入海草后，钵内适当填充基质，以增加纸浆营养钵的重力，提高稳固性，同时也为海草幼苗提供初期生长所需的养分。将带有海草幼苗的营养钵运输至待修复区，移植过程中宜尽可能减少幼苗根部的损伤。在移植区，挖取空穴，放入营养钵后用底泥进行掩埋固定。

用营养钵作海草移植单元

潜水员水下栽植种苗