

自然资办函〔2021〕1809号附件

红树林 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
国家林业和草原局湿地管理司

编制单位

自然资源部第三海洋研究所

编制组成员

陈光程, 陈顺洋, 陈彬, 安文硕, 俞炜炜, 罗为检, 马志远, 王育周, 郑鹏翔

技术指导专家

卢昌义	厦门大学	教授
叶 勇	厦门大学	教授
王文卿	厦门大学	教授
廖宝文	中国林业科学研究院热带林业研究所	研究员
周秋麟	自然资源部第三海洋研究所	研究员
李 燊	深圳市红树林湿地保护基金会	副秘书长
李元跃	集美大学	教授
杨 琼	广东内伶仃岛-福田国家级自然保护区管理局	正高级高工
林广旋	广东湛江红树林国家级自然保护区管理局	高级工程师
莫竹承	广西红树林研究中心	副研究员
何斌源	广西壮族自治区海洋研究院	研究员
朱耀军	中国林业科学研究院湿地研究所	副研究员
彭逸生	中山大学	副教授
张 颖	岭南师范学院	教授
王 静	北京市企业家环保基金会	海洋项目总监
张 苇	广东湛江红树林国家级自然保护区管理局	高级工程师

照片提供

张颖, 王文卿, 杨勇, 卢昌义, 王静, Jorge López-Portillo, 金海峰, 何韬, 陈玉凯, 张静文, 刘汉中, 赵彩云, 张晶, 康竹佳, Nanang Sujana, Witteveen+Bos, 林广旋

目录

前言	/01
1. 适用范围	/02
2. 术语和定义	/03
3. 红树林生态修复原则	/05
4. 技术要求	/06
4.1 技术流程	/07
4.2 生态本底调查	/09
4.2.1 生态本底调查目的	/09
4.2.2 生态本底调查区域	/09
4.2.3 生态本底调查内容和方法	/10
4.3 生态退化诊断	/15
4.4 修复目标与修复方式	/16
4.4.1 生态修复目标	/16
4.4.2 修复方式	/18
4.5 修复措施选择	/22
4.5.1 修复区域确定	/22
4.5.2 生境修复	/23
4.5.3 红树林植被修复	/36
4.5.4 生物生境修复	/44
4.5.5 修复区域管护	/52
4.6 监测、效果评估和适应性管理	/54
4.6.1 生态修复监测	/54
4.6.2 生态修复效果评估	/58
4.6.3 生态修复适应性管理	/60
规范性引用文件	/61
参考文献	/61
附录 红树林的知识	/63
一、红树林的分布	/63
二、红树林分布的影响因素	/67
三、红树植物对海洋环境的适宜	/69
四、红树林生态功能	/77
五、红树林破坏和生态退化	/80
附录参考文献	/126

前言

红树林生态系统具有防风消浪、促淤护岸、固碳储碳和维持生物多样性等重要功能。上世纪,随着人口增长和社会经济发展,沿海地区开展的围垦造田、围建盐田、围海养殖、填海造地等活动,造成我国红树林面积大幅萎缩,生态服务功能严重衰退。当前,红树林面临的威胁已由早期的毁林破坏转变为因人为和自然因素共同作用导致的生态退化,海洋污染、全球气候变化、外来生物入侵、病虫害频发和岸线侵蚀等因素对红树林的负面影响日益凸显,给我国红树林生态保护和修复带来了极大的挑战。

加强红树林保护和修复是我国海洋生态文明建设和国土空间生态保护修复的重要内容。近年来,沿海各地通过实施“蓝色海湾”整治行动、海岸带保护修复工程、沿海防护林建设工程、湿地保护修复等重大工程,不断加大红树林保护修复力度,取得积极进展。在全社会的共同努力下,我国初步扭转了红树林面积急剧减少的趋势,成为世界上少有的几个红树林面积增加的国家之一。

尽管如此,当前我国的红树林生态修复工作中仍存在诸多不足之处。例如,把植被恢复作为单一目标,较少关注红树林生态系统的整体性修复,对退化红树林和濒危红树物种保护修复的重视程度不够。在植被修复过程中,对于修复区域的选址、修复技术和方法的使用科学性不足,造成修复效果不理想。

2020年8月14日,自然资源部、国家林业和草原局印发了《红树林保护修复专项行动计划(2020-2025年)》,要求对现有红树林实施全面保护,推进红树林自然保护地建设,逐步清退自然保护地内的养殖塘等开发性、生产性建设活动,恢复红树林自然保护地生态功能;实施红树林生态修复,在适宜恢复区域营造红树林,在退化区域实施抚育和提质改造,扩大红树林面积,提升红树林生态系统质量和功能。

2011年,原国家林业局发布了林业行业标准《红树林建设技术规程》(LY/T 1938-2011),2017年,原国家海洋局发布了海洋行业标准《红树林植被恢复技术指南》(HY/T 214-2017),在指导我国红树林植被的人工恢复工作上起到了积极的作用。2021年,自然资源部印发《海洋生态修复技术指南(试行)》,以科学规范海洋生态修复工作的开展,其中对红树林生态修复的原则、基本要求、修复流程和主要技术要点进行规定。在此基础上,为指导地方科学有序推进红树林保护修复工作,自然资源部会同国家林业和草原局组织编制本手册。

1. 适用范围

本手册适用于我国退化红树林和红树林迹地的生态修复工作；修复的对象包括具体红树林地块和某一区域内的红树林，以及历史上是红树林但被转化为滩涂或养殖池塘等其他利用类型的湿地。

本手册给出了红树林生态修复的原则、技术流程、工作内容，以及生态本底调查、退化诊断、修复目标与修复方式确定、修复措施选择、跟踪监测、效果评估和适应性管理等工作对应的技术要求和方法。



2. 术语和定义

下列术语和定义适用于本技术手册。

1. 红树林 *mangroves*

分布于热带和亚热带地区潮间带以红树植物为主体的植物群落。

2. 真红树植物 *true mangrove*

专一性地生长在海岸潮间带的木本植物及 2 种草本植物（卤蕨和尖叶卤蕨）。

3. 半红树植物 *mangrove associates*

能生长于潮间带，有时成为优势种，但也能在陆地生长的两栖木本植物。

4. 红树林伴生植物 *mangrove-associated plants*

偶尔出现于红树林中或林缘，但不成为优势种的木本植物，以及出现于红树林下的附生植物、藤本植物和草本植物等。

5. 红树林生态系统 *mangrove ecosystem*

以红树植物为主体的，包含了其它植物、动物、微生物、土壤和水体之间相互依存相互制约，并与环境相互影响，形成的生态系统。

6. 红树林生态修复 *mangrove ecological restoration*

通过将红树植物繁殖体 / 幼苗引入退化的红树林区域，或者通过改善原有红树林的生境条件，使其可以形成稳定的红树林生态系统并具有与原生红树林生态系统相似的生态功能和服务。

7. 红树林迹地 *deforested mangrove site*

红树林被破坏后还未恢复红树林植被的区域。

8. 繁殖体 *propagules*

红树植物的繁殖材料，包括胚轴、果实和种子等。

9. 无植被滩涂 *non-vegetated flat*

无高等植被分布的砂质和泥质潮间带区域。

10. 参照生态系统 *reference ecosystem*

反映生态修复目标的特定且符合实际的生态系统，作为生态修复目标的模型，表征未退化的生态系统组成、结构、功能和过程等关键属性。

11. 生态修复适应性管理 *adaptive management of ecological restoration*

根据修复后生态系统的监测结果评估修复目标的实现情况及技术措施的有效性，据此通过修正、改进修复技术措施，或引入进步的修复技术和措施，以促进生态系统的正向发展。

12. 潮间带 *intertidal zone*

位于平均大潮高、低潮之间的海水覆盖的区域。

13. 高潮带 *high intertidal zone*

位于潮间带的最上部，上界为大潮高潮线，下界是小潮高潮线。

14. 中潮带 *middle intertidal zone*

潮间带中，上界为小潮高潮线，下界是小潮低潮线的区域。

15. 低潮带 *low intertidal zone*

潮间带中，上界为小潮低潮线，下界是大潮低潮线的区域。

16. 保存率 *preservation rate*

修复区域苗木种植成活后，在监测期仍然正常生长的苗木株数占种植时总苗木株数的百分比。

17. 成活率 *survival rate*

修复区域苗木成活株数占总种植苗木株数的百分比。

18. 覆盖度 *canopy coverage*

植物群落中各种植被遮盖地面的百分比。

3. 红树林生态修复原则

开展红树林生态修复应遵循下述原则：

坚持生态优先，自然修复。注重天然红树林和原生物种，尤其是濒危红树物种的保护和修复，优先开展退化红树林的修复；红树林生态修复宜充分利用红树林的自然再生能力，实现植被和生态系统的自然恢复。

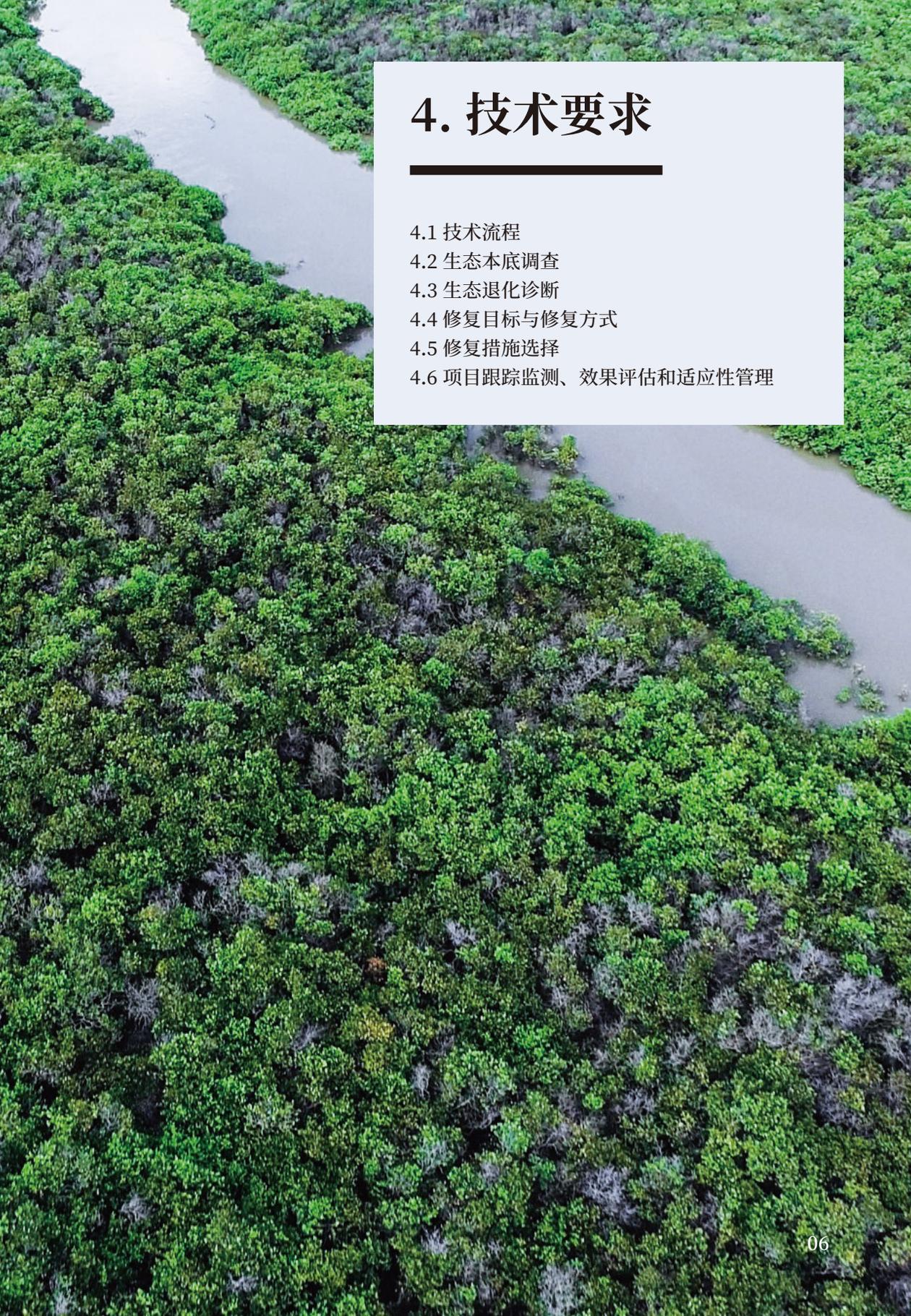
坚持因地制宜，科学修复。生态修复的必要性充分，修复目标清晰，选址和修复技术方法科学合理；在植被修复的同时要充分考虑其他生物群落和生态过程，实现生态系统的修复；重视红树林周边滩涂和浅水水域的保护和修复，保障红树林地理空间的完整性和连通性。

坚持统筹规划，稳步推进。修复项目应与区域发展和国土空间规划相吻合，避免因红树林生态修复破坏鸟类栖息地、海草床和盐沼等其他重要湿地，以及对泄洪通道等其他用途空间产生影响。

坚持公众参与，合理节约。考虑邻近社区民众的生计和受益，鼓励修复地周边区域公众的积极配合和参与；在保证红树林植被恢复的前提下应尽量采用成本经济的修复手段、技术和原材料，减少生境改造等造成的工程投入。



社区居民的生计与红树林密切相关，社区参与是红树林生态修复项目成功的重要保障



4. 技术要求

4.1 技术流程

4.2 生态本底调查

4.3 生态退化诊断

4.4 修复目标与修复方式

4.5 修复措施选择

4.6 项目跟踪监测、效果评估和适应性管理

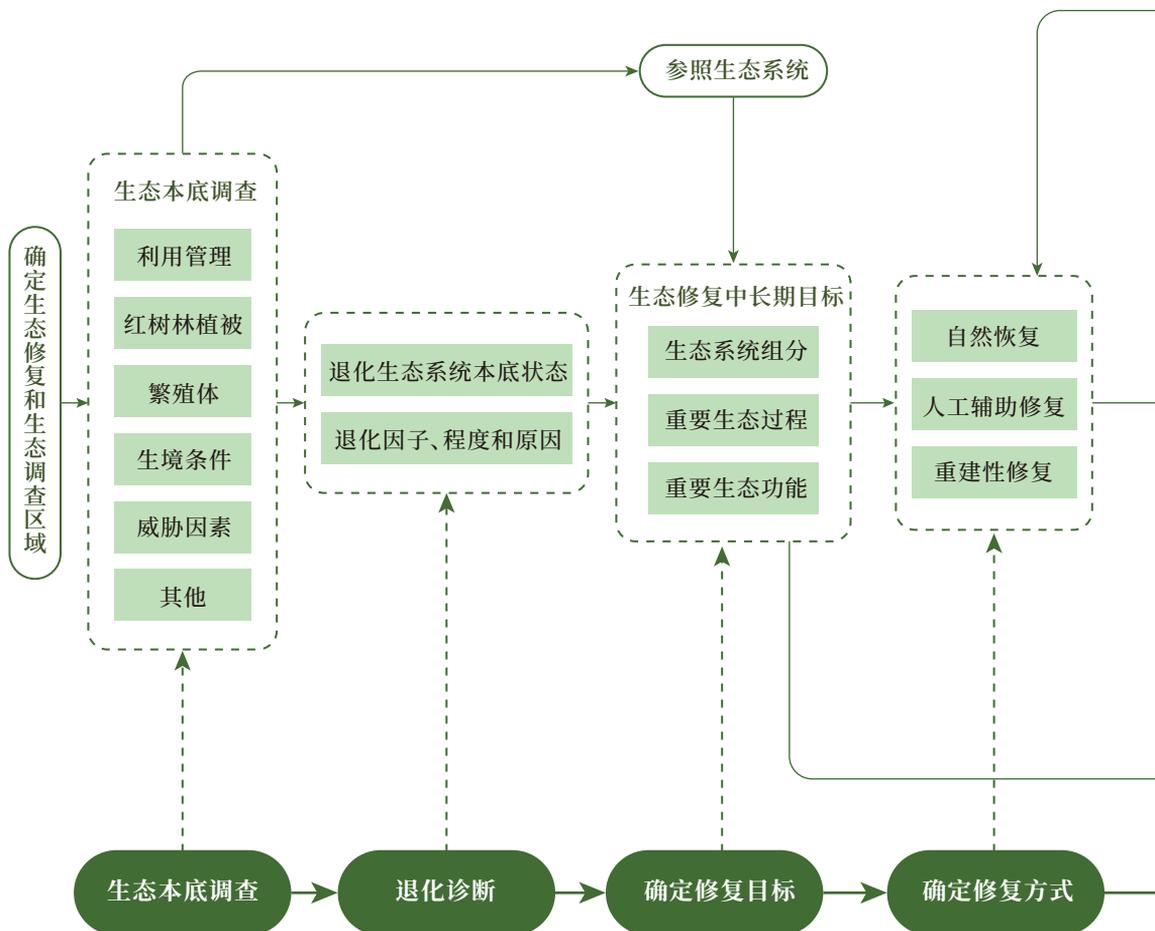
4.1 技术流程

红树林生态修复的工作内容包括生态本底调查、退化诊断、修复目标设定、修复方式确定、修复方案编制、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。

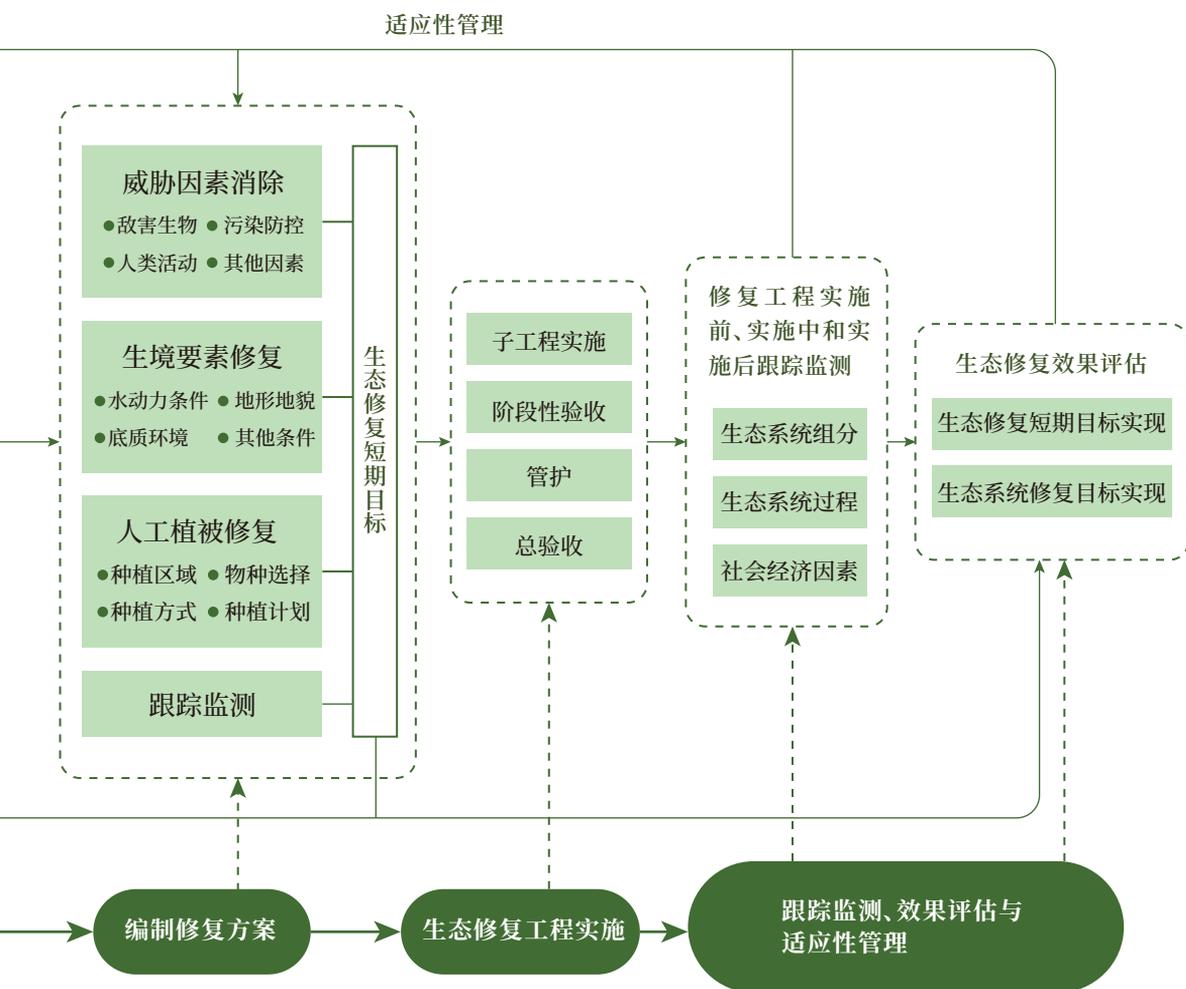
总体上，红树林生态修复按照如下步骤进行：

1. 在生态本底调查的基础上掌握退化红树林及其周边区域的生态环境现状，确定红树林的退化程度并分析退化原因；
2. 制定生态修复的中长期目标，确定生态修复方式；

图 1 红树林生态修复技术流程



3. 根据生态退化的现状和生态修复目标编制方案，制定具体的修复内容和技术措施等，明确修复项目短期内实现的具体目标；
4. 修复工程要根据修复方式实施分类验收，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；
5. 修复工程在实施后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，开展适宜性管理。



4.2 生态本底调查

4.2.1 生态本底调查目的

生态本底调查目的在于掌握红树林生态系统现状，为分析红树林退化状况并确定修复方式、制定生态修复方案提供依据，同时为修复效果评估获得修复前的红树林或参照生态系统的生态现状。通过调查获取红树林植被、红树植物繁殖体、生境要素、威胁因素和保护、管理与利用现状等信息。

红树林植被调查目的在于了解区域内和周边地区红树林分布现状、生态质量、退化现状等。

红树植物繁殖体情况调查目的在于掌握红树林植被自然再生能力、种苗类型和种植形式等。

生境要素调查的目的在于了解区域红树林（或某个具体物种）生长对生境条件的需求，诊断红树林的生境是否退化，并为选划适宜的修复区域提供基础数据。

威胁因素调查可为红树林退化诊断、消除威胁和生态修复后林地管护方案制定等提供依据。

利用管理状况调查目的在于了解红树林生态修复与区域发展规划的一致性，明确利益相关者，以及可能对红树林造成不利影响的人类活动因素。

4.2.2 生态本底调查区域

对于退化红树林、滩涂或退养的养殖塘等已经具有明确修复对象的项目，调查区域包括拟修复的区域及其周边区域。生态本底调查阶段应明确可设定为参照生态系统的红树林。

针对某个区域内的红树林进行生态修复但未明确具体的修复区域时，调查区域宜涵盖红树林分布区域所在河口、海湾等区域，必要时可以包括周边的河口、海湾等区域。



如何设定红树林参照生态系统?

- 参照生态系统可以是退化前的红树林生态系统;
- 如退化前红树林的生态系统信息不可获取, 或者不足以满足退化诊断和修复目标设定等需要, 可选择周边区域具有相似生境条件的天然红树林作为参照系统, 可以选择一处或者多处红树林综合的结果;
- 如上述条件都不满足, 则可通过文献资料和历史数据等, 构建一个理想的生态系统模型。

4.2.3 生态本底调查内容和方法

生态本底调查的内容包括红树林植被、红树植物繁殖体情况、生境条件、威胁因素, 以及保护、管理与利用现状等 (表 1), 也包括参照生态系统红树林的生态本底调查等。

生态本底调查通过资料收集、遥感分析和现场调查的方式进行。

(1) 红树林植被

红树林植被调查是生态本底调查的关键内容, 通过遥感测量、资料收集和现场调查等形式开展。调查内容包括但不限于以下内容:

修复区域及周边区域的红树林分布位置、面积和物种的情况;

修复区域和参照生态系统的红树林植被参数, 包括林带宽度、郁闭度 / 覆盖度、物种、密度、株高和生物量等;



无人机航测是掌握红树林分布和覆盖的重要手段

表 1 红树林生态本底调查的内容和指标

类别	内容	指标
红树林植被	植被覆盖	面积、分布边界、林带宽度、 郁闭度/覆盖度 、斑块数量等
	植物群落特征	物种、密度、基径/胸径、株高、生物量 、伴生/附生植物的物种、冠层结构等
	繁殖体情况	繁殖体类型、成熟期、幼苗密度 等
其他生物群落	底栖生物群落	大型底栖动物、小型底栖动物、底栖藻类和沉积物微生物的物种、密度、生物量等
	鱼卵仔鱼	种类和数量等
	鸟类	类群、物种和数量等
生境条件	气候条件	最冷月平均气温、极端低温、降雨量和气候事件等
	地形和水文动力条件	波高、流速、流向、 潮汐特征、高程、淹水时间、冲淤环境、沉积速率 等
	沉积物环境	粒度、间隙水盐度/土壤全盐含量、氧化还原电位、酸碱度、有机碳、总氮、总磷、无机氮、典型污染物 等
	水体环境	盐度、悬浮颗粒物含量、总有机碳、总氮、总磷、无机氮、无机磷、重金属和抗生素 等典型污染物等
威胁因素	民众开发活动	在红树林讨小海、禽畜养殖、采集果实 等
	生活生产和海岸工程影响	污染物排放和海漂垃圾的种类、影响面积和强度、海岸工程建设对生境的影响 等
	敌害生物	互花米草、鱼藤、薇甘菊等有害生物的影响面积和程度、病虫害和污损生物的类型、害虫/污损生物密度、影响面积、程度 等
保护、管理和利用现状	国土空间规划和开发现状	修复区域所有权属、使用现状、国土空间规划,其他重要生境保护现状 等
	生态修复项目开展情况	修复区域、物种及关键技术等修复方案,区域种苗供应能力等
重要生态过程和功能	植被生长	株高、基径/胸径、净初级生产力等
	植被自然更新	物候、繁殖体产量、林下幼苗数量、林缘滩涂幼苗数量等
	消波缓流	波高和流速等
	固碳和碳储量	有机碳沉积速率、生物量年增长量、生物量碳储量、沉积物碳储量、温室气体通量 等

表中加粗内容为生态本底调查的重要内容和指标；根据项目实际情况选择调查内容并明确指标

调查中宜同时调查真红树、半红树和红树林伴生植物的物种，尤其关注濒危红树物种的分布和种群数量。如区域内有外来物种，宜了解其引种的时间、种植位置、面积和分布现状等。

红树林植被分布、面积、郁闭度等情况可通过资料收集、卫星和无人机遥感测量并结合现场调查的方法获取，确定红树林分布斑块和边界。

红树植物物种、密度和株高、胸径或基径等通过现场调查获取。根据红树林的面积、群落结构和滩涂高程等因素综合布设调查断面和站位。如红树林包括多个植物群落类型，站位宜涵盖每个植物群落类型。

(2) 红树林繁殖能力

确定区域内主要红树植物繁殖体的类型、成熟期、休眠特性以及产量。必要时通过现场调查估算繁殖体的数量及其健康情况。

针对濒危物种或者植被退化的红树林，应开展繁殖体的产量、质量、林下和邻近滩涂繁殖体的萌发情况、幼苗数量等调查，了解其自然更新能力的情况。若繁殖体产量充足但幼苗数量较少时，调查地表繁殖体和幼苗被底栖动物或害虫啃食的情况。

现场调查幼苗被藤壶和牡蛎等污损生物附着的情况。

繁殖体的调查时间根据繁殖体的成熟期确定。

(3) 生境条件

生境条件的调查包括气候、滩涂地形地貌、沉积物环境和水文条件等。如水文环境、滩涂地形地貌、沉积物环境等数据不可通过收集资料获取，或现有数据不能满足判断生境适宜性的需要，应通过现场调查获取数据。

气候条件主要包括最冷月平均气温、极端低温、降雨量和气候事件等。气候事件主要包括区域台风、风暴潮和极端气温事件发生次数、时间、强度、破坏情况等。



红树林的幼苗和繁殖体



测量滩涂高程

滩涂地形条件主要包括滩涂高程、坡度、潮沟分布等。

沉积物环境主要包括底质类型、间隙水盐度/土壤全盐含量。

水文条件主要包括水体盐度、潮汐特征、平均海平面、波浪和潮流特征、冲淤环境等。

生境条件调查时，应重点关注水体盐度、底质类型、滩涂高程、潮汐、冲淤环境和沉积物环境等。调查时考虑以下几个方面：

- 水体盐度。水体盐度的调查应考虑季节、降水和河流入海等因素的影响。调查方法参考GB 17378.4 或 GB/T 12763.2。

- 滩涂高程。红树林区域应调查红树林分布区的上边界和下边界滩涂高程，条件允许时宜调查常见物种的分布高程，了解红树林及常见物种分布的滩涂临界高程；滩涂的高程调查范围应尽可能覆盖潮间带区域。滩涂高程测量方法参考GB/T 17501。

- 潮汐。除滩涂高程外，潮汐特征也可以作为红树林分布高程范围的参考依据。需获得平均海平面、回归潮平均高高潮位（相当于正规半日潮型的大潮平均高潮位）的数据。

- 冲淤环境。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模拟；也可根据滩涂的坡度和宽度进行简易判断，通常具有一定宽度缓坡的区域为淤积环境。

- 沉积物环境。红树林区域沉积物环境的调查站位和样方可与植被调查一致并同步调查。在无植被滩涂开展调查，断面和站位布设应考虑地形地貌、底质类型、滩涂开发利用活动等。底质类型（根据沉积物粒度判断）的调查参考 GB/T 12763.8。如不具备条件的，可通过观察判断底质类型。

(4) 威胁因素

红树林生态系统的威胁因素主要包括自然因素和人为干扰，常见的有人类开发活动及其引起生境变化、敌害生物爆发、极端气候事件等。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。

威胁因素的调查结合红树林利用管理现状的调查进行，重点关注：

- 敌害生物。包括互花米草、五爪金龙和薇甘菊等入侵生物、鱼藤等藤本植物、牡蛎和藤壶等污损生物、病虫害等危害情况。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，针对虫害宜通过布设样方调查害虫的物种和丰度等。

- 红树林区民众开发活动。民众对红树林和滩涂开发活动的类型和强度，重点关注红树林下采捕、果实采集和家禽养殖等；调查作业情况，包括渔获物和采集物的类型及作业区域、作业方式以及对红树林的影响等。

- 生活生产和海岸工程影响。存在污染物排放（包括近岸海漂垃圾）的，调查和收集排污数据，包括污染源分布、主要污染物种类、排污方式、浓度、入海数量及对红树林的影响等信息；存在海洋（海岸）工程影响的，应调查工程位置、数量、规模、建设和营运情况及对周边红树林的影响等信息。

(5) 区域保护、管理和利用现状

红树林利用管理现状调查内容包括：

- 修复项目涉及的区域和周边区域的相关规划，包括国土空间规划、区域社会经济发展规划、生态红线区域保护规划；

- 海洋和红树林相关的保护管理现状，包括红树林保护的相关规定、开展修复项目的情况、自然保护区范围和管理等；

- 红树林生态修复技术，尤其是本地区内红树林植被修复、生境修复中可采用的工程技术和措施，以及投入成本；

- 现有的滩涂、退养养殖塘和红树林的权属和行政主管部门；红树林及其周边区域土地利用现状和海域使用权证，分析红树林生态修复潜在的社会影响（风险）和利益相关者。

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。采用资料收集的调查内容，应涵盖市级和县级行政单元的信息。

- 对于修复面积较大的项目，宜了解区域范围内或周边地区的红树林苗圃的苗木供应能力，包括物种、数量、规格和价格等。

(6) 其他生态本底调查

条件允许时，生态修复的生态本底调查应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。

生态本底调查的内容，除上述的内容外还包括底栖动物、鱼卵仔鱼、鸟类等生物，以及红树林的重要生态过程。

调查内容可参考表 1 选取。

4.3 生态退化诊断

在生态本底调查的基础上，分析退化红树林和参照生态系统红树林的状态，包括生物群落和生境条件的状态，条件允许时也宜分析红树林重要生态过程和功能的状况。

分析红树林退化原因、退化程度，识别引起退化的主要威胁因素，评估退化红树林的可修复性。基于退化红树林和参照生态系统的对比，识别出退化因子及其退化程度；结合红树林区域内及其周边区域的人类活动等威胁因素，分析导致红树林退化的原因，退化因子是否需要通过修复措施恢复，以及修复技术措施的可行性。但需要注意，轻微的外部干扰可能会引起生态系统的正向响应。在此基础上，识别退化红树林中需要开展修复的要素（可以是某一生境因子、生物因子，或生态过程等）。

滩涂或者养殖塘的生态修复，在退化诊断时主要判断其生境条件是否满足红树林的宜林条件，如不满足，进一步明确是否可修复至宜林的条件。

对于区域性的红树林生态修复项目，根据调查结果分析区域内红树林的历史变化和土地利用类型转变，以及现有红树林的退化情况，明确需要开展生态修复的红树林区域，并确定作为参照生态系统的红树林。可通过对比红树林分布边界、面积和郁闭度的历史变化，了解红树林是否出现退化；或通过其他的一些表象初步判断红树林是否出现退化。

以下为常见的红树林退化的表象：

- 岸滩侵蚀造成红树林不断消亡；
- 民众林下开发活动干扰造成红树植物死亡；
- 连片的红树林呈现板块化，斑块数量增多；
- 一些红树物种种群数量正在减少或已丧失；
- 鱼藤、害虫、互花米草等敌害生物爆发并造成不利影响；
- 红树林内出现海漂垃圾；
- 污染物累积造成水体混浊、发黑和发臭；
- 沉积物粒度发生明显变化；
- 植物的种子败育、林下或者周边滩涂没有自然生长的幼苗。



4.4 修复目标与修复方式

4.4.1 生态修复目标

根据退化诊断结果，确定红树林生态修复的目标。生态修复目标是生态修复内容、技术措施设定和选择的依据，也是评价生态修复是否成功的标准。

生态修复目标包括中长期目标和短期目标，两类目标均要明确实现的期限，并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。

(1) 中长期目标

中长期目标反映了经过一定时期修复后的红树林生态系统预期达到的状态及水平。总体上考虑生物群落、自然环境、重要生态过程和功能的恢复等方面内容，设定目标时明确对应的生态系统参数并量化其恢复的水平。

中长期目标的设定可参考以下内容：

- 生物群落的恢复：植被、底栖生物、鸟类、微生物、鱼卵仔鱼等；
- 重要生态过程的恢复：沉积、初级生产、植被更新、凋落物的周转、与周边水体环境的生物和化学物质的交换等；
- 重要生态功能的恢复：消浪缓流、固碳增汇、维持生物多样性和净化环境等。



- 设定中长期目标的实现期限时，生物和自然环境因子可设定为 20 年，生态过程和生态功能的恢复以 40 年为宜。

(2) 短期目标

根据中长期目标进一步明确修复项目在短期内要实现的具体目标。短期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/生态系统要素预期达到的水平。修复项目短期目标的实现期限以3~5年为宜。

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：

红树林植被的修复：种植或自然恢复的红树林的面积、斑块、物种数量、郁闭度/覆盖度、密度、自然更新幼苗的密度等。

红树林生境条件的修复：水体盐度、底质类型、沉积物营养状况、水文动力条件和高程等修复的程度。

威胁因素的消除：减少红树林区民众活动、污染物排放、外来物种、病虫害、污损生物、海漂垃圾的数量和影响程度等。

设定生态修复目标时，应考虑以下几个方面：

- 红树林生态修复的开展是通过具体可操作的措施形成稳定的植被群落和生态系统并提供与原生红树林相似的生态功能，实现生态系统层面的恢复，但通常难以通过人工修复的手段使红树林达到与退化前或者天然红树林完全相同的状态。因此，在设定修复目标时应注意目标的可实现性和科学性。
- 红树林植被是红树林生态系统最主要的初级生产者，是维系生态系统结构和功能的基础。因此，红树林植被的恢复是红树林生态修复的关键目标。
- 设定重要生态过程和生态功能的修复目标时，应明确对应的参数、表征和计算方法。
- 目标值的设定参考参照生态系统的调查结果。

4.4.2 修复方式

(1) 退化红树林生态修复

退化红树林生态修复的方式包括自然恢复、人工辅助修复和实施人工种植的重建性修复三种类型。

自然恢复。红树林内有足够繁殖体，在去除外界压力或干扰后红树林植被可通过自然再生实现自我修复，不需要实施人工修复措施。需对退化的红树林实行封围或采取其他管理措施，消除引起退化的干扰因素等。采用的措施包括限制民众在红树林采集渔获物或红树果实，禁止红树林区废水排放、禁止红树林区家禽养殖、防治轻微的病虫害和清理海漂垃圾等。

人工辅助修复。如红树林存在严重的威胁因素（如敌害生物爆发）出现死亡，或生境条件退化不再满足红树林自然生长的要求，只依靠保护和管理不能实现红树林的自然恢复时，通过消除威胁因素并修复生境条件后，在原地利用生态系统再生能力，或者进行少量干预（如补种等）促进生态系统自然恢复。

重建性修复。在威胁因素消除和生境条件恢复到满足红树林生长需要的水平后，生态系统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。



周边有红树林且幼苗可以自然生长的区域可通过自然过程恢复红树林植被

原生红树林植被自然恢复的重要条件:

- 项目区域内仍有红树植物并且有足够的繁殖体, 或者邻近区域有红树林分布且繁殖体能够随潮水达到修复区域;
- 如有明确的修复目标物种, 修复区域内目标物种的繁殖体充足或可从邻近区域到达;
- 生境条件能满足红树植物生长的要求;
- 项目区域周边没有互花米草、无瓣海桑或拉关木等物种分布。

表2 修复方式选择

退化原因	自然再生能力	修复方式	修复措施
存在轻微的威胁因素, 退化程度低	自然再生能力完好	自然恢复	消除威胁因素
存在严重的威胁因素导致植被退化	自然再生能力完好	人工辅助修复	消除人为干扰 修复生物生境因素 开展红树林补种
生境条件发生改变, 但无敌害生物的威胁	自然再生能力完好	人工辅助修复	地形地貌修复 海岸冲刷防护 沉积物环境修复 植被自然恢复
存在严重的威胁因素或生境条件发生改变, 导致红树林植被严重退化	自然再生能力弱或完全丧失	重建性修复	消除威胁因素 地形地貌修复 海岸冲刷防护 沉积物环境修复 人工种植红树林

(2) 滩涂红树林生态修复

对于红树林已经完全丧失为滩涂, 如周边没有红树林分布或红树植物繁殖体无法通过自然条件进入该区域并形成稳定的植被, 可采用人工种植的方式进行重建性修复。应优先选择生境条件适宜的地块开展植被修复。如滩涂生境条件不适宜需要进行生境改造的, 应合理选址、科学设计, 减少生境改造工程量和投入。

如滩涂上有养殖活动(如底播养殖和牡蛎养殖), 在清理废弃养殖设施、平整滩涂恢复滩涂的地形地貌条件后开展植被修复, 促进生态系统的修复。



滩涂底播贝类养殖

在滩涂上进行贝类底播养殖、或者在滩涂插竹杆、条石、建筏架等辅助设施养殖牡蛎等是红树林及其周边区域常见的养殖活动。

滩涂牡蛎养殖

(3) 退养养殖塘的生态修复

红树林被破坏并建设成海水养殖塘的区域，根据养殖塘的类型和养殖区域的生境条件因地制宜选择修复方式。

低位养殖塘退养后，首先通过围堤开口或者平整滩面恢复水文条件，并根据养殖塘的高程和底质类型等条件，采用植被自然恢复或开展人工种植恢复红树林植被，或通过生境改造后进行植被恢复。

高位养殖是在海边滩涂或陆地上人工建造养殖塘，多位于红树林内侧沿岸区域，潮水和养殖池塘无法自然交换，需将海水抽到养殖池内。高位养殖塘清退后，需通过打开潮闸和开挖潮沟等措施恢复水文条件，并进行高程改造使其满足红树林生长的需要，实现植被的自然恢复或开展人工种植。

养殖塘开展红树林生态修复时，可适当营造生态养殖、水生生物栖息和水鸟的觅食空间，提高修复项目的生态和社会效益。

废弃的养殖塘在恢复潮汐条件后
红树植物繁殖体在池塘定植



(4) 区域性的红树林生态修复

开展区域性的红树林生态修复，根据红树林土地利用类型转变和现有红树林退化现状，明确保护和修复的空间布局，综合采用自然恢复、人工辅助修复和重建性修复等措施。

应优先开展现有红树林的保护和退化红树林的生态修复，并充分考虑鸟类栖息地、重要水生生物栖息地、海草床和盐沼等湿地的保护，防洪泄洪通道保护，以及岸线防护和生态减灾功能提升等需求。

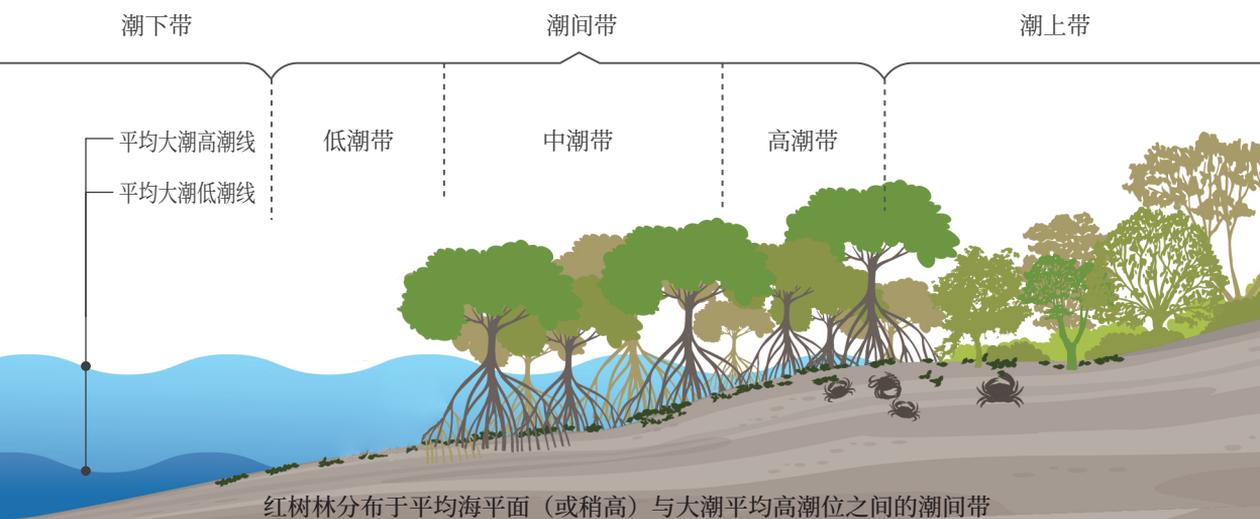
4.5 修复措施选择

4.5.1 修复区域确定

根据滩涂条件、养殖塘情况和红树林生长的生境要求，选择可实施修复的地块。

滩涂高程、水动力条件和底质类型等是判断某一地块是否适宜红树林生长的主要生境因素。此外，也可将周边区域现有红树林分布地生境条件作为修复地块的选址或判断某一地块是否适宜红树林生长的依据。

在确定修复地块后，还应进一步确定红树林的种植范围。在确定种植范围时，应注意适当保留一定的潮沟、林外滩涂和海陆交界缓冲带等空间；不宜大面积连片种植，可适当增加斑块，预留人员下海通道。



红树林生长的生境条件



连片种植的红树林可预留一定的空斑

红树林生长需具有一定温度范围、沉积物粒径较小、隐蔽的海岸线、潮水可以到达、具有一定潮差、有洋流影响和具有一定宽度的潮间带。通常对于一个修复项目来说，其所处地域已决定了红树林生长的气候条件（如气温和降雨等），红树林的生长则受到海岸地理位置、底质类型、滩面高程、水体盐度等因素的限制。总体上，它们的生境要满足以下条件：

- 以河口、内湾（潟湖）风浪较平静、平缓的滩涂为宜；
- 红树林的宜林滩涂高程宜介于平均海平面（或稍高）与回归潮平均高高潮位之间，相当于正规半日潮型的大潮平均高潮位；
- 修复区以淤泥质和泥砂质滩涂为宜；
- 修复区海水盐度以 2~30 为宜。

4.5.2 生境修复

4.5.2.1 生境修复工作要求

退化红树林进行生态修复前，应消除引起植被退化的威胁因素。

如生境条件不能维持红树林生长，通过滩涂地形地貌的修复、岸线冲刷的防护和沉积物环境修复等，使修复区域的生境改善到满足红树林生长的要求。具体应根据修复区域的生境条件和修复物种的生境条件要求，对一种或者多种生境条件进行修复。

开展滩涂地形地貌修复，不得改变修复区域的潮间带属性，即修复区域在实施填土、堆高或平整后的滩面在平均大潮时仍全部有海水覆盖。严禁以生态修复之名实施围填海活动。

涉及生境修复的项目，应根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》中“158 海洋生态修复工程”相关要求开展环境影响评价（表 3）。

在风浪较大的区域开展退养养殖塘生态修复，宜保留池塘的围堤以提供隐蔽的环境，同时提供多样化的微地形条件为多种红树植物提供生长环境。

生境修复应在红树林植被种植前完成，并预留足够的时间使修复区域的生境条件达到稳定。

表3 海洋生态修复工程环境影响评价分类管理要求

海洋生态修复工程项目类别	环评类别
工程量在10万立方米及以上的清淤、滩涂垫高等工程；涉及环境敏感区的堤坝拆除、临时围堰等改变水动力的工程	环境影响评价报告书
工程量在10万立方米以下的清淤、滩涂垫高等工程；涉及环境敏感区的其他海洋生态修复工程	环境影响评价报告表
不涉及环境敏感区的退围、退养、退堤还海等近岸构筑物拆除工程；种植红树林、海草床、碱蓬等植被；修复移植珊瑚礁、牡蛎礁等	环境影响评价登记表

注：依据生态环境部《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》。表中环境敏感区包括：（1），自然保护区、海洋特别保护区；（2），除（1）外的生态保护红线管控范围，海洋公园，重点保护野生动物栖息地，重点保护野生植物生长繁殖地，封闭及半封闭海域。

4.5.2.2 滩涂地形地貌的修复

滩涂地形地貌的修复包括滩涂高程和潮汐通道的恢复和改造等。

红树植物需要有规律和适度的海水淹没。通常修复区域的地形地貌和水文特性是相互联系的，主要体现为高程对修复地块淹水时间和淹水高度的影响。如修复区域滩涂高程不能满足红树林分布的要求，需要通过工程措施适当抬高或降低高程。

滩涂高程修复的目标值参考退化前的滩涂高程或修复区周边现有红树林分布高程。如这些信息不可获取，可以根据修复区域的潮高和滩涂的潮位情况设置高程修复的目标值，以中潮区潮位以上为宜。

进行大规模滩涂改造的项目，宜评估项目的工程措施是否能够保证底质的稳定性，并分析工程施工过程中对项目周边水体环境的影响。

（1）退化红树林地形地貌修复

开展退化红树林的修复，必要时可通过适当的覆土或者移除表土以恢复滩涂的高程条件。对于因红树林地不能正常潮汐交换导致长期淹水或盐渍化而造成生态退化的区域，可通过数模结果设计开挖潮沟以促进水动力条件的恢复。

案例-墨西哥坦帕马乔科 (Tampamachoco) 瀉湖 红树林生态修复

墨西哥坦帕马乔科瀉湖，因高压电塔修建的三条堤坝阻断了红树林地表的潮汐交换，堤坝之间红树林的地表海水蓄积、蒸腾，造成底质盐渍化(间隙水盐度超过100)和30公顷红树林死亡。

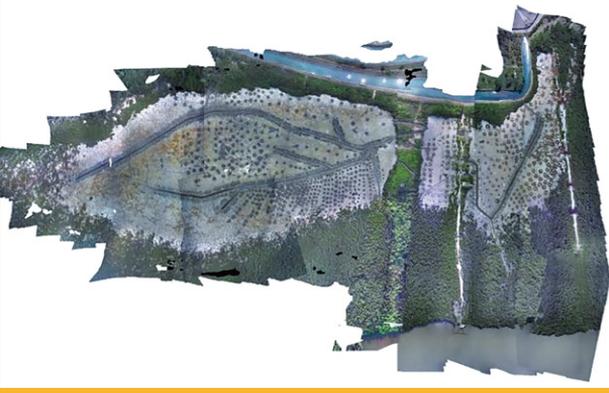


自2011年起当地逐渐在海堤开口，改善了红树林消亡区域的潮汐交换作用。周边红树林的繁殖体扩散到该区域并逐渐生长起来。



内容由 Jorge López-Portillo 博士提供

在此基础上，修复工程基于修复区域的微地形条件模拟了潮汐的水流情景，依此挖掘潮沟使修复区域与潟湖水体形成连通，并将挖掘出的沉积物堆填成小岛营造适宜红树林生长的空间，促进红树植物的自然更新。



2019年07月



2021年09月



(2) 滩涂地形地貌改造

滩涂底播养殖区域退养后可恢复为自然滩涂，根据滩面微地形确定是否平整滩面。牡蛎等养殖区域，退养后清理条石、木桩等废弃养殖设施并恢复滩涂的微地形条件。

如滩涂高程条件不适宜红树林生长，采用连片填土或者局部堆高的方式恢复滩涂的高程条件（图 2）。

连片填土多用于沿岸区域进行的红树林修复。

局部堆高的措施包括起垄（图 3）、堆岛等；对于面积较大的修复项目，以堆岛的形式为宜。

通过连片填土和堆岛抬高高程的项目，应设计一定的轻微坡度以促进排水。对于通过高程改造并且设计滩面坡度的修复，可通过自然水文动力过程形成潮沟时不需要设计开挖潮沟。

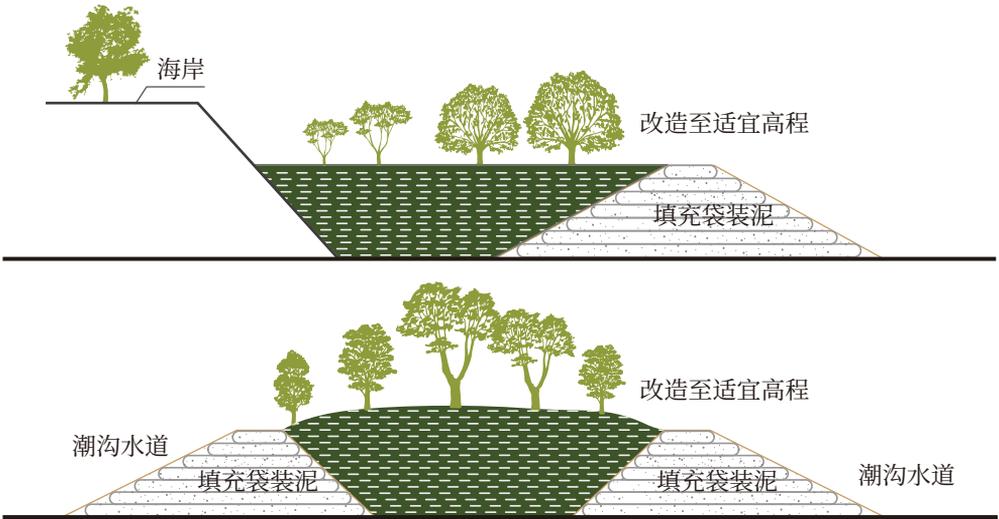


图2 沿岸堆填(上图)和离岸堆岛(下图)示意图



图3 起垄改造地形

(3) 养殖塘地形地貌修复

低位养殖塘退养后，可采取围堤开口、拆除围堤设施（如水泥桩）、平整土质围堤的方式恢复地形条件和水文条件。

对于高程条件适宜的养殖塘，可采用围堤开口的方式恢复潮水交换（图 4），宜科学设计开口部位，在最小工程量的条件下使修复区内的养殖塘均能恢复潮水交换。地形地貌修复中应尽可能利用塘堤进行改造，营造多样化的地形条件，可适当降低围堤高程至满足真红树和半红树植物生长的要求（图 5）。

如养殖塘的整体高程较低，可将围堤平整后提高高程。如平整围堤后也无法达到红树林生长高程要求，可采用起垄或堆岛的方式构造红树林适

宜生长的空间，并形成一定的浅水水域。面积较小的养殖塘高程改造宜采用起垄的方式。

围堤平整后开展植被修复或围堤开口后开展植被修复的项目，应充分考虑修复区域的地形地貌条件和水文条件，必要时开挖潮汐通道保障潮水交换。

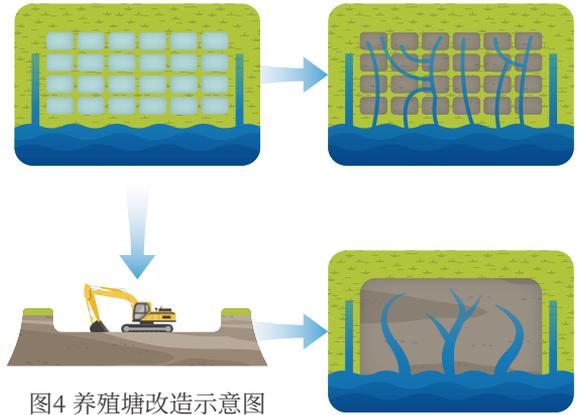


图4 养殖塘改造示意图
参考Lewis III 等(2019)修改¹

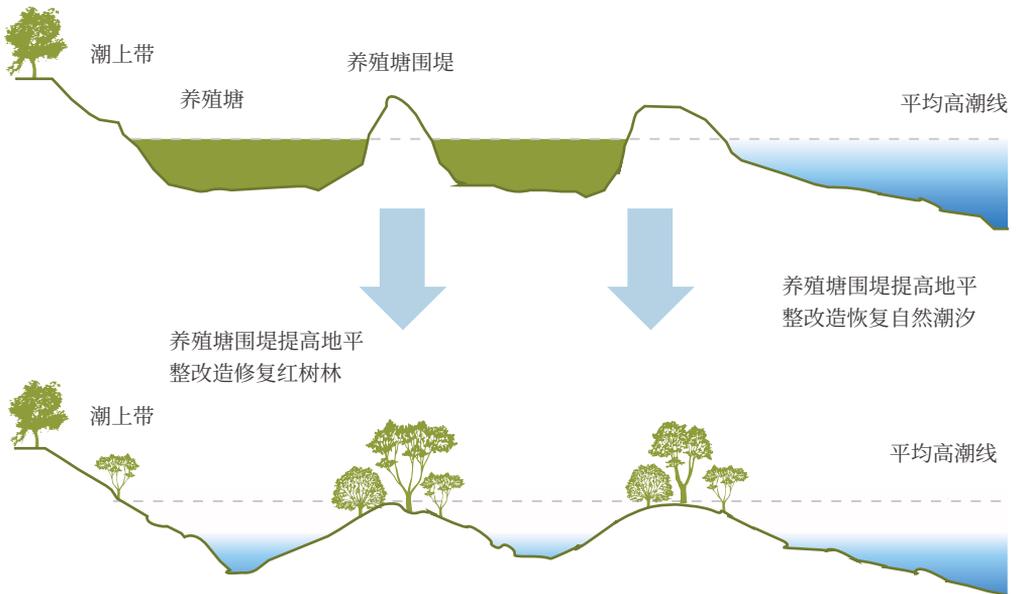


图5 低位养殖塘退塘还林示意图

(4) 地形地貌改造区的围堰材料

在需要提高滩涂高程的修复区域，修建围堰避免潮水冲刷使滩涂上的沉积物流失。

围堰可分为临时围堰和永久围堰。临时围堰采用的材料包括木桩、木板（图 6）、网栅或沙袋等。在海浪冲刷严重，红树林幼苗恢复生长后仍无法固定泥滩时，可采用石块（图 7）等永久性围堰设施保护泥滩。

图 6 厦门筲筴湖湖心岛采用木板建造的临时围堰



(5) 地形地貌改造区的填土材料

填土的物料可采用客土和原土。综合考虑修复区域的沉积物特性和客土可获取性确定填土的物料来源。

优先采用原土进行堆填。如使用客土进行堆填，应分析客土的物理和化学性质是否满足红树植物生长的要求。

原土可采用吹填和挖填的方式进行堆填，优先采用挖填的方式减少对沉积物的扰动。吹填对沉积物扰动大，主要用于含水量高的淤泥，吹填后应留有不少于 1 个月的时间让底质沉实稳固和充分暴露。

图 7 深圳湾采用石块建造围堰以抬高滩涂高程



案例-厦门下潭尾滨海湿地公园的滩涂地形改造

福建厦门下潭尾滨海湿地公园在设计种植红树林区域先建设成临时围堰，然后将围堰外的淤泥填进临时围堰内，形成满足红树林生长所需高程的人工岛屿，以及一定的水面和潮沟。堰身采用斜坡堤式结构，主堰堤身为大型充填沙包，围堰基础较深处采用抛石棱体结构，上部采用生态型的尼龙袋装泥砂形成人工滩地挡土结构，在红树植物根系生长发达后，尼龙袋经降解最终形成自然坡态滩面。



4.5.2.3 海岸冲刷的防护

风浪较大导致岸滩侵蚀，或者因海岸工程导致水文动力条件改变和岸滩侵蚀的区域，可通过工程措施减弱海浪对修复区域的冲刷，保证修复区域的滩面稳固，或者形成淤积的环境。根据岸段受冲刷情况、河势变化、水动力条件等，在需要加强防护的区段进行抛石或修建水工构筑物进行消浪。常用的方式包括沿岸抛石、修建消波栅栏（图 8）、简易水泥管防波堤坝或简易沙包防波堤坝进行有效消波和减少林地泥砂流失。

对堤前滩涂有侵蚀性的海岸，抛石或堤防不能防止前滩的冲刷，应在海滩的侵蚀深处修建保滩护岸工程，工程措施可采用丁坝群（图 9）以及丁坝群与浅堤相结合的布置，使泥砂在堤坝格内淤积。



图 8 湿地国际（Wetlands International）推荐的透水消浪结构²



抛石或木桩是消减波浪冲刷的常见形式



利用牡蛎壳消浪和保护海岸稳定性





图9 丁坝是常见的保滩护岸设施



4.5.2.4 沉积物环境修复

红树林生长的底质类型包括软底型（河口海湾环境下的淤泥质潮滩）、硬底型（开阔海洋环境下的砂砾质潮滩）及其间的过渡类型，并且需要一定厚度的土层。砂质、排水不畅的淤泥质滩地和干涸的区域均不利于红树植物生长。

对于底质污染（如重金属、有机污染物等）严重区域，宜采用物理（换土、深翻等）或生物（微生物、动物作用等）措施等降低污染胁迫影响。

高密度养殖的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，不利于红树植物生长。在开展红树林修复前，可在干塘后采用深翻和晒塘的措施改善沉积物的物理和化学条件。

沉积物底质类型总体上与海洋动力条件和泥砂输入密切相关，因此沉积物环境的修复需要同时考虑海洋动力条件是否能满足底质稳定性维持的要求。

在泥砂质岸滩进行改造且周边区域没有或足够泥砂输入的修复项目，宜采用工程措施减少海浪对泥砂的冲刷。

对于风浪较小的隐蔽区域，如土壤中砾石含量高或者土层薄，可适当覆土并种植根系分布较浅的灌木物种。



灌木物种可在土层较浅或者砾石较多的滩涂上生长

4.5.3 红树林植被修复

如修复区域生境条件适宜或者通过修复达到适宜条件，且红树植物的繁殖体可以进入修复区域，优先通过自然恢复的方式修复红树林植被。

对于红树林无法通过自然再生能力实现植被自然恢复时，采用人工种植或补植的形式修复植被。这种情况下，应确定修复的物种、种植密度，以及种植的技术方法等。

4.5.3.1 红树物种选择

退化红树林进行植被修复时，宜使用退化区域的原生物种进行修复。如生境条件不再满足原生物种生长的要求，但仍满足红树林生长的条件，可采用所在区域的其它原生物种进行修复。任何单位和个人未经批准，不得擅自引进、种植或者丢弃外来物种。在以红树林为主要保护对象的自然保护区中开展植被修复时应严格选用原生物种。

若修复地红树林退化前或者丧失前的物种信息不可获取，根据项目所在地区或周边地区分布的红树物种信息筛选可用的物种，再根据修复地的底质类型、滩涂高程、盐度和水动力条件等生境因素进一步确定种植的红树物种及搭配方式，以水体盐度和滩涂高程为主要选种依据。

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4选择项目区域所属气候带可种植的物种。如种植外来物种，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。

应重视并加强濒危红树物种的资源恢复。除在原生地进行种群修复外，可根据其分布所需的气候条件在邻近区域进行适当引种。

根据种植面积、种植地块和不同物种的潮间带分布特征，合理分配种植范围、确定关键坐标点、设计物种的搭配种植方式（包括单一物种种植和混交种植）。在保证红树林成活和正常生长的前提下，尽可能丰富红树物种多样性。

在滩涂高程较低或水文条件较差的区域，可先种植先锋红树物种，在植被形成并逐步改良生境后再根据需要恢复其他物种。

表4 不同气候带、底质类型及滩涂高程等条件的红树物种选择

气候带分区	地市	底质类型	高潮带
中亚热带区	浙江省温州市、台州市和舟山市, 福建省福鼎市和宁波市	砂质	——
		淤泥质和泥砂质	——
南亚热带区	福建省莆田市、泉州市、厦门市、龙海市; 广东省汕头市、潮州市和揭阳市	砂质	木榄、卤蕨、黄槿、海欖果等
		淤泥质和泥砂质	木榄、卤蕨、老鼠筋、黄槿、海欖果等
热带-南亚热带过渡区	广东省汕尾市、深圳市、中山市、珠海市、阳江市、湛江市; 广西北海市、钦州市、防城港市	砂质	榄李、木榄、海漆、卤蕨、银叶树、黄槿、海欖果、水黄皮、杨叶肖槿等
		淤泥质和泥砂质	榄李、木榄、海漆、卤蕨、银叶树、黄槿、海欖果、水黄皮、杨叶肖槿等
热带区	海南省沿海地区和南海诸岛	砂质	榄李、红榄李、角果木、木榄、海莲、正红树、海漆、卤蕨、银叶树、黄槿、海欖果、水黄皮、杨叶肖槿等
		淤泥质和泥砂质	榄李、红榄李、角果木、木榄、海莲、正红树、海漆、卤蕨、木果楝、银叶树、老鼠筋、黄槿、海欖果、水黄皮、杨叶肖槿等

备注:物种选择应遵守国家和地方的湿地和红树林保护修复的相关规定。

主要物种	
中潮带	低潮带
——	——
秋茄	秋茄
白骨壤	白骨壤
桐花树、秋茄、老鼠簕、白骨壤	桐花树、秋茄、白骨壤
白骨壤、红海榄	白骨壤、红海榄
白骨壤、桐花树、海桑、秋茄、红海榄	白骨壤、桐花树、海桑、红海榄、秋茄
秋茄、白骨壤、桐花树、红海榄、正红树、角果木、杯萼海桑	白骨壤、桐花树、红海榄、杯萼海桑
白骨壤、桐花树、海南海桑、海桑、红海榄、角果木、杯萼海桑	白骨壤、桐花树、海南海桑、海桑、红海榄、杯萼海桑

4.5.3.2 红树林种植

结合红树植物的繁殖体类型、项目需求和工程成本等因素确定红树林种植方案，包括种植方式、种植密度和种植时间。

(1) 种植方式

种植方式包括直接插植胚轴、播种胚轴（或种子）、种植容器苗或移植大苗等。在保障保存率的情况下应优先采取直接插植胚轴和种植低龄容器苗的方式。具体采取哪种方式应视下列情况而定：

- 移植大苗的方法不适用于种植面积较大的植被修复项目；
- 繁殖体为胚轴且胚轴个体较长的物种，优先采用直接插植胚轴的方式进行种植；如不能在胚轴成熟期完成种植，可用幼苗种植，以当年生的幼苗为宜；
- 胚轴短小、繁殖体为种子或者隐胎生胚轴时，优先采用容器苗种植方式，以 1 年生苗为宜；如采用播种胚轴（或种子）种植，宜采取辅助措施和装置防止繁殖体被潮水冲失；
- 如条件允许，可建设苗圃进行育苗，育苗技术参见 LY/T 1938—2011 中的附录 B 和 DB44/T 284—2005 中的第 5 章。



插植胚轴是经济有效的红树林种植方法

(2) 种植密度

自然条件下红树林植物群落的密度因物种的形态特征和生长特性而异。优先根据生态本底调查获取的密度信息设计种植密度。

如本底调查阶段密度的信息不可获取，可参考表 5 设计种植密度。

当生境条件较差或者周边存在互花米草等生物入侵风险时宜适当提高种植密度。



表5 红树林主要物种建议初植行间距(m)

红树物种	胚轴苗	1-3年生苗	3年生以上苗
真红树			
卤蕨 (<i>Acrostichum aureum</i>)	—	0.1~0.2	0.2~0.3
尖叶卤蕨 (<i>Acrostichum speciosum</i>)	—	0.1~0.2	0.2~0.3
木榄 (<i>Bruguiera gymnorhiza</i>)	0.4~0.6	0.5~1.0	0.5~2.0
海莲 (<i>Bruguiera sexangula</i>)	0.4~0.6	0.5~1.0	0.5~2.0
角果木 (<i>Ceriops tagal</i>)	0.2~0.5	0.4~0.8	0.4~1.5
秋茄 (<i>Kandelia obovata</i>)	0.2~0.5	0.4~0.8	0.4~1.5
正红树 (<i>Rhizophora apiculata</i>)	0.4~0.6	0.5~1.0	0.5~2.0
红海榄 (<i>Rhizophora stylosa</i>)	0.4~0.6	0.5~1.0	0.5~2.0
小花老鼠簕 (<i>Acanthus bracteatus</i>)	—	0.1~0.2	0.2~0.3
老鼠簕 (<i>Acanthus ilicifolius</i>)	—	0.1~0.2	0.2~0.3
红榄李 (<i>Lumnitzera littorea</i>)	—	0.5~1.0	0.5~2.0
榄李 (<i>Lumnitzera racemosa</i>)	—	0.5~1.0	0.5~2.0
海漆 (<i>Excoecaria agallocha</i>)	—	0.5~1.0	0.5~2.0
木果楝 (<i>Xylocarpus granatum</i>)	—	0.5~1.0	0.5~2.0
桐花树 (<i>Aegiceras corniculatum</i>)	0.2~0.4	0.3~0.6	0.3~0.6
水椰 (<i>Nypa fructicans</i>)	0.4~0.6	0.5~1.0	0.5~2.0
瓶花木 (<i>Scyphiphora hydrophyllacea</i>)	—	0.5~1.0	0.5~2.0
杯萼海桑 (<i>Sonneratia alba</i>)	—	0.5~1.0	0.5~3.0
海桑 (<i>Sonneratia caseolaris</i>)	—	0.5~1.0	0.5~3.0
海南海桑 (<i>Sonneratia × hainanensis</i>)	—	0.5~1.0	0.5~3.0
卵叶海桑 (<i>Sonneratia ovata</i>)	—	0.5~1.0	0.5~3.0
白骨壤 (<i>Avicennia marina</i>)	—	0.4~0.8	0.4~1.5
半红树			
银叶树 (<i>Heritiera littoralis</i>)	—	1~2	2~3
黄槿 (<i>Hibiscus tiliaceus</i>)	—	1~2	2~3
海欎果 (<i>Cerbera manghas</i>)	—	1~2	2~3
水黄皮 (<i>Pongamia pinnata</i>)	—	1~2	2~3
杨叶肖槿 (<i>Thespesia populnea</i>)	—	1~2	2~3

(3) 种植时间

红树林的种植时间应根据种植方式、繁殖体成熟期和气候条件等确定，并注意以下事项：

- 采用繁殖体进行种植，应在繁殖体成熟前完成修复区域的前期准备工作，并在繁殖体成熟期间开展种植；
- 采用幼苗进行种植，以春季至秋季种植为宜；
- 纬度较高的地区，宜在夏季结束前完成种植；
- 若涉及多个物种和不同种植方式混合种植，宜同时开展种植工作。
- 不同物种的种植时间参见表 6。



育苗可保障在繁殖体成熟期以外的时间也可以开展种植

表 6 常见红树物种的种植时间

物种	宜林时间	物种	宜林时间
秋茄	2月~10月	黄槿	4月~10月
桐花树	3月~10月	海杧果	4月~10月
白骨壤	3月~10月	水黄皮	4月~10月
木榄	3月~10月	杨叶肖槿	4月~10月
海莲	3月~10月	银叶树	4月~10月
红海榄	3月~10月		

4.5.3.3 植物种植辅助技术

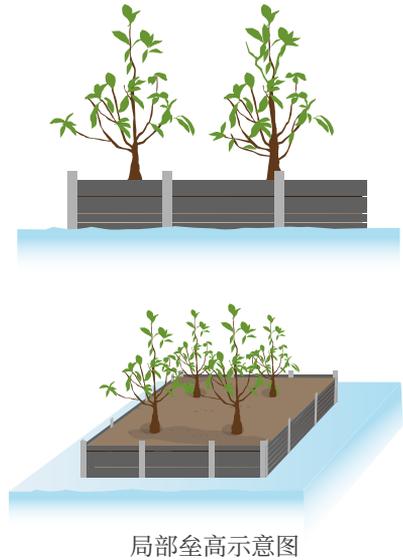
对于风浪较大的修复区域，可以用插竿辅植的方式稳固种植的幼苗（图 10）。

滩涂略低于红树植物自然繁殖的适宜标高时，采用种植大苗的方式有助于提高成活率，以使用>60cm 高的幼苗为宜。

也可采取支柱法和局部垒高的方法进行红树林种植，目的在于抬高种植的幼苗或胚轴所处的高程位置，减少其浸淹的时间。局部垒高的方法包括 Riley 组装、容器和堆块等形式。

支柱法³：将红树植物胚轴的下胚轴与一固定杆用捆绑带捆绑后，构成向下延伸的种植体，种植时直接将种植体插入泥滩（图 11B），可有效提高红树林较低滩涂种植红树林的成活率。该方法适用于秋茄、红海榄、木榄等繁殖体为胚轴且胚轴较长的物种。

Riley 组装法⁴：通过 PVC 管或其他管状物填充淤泥提高高程种植红树（图 11C），这种方法适用于红海榄、正红树等支柱根发达、繁殖体为胚轴且胚轴较长的物种，但红树植物突破管状物彻底定植前的生长较为缓慢。



局部垒高示意图



图 10 插竿辅植种植方式

在采用红树植物小型繁殖体修复时，可根据修复区域生境特征，采样种子袋、保护杯（罩）等辅助播种方法^{5,6}，提高种子在滩涂萌发和定植能力。

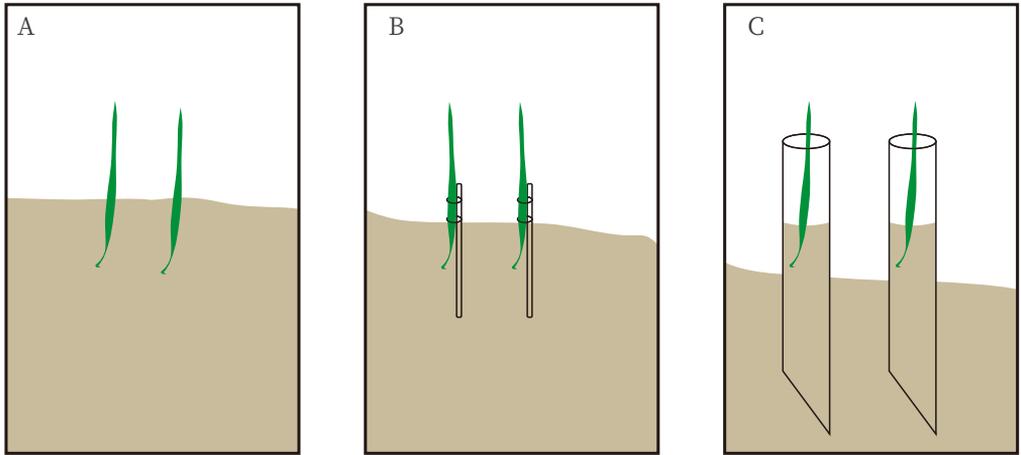


图 11 胚轴插植 (A)，支柱法 (B) 和 Riley 组装法 (C) 种植示意图。

4.5.4 生物生境修复

4.5.4.1 外来红树植物管理

本部分主要规定无瓣海桑和拉关木两种国外引入的红树物种的管理；我国的原生物种中，一些跨区引进的物种如对引种区域造成生态影响的，也可参考实施。应因地制宜加强这些物种的管理。

对于以红树林为保护对象的自然保护地，如无瓣海桑和拉关木入侵至原生植物群落中，应开展清除工作。对于以鸟类栖息地为保护对象的保护地，应及时拔除红树林外围滩涂区域的无瓣海桑、拉关木幼苗。清除时应贴近地表，防止其分蘖萌发，幼苗以拔除为主。

对于保护地以外区域成片种植在无瓣海桑或拉关木，如确实对周边的渔业生产、水生生物或乡土红树林植被造成负面影响的，应开展植物群落的改造，逐步修复为乡土红树物种。在不引起区域生态环境不利影响的条件下，可通过疏伐降低植被的郁闭度，种植耐荫能力强的乡土物种，改造为与乡土物种的混交林并加以抚育，在乡土物种郁闭成林后再清除外来物种。

4.5.4.2 互花米草清除

(1) 物理防除

互花米草的物理防除措施包括人工清除、刈割、刈割+覆盖遮荫、翻耕处理等,但互花米草防除难度大,单一的物理方法难以大面积治理互花米草,需要根据互花米草的入侵情况综合采用多种方式或多次清除,并加强监测和防控。

人工清除

人工清除是通过人工拔除和挖掘方式清除互花米草地上和地下组织。其优点是工人培训和操作设备(如铁锹和锄头)简单,但清除互花米草地下组织难度大,主要适用于小面积互花米草的清除。

刈割

用镰刀或者机械直接割除地上植株(图 12),刈割的控制效果取决于刈割的时间和频率等因素。

单次刈割无法清除互花米草。对于较大面积的草滩,可使用机械从初春返青到秋季枯黄期间对米草进行反复刈割限制其生长。在互花米草的扬花期进行 1 次刈割可提高效果。

刈割 + 覆盖遮荫

先刈割清除互花米草地上部分,然后用黑色尼龙网等不透光材料覆盖清除区域(图 13),阻碍互花米草的光合作用使其死亡。覆盖材料四周用固定防止被潮水冲走。在夏季进行刈割+覆盖遮荫,高温条件可提高互花米草的清除效果。

翻耕

将互花米草地上部分割除后,用铁锹或合适的机械(如挖掘机)将互花米草地下部分翻耕埋到深层。翻耕的时间一般选择在生长季末期,翻耕的深度以大于 40 cm 为宜。

结合翻耕,可切碎植物根茎,破坏根茎的结构而抑制互花米草生长,其抑制效果随深翻深度增加而增强。



图12 互花米草机械刈割

(2) 植被替代

为提高互花米草清除的效果，必要时可采用植被替代的方式实现互花米草防治和红树林植被的恢复。

植被替代是根据植物群落演替的规律，由竞争力强或对互花米草影响耐受性强的本地植物取代外来入侵植物的一种生态学防治技术。目前较多的是利用速生红树植物对互花米草进行生物替代，也可采用密植红树植物的方式形成郁闭植被，并加强管护防止植被郁闭前互花米草再入侵。



图13 刈割+覆盖遮荫方式防治互花米草

案例-湛江雷州红树林区互花米草清除

广东省湛江市雷州红树林的一些分布区域中互花米草入侵并呈蔓延趋势，对滩涂和红树林造成影响。近年来，广东湛江红树林国家级自然保护区管理局加强对互花米草的治理工作。

针对零星分布的互花米草斑块，在刈割地上组织后采用人工挖除地下根系的方式进行清理，将挖出的地下根系就地深埋，掩埋深度 1.5m。



针对分布较为集中的互花米草斑块，先采用机械割除互花米草地上部分的茎秆，并清理滩涂上的茎秆，而后用黑色塑料膜对地块进行覆盖处理三个月以上，通过隔绝光照抑制互花米草光合作用使其死亡。在清除互花米草后回收塑料膜，减少海洋垃圾污染。

在清除互花米草的地块上开展红树林种植，恢复红树林植被的同时通过生物替代的方式防止互花米草再入侵。



4.5.4.3 虫害防治

红树林虫害的防治方法包括化学防治、物理防治和生物防治。

化学防治一般采用低毒药剂, 见效快、杀伤力强, 但即使是低毒药剂, 也易产生环境污染, 对红树林和海洋生态系统产生危害, 不建议使用。

物理防治主要采用水冲、灯光诱捕(图14)、粘虫板等措施。

生物防治包括生物农药和害虫天敌防治两类。生物农药以苏云金杆菌及其制剂的应用最广泛。

红树林常见的虫害及其防治措施见表7, 主要食叶害虫的防治参见LY/T 2853-2017。



图14 灯光诱捕害虫

表7 红树林病虫害防治类型和措施

防治类型	病虫害类型	防治措施
化学防治	海榄雌瘤斑螟	低毒杀虫剂安泰杀虫威 ⁷
	迹斑绿刺蛾	25%灭幼脲 ⁸
	有孔团水虱	化学药剂(或食盐)进行涂抹 ⁹
生物防治	海榄雌瘤斑螟	苏云金杆菌、白僵菌等 ⁷
	海榄雌瘤斑螟	Bt制剂 ¹⁰
	海榄雌瘤斑螟	昆虫生长调节剂灭幼脲III号 ¹¹
	桐花树毛颚小卷蛾、棉古毒蛾和海榄雌瘤斑螟	印楝素农药 ¹²
	毛颚小卷蛾	茧蜂科和赤眼蜂科4种寄生性天敌 ¹³
	桐花树毛颚小卷蛾	螟黄赤眼蜂 ¹⁴
	海榄雌瘤斑螟	寄生蜂、携带多角体病毒的寄生蜂 ¹⁵
	盾蚧	保护天敌、防止植被高密度种植 ¹⁶
物理防治	海榄雌瘤斑螟	水枪冲淋 ¹⁷
	桐花树毛颚小卷蛾	黑光灯诱捕 ^{12, 18}
	多种红树林害虫	不同波长的诱虫灯 ¹⁹
	八点广翅蜡蝉	粘虫 ²⁰
	有孔团水虱	塑料薄膜隔离 ²¹

4.5.4.4 有害藤本植物清除

如藤本植物在红树林上攀附并引起红树植物大量死亡时，应开展有害藤本植物的清理和防治。常见的有害藤本植物包括鱼藤、薇甘菊和五爪金龙等。

对于薇甘菊和五爪金龙等入侵植物，主要采用人工拔除或挖除。

鱼藤为红树林伴生物种，如红树林区仅有少量沿岸分布并且未造成红树植物死亡，不需要进行清除，但要加强监控和后期可能的管理措施。对于造成危害的鱼藤，防治措施以人工拔除为主。

对于有萌蘖现象的有害藤本植物，建议在清理地上部分组织后拔除或挖除其木质化的基部，并从红树林中清除植物组织，防止其再生。



有害藤本植物清除

4.5.4.5 污损生物防治

污损生物的出现与滩涂的高程和水动力条件有关。

红树林污损生物主要有藤壶、团聚牡蛎、黑荞麦蛤等，其中藤壶是红树林最常见和危害程度较高的污损生物。

污损生物的防治方法包括物理清除和化学防治等。



藤壶是红树植物上常见的污损生物

(1) 物理清除

可采用人工剥除或机械清除。这种方式易于操作、对附着不紧密的污损生物具有较好的防治效果。对藤壶附着紧密且密度较高的生物，处理效果低且容易损伤植物。

也可借助简易的包裹装置²²防除红树植物上的污损生物(图 15)。该装置主要由包裹片和固定扎带构成，将包裹片包裹在污损生物附着位置，然后用扎带扎紧，阻断其与外界之间的“交流”，大约在 3~4 周后，污损生物会慢慢死亡且容易脱落。该方法不会伤害红树植株。

(2) 化学防污

将防污涂料涂抹在树干的污损生物上，具有较好的防治效果。但这种方式成本较高，而且只适用于树干和枝上，叶片上涂抹涂料会有碍光合作用。此外，也有采用喷洒混合化学药物的方式来防除污损生物，这种方式可以在短期内取得良好的效果，但喷洒的药物容易在海水浸淹时损失，降低药效的同时也容易造成海水环境污染。因此，采用化学药物防治时需要全面考虑其防治效果以及环境污染风险。



图 15 包裹法清除藤壶(左图)和清除效果(右图)

4.5.5 修复区域管护

红树林生态修复工程实施后，应对修复区域和周边区域进行有效管护。

管护时间根据红树植物的物种设定：速生物种为主的种植区域，管护时间可设定为1年~2年；种植非速生物种的区域，管护时间可设定为2年~4年。

根据修复区域存在的干扰因素，制定有针对性的修复区域管护措施。管护措施包括：

- 封滩育林，禁止在红树林区域进行与保育无关的作业，可采取专人巡视看护、设置警示牌和在林地周围布设防护网等措施加强保护，但需注意防护网的布设不宜影响红树林与周边生境动物和繁殖体的交流；
- 定期清理红树林区域的海漂垃圾和杂草，防治病虫害、污损生物和外来入侵生物等有害生物，同时保护红树林的海洋生物；有害生物的防治参考4.5.4部分执行；
- 限制项目周边区域会对红树林造成不利影响的开发活动，如海岸工程建设、污染物排放、清淤、采砂、水上运输等。

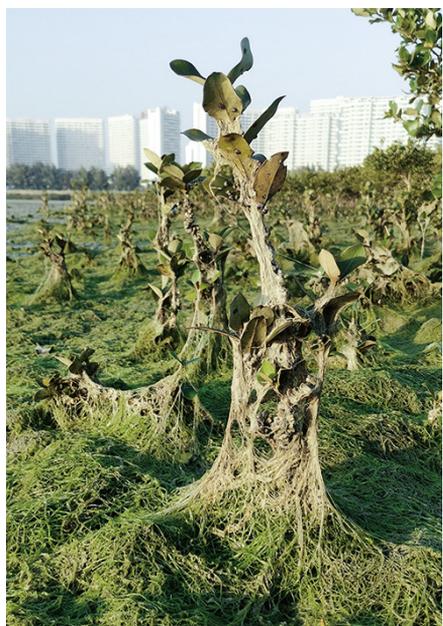


防护网是封滩育林的主要设施，也可以减少海漂垃圾的影响





藤壶造成红树幼苗的损伤



浒苔对红树植物幼苗构成威胁



4.6 监测、效果评估和适应管理

4.6.1 生态修复监测

生态修复监测的目的在于了解生态系统的状态及其变化趋势，为分析生态修复目标的实现和产生的综合效益提供数据。

生态修复监测遵循以下要求：

- 生态修复监测应包括修复工程实施前修复区域的本底调查和实施后的连续监测；项目可根据需要开展修复项目实施过程中周边区域的生态环境监测。
- 生态修复的方案编制阶段应同步制定生态修复监测方案，明确详细的监测计划。
- 条件允许的项目，应设定固定监测站位开展长期持续的跟踪监测。

4.6.1.1 监测内容

根据红树林生态修复的目标选择需要开展监测的内容和参数，生态监测内容包括红树林植被、其他生物群落、生境条件、生态过程等。在不同阶段的监测内容可有所侧重。

对应生态修复的短期目标，在项目验收前生态监测的内容应结合修复的对象和工程内容进行设定。涉及生境修复和敌害生物清除等威胁因素消除，应开展生境要素和威胁因素的监测，并确定反映威胁因素影响强度的具体监测指标。涉及红树林种植的项目，应在种植后开展连续监测，掌握幼苗的成活率、保存率和面积等。

对应生态修复的中长期目标，生态监测内容侧重重要物种、重要生态过程和功能的相关参数的监测。

条件允许的项目，除分析修复目标实现情况所需的监测内容外，可开展连续的综合生态监测。

监测内容和必要的监测指标参考表 1 选取。但无论采用何种修复方式，红树林植被监测是生态监测中必须开展的工作。

4.6.1.2 监测区域和站位

如在修复项目实施前未开展修复区的本底调查，或生态调查信息不充分，可设置对照生态系统代表修复区在修复前的状态，并开展同步生态监测。通过现场调查、调研和专家咨询等形式，在修复的红树林周边区域选择具有相似生境条件和退化情况的红树林或红树林迹地（滩涂和养殖塘）作为对照生态系统。

修复项目如涉及参照生态系统和对照生态系统的，生态修复监测区域除修复区域外，也应包括设定为对照生态系统和参照生态系统的红树林。

针对红树林植被覆盖情况的监测，监测的区域应覆盖全部修复的区域，以及设定为参照或对照生态系统的区域。

综合考虑植被和生境条件布设监测站点，重点根据红树林修复区域、物种和滩面高程等情况设置监测断面和监测站位。根据监测的参数合理设置监测样方 / 样线 / 样点的地理位置和大小，具体参见 T/CAOE20.3。动物群落、沉积物环境及生态功能监测站位和样方 / 样点宜与植被监测保持一致。鱼卵仔鱼、鸟类、水文环境和消浪减灾功能等监测站位和样方 / 样点根据评估需要和监测方法进行设置。

条件允许时，尽可能布设固定样方 / 样线 / 样点开展连续监测，并设置充足的重复监测样方 / 样线 / 样点数量。

4.6.1.3 监测的期限和频次

(1) 生态修复监测的期限

生态修复监测宜涵盖生态修复实施前、实施过程和修复工程实施后的不同阶段生态系统的状态。如生态监测不涉及对照生态系统，在生态修复措施实施前开始开展生态监测，至少在修复区域开展1次生态监测；如采用对照生态系统代表生态修复区域修复前的状态，可在修复后开展修复区域和对照区域的同步监测。

如开展修复项目实施过程中周边区域的环境监测，根据《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》²³的要求执行。

红树林生态修复工程实施后，跟踪监测的时间跨度与修复目标的实现时间一致，为评估修复目标实现情况提供监测数据。红树林植被、动物群落和生境条件的监测时间可设定为20年，生态功能的监测以40年为宜。如不具备开展长期跟踪监测的条件，监测时限可设定为5年，以满足短期目标评估的需要。

参照生态系统和对照生态系统至少开展1年的监测；条件允许时，监测期限可与修复区域的跟踪监测相同。

(2) 生态修复监测的频次

在红树林种植后1年内宜间隔1~2个月开展1次幼苗成活率的监测。

在红树林生态修复初期（<5年）宜逐年开展生态监测；红树林植被和沉积物环境监测可每年开展1次，动物群落的监测需考虑区域的季节因素，每年宜开展2~4次监测。红树林威胁因素强度的监测根据威胁因素类型设置。

修复时间大于5年的红树林，可根据实际情况开展定期监测，以间隔3~5年开展1个周年期的监测为宜。

如生态修复工程设定了阶段性目标，监测频次也需要依据阶段性目标实现的时间设定。

4.6.1.4 生态监测方法

根据设定的监测内容和指标，进一步参考相关的规范性文件和文献确定监测方法。在开展现场监测获取定量的数据外，综合采用观察、资料收集、调访等方式获取其他数据信息，如社会或经济方面的数据。条件允许的项目，可采用实时连续的观测设备获取修复区的影像和生态系统参数的信息。

根据修复区域的面积情况，可采用无人机航测或高清卫星遥感影像分析的方法监测红树林的面积变化。

宜定期采集具有可比性的修复区域红树林植被、动物和生境状况的影像资料，直观反映修复效果。例如，采用固定位置和角度拍摄红树林的状况。



4.6.2 生态修复效果评估

4.6.2.1 修复效果评估内容

根据生态修复的阶段性目标、中长期目标和生态修复监测的实施进度，进行生态系统修复效果的阶段性和终期评估。根据项目实际情况选择生态修复效果评估的内容。修复效果评估的内容可包括但不限于：

- 红树林植被恢复；
- 动物群落的恢复；
- 生境条件的恢复；
- 威胁因素的消除；
- 重要生态功能的恢复。

红树林生态修复效果评估应对照评估内容设定合理的评价指标。评价指标应与监测参数对应并明确计算方法。生态修复效果评估和监测的内容和指标参考表 1 选取。

在生态修复工程完成后 5 年内，重点评估红树林植被覆盖情况、红树林植物群落、大型底栖动物和树栖软体动物群落恢复情况、沉积物环境恢复情况等。如修复项目涉及生境修复和威胁因素消除的，在工程完成 5 年内也宜开展生境修复效果和威胁因素消除效果的评估。

在生态修复工程完成 5 年后，宜增加开展重要生态学过程恢复和生态功能恢复效果的评估，其中生态功能包括生态系统固碳、消浪缓流和生物多样性维持等。

4.6.2.2 修复效果评估方法

每个评估指标以所有监测站位的平均值作为修复区域的评估结果。根据生态修复监测结果，可以从生态系统指标改善与提升评估、生态修复目标实现程度两个方面进行修复效果评估。

(1) 生态系统指标改善与提升评估

生态修复工程也可以通过将评估指标的现状值与生态修复前的状态值或对照生态系统的现状值对比，评估各指标变化情况和趋势，反映生态系统状况的改善和功能的提升。

(2) 生态修复目标实现程度

对于明确了修复目标值的评估指标，通过对比相关指标在评估时的现状值和目标值来反映生态修复目标的实现情况。如在修复目标设定阶段没有明确评估指标目标值，可以将评估指标的现状值与参照生态系统的状态值进行比较，当这些指标达到或接近参照生态系统的状态时，可认为生态系统实现恢复。

评估生态修复目标实现程度时，对于未显著恢复的指标，可采用专家咨询或调查、试验的方法进一步分析其是否仍处于退化状态或对生态系统的恢复造成不利影响。

4.6.3 生态修复适应性管理

修复的适应性管理要求根据监测和修复效果的评估结果，识别修复效果不理想的修复目标或生态系统指标，或对生态系统恢复造成不利影响的指标，分析修复技术和方法的有效性，对效果不理想的修复技术和方法，以及可能对生态系统造成新的破坏的修复措施和技术等进行相应调整修正，或者引入新的技术方法改善修复的效果。

可根据环境的长期变化以及参照生态系统的红树林状态，对生态修复的总体目标进行适当和合理的调整。

根据不同类型的修复方式和修复阶段，可采取不同的改善措施。

① 自然恢复的红树林

对于采用自然恢复方式的生态修复项目，如在修复区内自然生长的红树植物数量未达到预期目标，可采用少量的人工种植进行补充。

② 人工辅助修复和重建性修复

人工种植的红树林，在红树林种植后定期观测胚轴的萌芽和幼苗的成活情况，当幼苗的成活率 $< 75\%$ 时宜开展补种，这种短期管护可在 1 年后结束。短期管护结束后，根据红树幼苗保存情况采取必要的补种，直至种植工程验收结束。

根据修复后红树林滩涂的威胁因素、地形地貌的维持、水体交换程度、沉积物环境，红树林植被以及其他生物群落等恢复情况，判断修复采用的技术是否有效，对于修复效果不理想或修复目标未实现的，分析失败的原因，必要时调整修复措施和技术，或引入一些新的修复措施和技术。

规范性引用文件:

GB/T 12763.2 海洋调查规范 第2部分:海洋水文观测

GB/T 12763.8 海洋调查规范 第8部分:海洋地质地球物理调查

GB 17378.4 海洋监测规范 第4部分:海水分析

GB/T 17501 海洋工程地形测量规范

LY/T 1938—2011 红树林建设技术规程

LY/T 2853—2017 红树林主要食叶害虫防治技术规程

DB44/T 284—2005 红树林造林技术规程

T/CAOE 20.3 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则 第3部分:红树林

参考文献:

1. Lewis III R, Brown B M, Flynn L L. *Methods and Criteria for Successful Mangrove Forest Rehabilitation - ScienceDirect. Coastal Wetlands (Second Edition), 2019: 863-887.*
2. *Wetlands International. Permeable Structures Building with Nature to restore eroding tropical muddy coasts, Ecoshape: 2020. p. 1-60.*
3. 卢昌义, 郑逢中. 红树植物胚轴苗繁育方法. ZL 01141706. 4.
4. Riley R W, Kent C P S. *Riley encased methodology: principles and processes of mangrove habitat creation and restoration. Mangroves and Salt Marshes, 1999, 3: 207-213.*
5. 卢昌义, 郑逢中, 叶勇. 红树植物种子袋及其播种方法. ZL 03109954.8.
6. 卢昌义, 郑逢中, 叶勇. 红树植物种子萌芽保护杯. ZL 03243713.7.
7. 吴寿德, 方柏州, 黄金水, 丁秘, 柳其文, 吴秋城. 红树林害虫-螟蛾生物防治技术的研究. *武夷科学*, 2002, 18: 116-119.
8. 张文英, 邓艳, 吴耀军, 李德伟, 杨振德. 4种药剂对无瓣海桑害虫迹斑绿刺蛾的室内防效. *安徽农业科学*, 2012(7): 215-216/219.

-
9. 刘文爱, 薛云红, 王广军, 等. 红树林顶级杀手-有孔团水虱的研究进展. 林业科学研究, 2020, 33(3): 167-174.
 10. 李罡, 咎启杰, 赵淑玲, 肖宇宙, 王勇军, 徐华林, 彭辉银. 海榄雌瘤斑螟的生物学特性及Bt对其幼虫的毒力和防效. 应用与环境生物学报, 2007, 13: 50-54.
 11. 贾凤龙, 王勇军, 咎启杰. 灭幼脲Ⅲ号, 苏云金杆菌防治广州小斑螟药效试验. 环境昆虫学报, 2001, 23: 86-89.
 12. 何雪香, 秦长生, 廖仿炎, 徐金柱, 揭育泽, 廖宝文. 印楝素农药与虫生真菌混用防治红树林鳞翅目害虫. 生态科学, 2009, 28: 318-323.
 13. 秦元丽, 邓艳, 常明山, 李德伟, 张文英. 桐花树毛颚小卷蛾防治试验. 林业工程学报, 2012, 26(4): 95-97.
 14. 邓艳, 常明山, 李德伟, 吴耀军, 蒋学建. 利用螟黄赤眼蜂防治桐花树毛颚小卷蛾试验. 林业工程学报, 2014, 28(2): 108-110.
 15. 戴建青, 李军, 李志刚, 等. 红树林害虫海榄雌瘤斑螟控制技术研究. 广东农业科学, 2011, (13): 71-73.
 16. 韩宙, 钟锋. 红树林常见虫害的概述及防治方法. 农业开发与装备, 2012(6): 148-154.
 17. 范航清, 邱广龙. 中国北部湾白骨壤红树林的虫害与研究对策. 广西植物, 2004, 24(6): 558-562.
 18. 李德伟, 吴耀军, 罗基同, 赵程劼, 梁立道, 秦元丽. 广西北部湾桐花树毛颚小卷蛾生物学特性及防治. 中国森林病虫, 2010, 29(2): 12-14.
 19. 王林聪, 李志刚, 李军, 韩诗畴. 不同波长诱虫灯对红树林主要害虫的诱集作用. 环境昆虫学报, 2016, 38(5): 1028-1031.
 20. 徐华林, 刘赞锋, 包强, 曾立强, 江世宏. 八点广翅蜡蝉对深圳福田红树林的危害及防治. 林业与环境科学, 2013, 29(5): 26-30.
 21. 吕晓波, 钟才荣, 杨小波, 等. 一种运用隔离原理治理红树林团水虱危害的物理防治方法. CN104067889B.
 22. 卢昌义, 陈慧杰, 金亮, 刘晓曦. 红树植株防除藤壶包裹装置. CN209390765U.
 23. 国家海洋局. 建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程. 2002.

附录 红树林的知识

一、红树林的分布

红树林广泛地分布在全球热带、亚热带地区的 124 个国家或地区，生长在隐蔽的海岸、潟湖、河口和三角洲等潮间带^[1]。红树林的分布虽受气候限制，但海流的作用使它的分布超出了热带海区。在北美大西洋沿岸，红树林到达百慕大群岛（北纬 32°20'），在亚洲则见于日本南部（北纬 31°22'），在南半球红树林分布范围比北半球更远离赤道，可至澳大利亚南部（南纬 38°45'）、新西兰（南纬 38°59'）^[2]。根据 Hamilton 和 Casey 的估算^[3]，2012 年全球红树林的有林面积为 83,495 km²，其中印度尼西亚、巴西、马来西亚、巴布亚新几内亚、澳大利亚、墨西哥、尼日利亚、缅甸、菲律宾和泰国等 20 个国家拥有全球 85% 的红树林。

我国红树林分布于海南、广东、广西、福建、浙江、台湾、香港和澳门等地。主要分布在北部湾海岸和海南东海岸，其中北部湾海岸包括广东湛江、广西沿海及海南的西海岸。我国红树林自然分布的北界是福建省的福鼎市（隶属宁德市），人工成功引种的北界则为浙江乐清西门岛^[4]。

中国现有原生红树植物 21 科 37 种，其中真红树植物 11 科 14 属 25 种（附表 1），半红树植物 10 科 12 属 12 种（附表 2）。此外，外来引种的 2 种真红树植物，无瓣海桑（*Sonneratia apetala*）和拉关木（*Laguncularia racemosa*）已成为我国的广布种。除长期生存于

林下的蕨类外，红树林群落内外的草本植物和藤本植物一般不被列入红树植物范畴，而属于红树林伴生植物。随着纬度的升高，红树植物种类逐渐减少，其中海南拥有最多红树物种，我国已记录的物种在海南均有分布；浙江只有引种的秋茄 (*Kandelia obovata*) 1种。



2018年我国红树林分布图。图片由国土卫星中心提供，审图号GS(2019)5809。

附表 1 我国大陆地区原生真红树植物的物种及其分布现状^[4-6]

序号	种名	海南	广东	广西	福建
1	卤蕨 <i>Acrostichum aureum</i>	√	√	√	
2	尖叶卤蕨 <i>Acrostichum speciosum</i>	√	√		
3	木果楝 <i>Xylocarpus granatum</i>	√			
4	海漆 <i>Excoecaria agallocha</i>	√	√	√	
5	杯萼海桑 <i>Sonneratia alba</i>	√			
6	海桑 <i>Sonneratia caseolaris</i>	√			
7	海南海桑 <i>Sonneratia × hainanensis</i>	√			
8	卵叶海桑 <i>Sonneratia ovata</i>	√			
9	拟海桑 <i>Sonneratia × gulngai</i>	√			
10	木榄 <i>Bruguiera gymnorhiza</i>	√	√	√	√
11	海莲 <i>Bruguiera sexangula</i>	√			
12	尖瓣海莲 <i>Bruguiera sexangula</i> var. <i>rhynchopetala</i>	√			
13	角果木 <i>Ceriops tagal</i>	√	√		
14	秋茄 <i>Kandelia obovata</i>	√	√	√	√
15	正红树 <i>Rhizophora apiculata</i>	√			
16	红海榄 <i>Rhizophora stylosa</i>	√	√	√	
17	拉氏红树 <i>Rhizophora × lamarckii</i>	√			
18	红榄李 <i>Lumnitzera littorea</i>	√			
19	榄李 <i>Lumnitzera racemosa</i>	√	√	√	
20	桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	√	√	√	√
21	白骨壤 <i>Avicennia marina</i>	√	√	√	√
22	小花老鼠簕 <i>Acanthus ebracteatus</i>	√	√	√	
23	老鼠簕 <i>Acanthus ilicifolius</i>	√	√	√	√
24	瓶花木 <i>Scyphiphora hydrophyllacea</i>	√			
25	水椰 <i>Nypa fruticans</i>	√			
合计*		25	12	10	5

* 仅统计天然分布的物种。浙江仅有秋茄(引种),表中不列举。

附表 2 我国大陆地区原生半红树植物的物种及其分布现状^[4,5]

序号	种名	海南	广东	广西	福建
1	莲叶桐 <i>Hernandia nymphiifolia</i>	√			
2	水黄皮 <i>Pongamia pinnata</i>	√	√	√	
3	黄槿 <i>Hibiscus tiliaceus</i>	√	√	√	√
4	杨叶肖槿 <i>Thespesia populnea</i>	√	√	√	
5	银叶树 <i>Heritiera littoralis</i>	√	√	√	
6	水芫花 <i>Pemphis acidula</i>	√			
7	玉蕊 <i>Barringtonia racemosa</i>	√	√		
8	海杧果 <i>Cerbera manghas</i>	√	√	√	
9	苦郎树 <i>Clerodendrum inerme</i>	√	√	√	√
10	钝叶臭黄荆 <i>Premna obtusifolia</i>	√	√	√	
11	海滨猫尾木 <i>Dolichandron spathacea</i>	√			
12	阔苞菊 <i>Pluchea indica</i>	√	√	√	√
合计*		12	9	8	3

* 仅统计天然分布的物种。

二、红树林分布的影响因素

潮间带的生境条件是限制红树植物生长和成活的关键要素,因此宜林地的选择是红树林生态修复的关键因素之一。同时,这些生境条件对红树林生态系统的生态学过程,例如初级生产力和营养物质的循环也有影响。

(1)气候

温度是调节生物生长繁殖最重要的环境因子,也是控制红树林天然分布的决定因素。红树林植被为热带或亚热带海岸物种,对低温较敏感,宏观分布的纬度界线主要受温度(气温、水温或霜冻频率)控制,尤其与水温关系更为密切^[4]。纬度决定了所在区域的气

2016年1月历史极值低温影响后的浙江乐清红树林



浙江慈溪受冻害影响的红树林



候特征,最低月气温决定了红树林能否安全越冬。但是通过人工驯化,某些红树植物的种植范围可超越天然分布的界限^[7]。

从地理分布看出,红树林植物种类的分布与纬度有很大的关系,随纬度的增加,红树植物的物种多样性逐渐减少;相比其最适宜分布区,随着纬度增高红树植株也逐渐矮化。

(2) 盐度

红树植物对盐度有一定的适应范围,在盐度约2~35的河口海岸线生长较好,但在淡水和盐度较高的海水中生长不良^[8]。不同种类的红树植物对盐度的耐受性不同^[4]。桐花树属、老鼠簕属、白骨壤属均具有泌盐特性,其体内只能容纳一定的盐分,随着环境盐度的增大,植物体内盐分吸入量增加后有能力将相应的盐分排出体外,因而能适应较高盐度环境。在生长上,红树植物总体呈现低盐促进高盐抑制生长的规律。盐度过高时会严重影响红树植物的生物量累积。

(3) 底质类型

底质类型是控制红树林天然分布的重要因子。学者把红树林划分为软底型(河口海湾环境淤泥潮滩)、硬底型(大洋环境砂砾质潮滩)及其间的过渡类型,表明了红树林海岸沉积物的巨大差异^[9]。尽管红树林也可以生长在砂质、基岩和珊瑚海岸,但它们主要是分布在软泥型的环境中^[10]。不同底质类型对红树林的生长状况影响也很大,砂质地、排水不畅的烂淤地、干涸地均不利于红树林生长。

(4) 水文条件

红树林适宜生长在受良好屏蔽的港湾、河口、潟湖、海岸沙坝或岛屿的背风侧、珊瑚礁坪后缘,以及与优势风向平行的岸线等,而不能分布于受波浪作用较强的开阔岸段。强波浪妨碍底质的泥砂沉积,并且阻碍红树林植物幼苗扎根和生长。极端天气现象造成的强波浪和风暴潮会对红树林造成破坏,热带气旋和飓风产生的波浪对红树林可以产生负面影响甚至毁灭性的打击^[10]。

红树林一般分布于平均海面与大潮平均高潮位之间的滩面,这是红树林总体受潮汐浸淹控制的表现,过长时间的淹浸或滩地积水将会干扰某些红树植物的正常生长及生理活动^[11]。红树植物对浸淹的耐受程度决定了红树植物在潮间带横向的分布状况,这对于各区域造林物种的选择至关重要。

三、红树植物对海洋环境的适宜

在潮间带生境的高度盐渍化、酸化、土壤(沉积物)的缺氧、高光辐射及周期性的海水浸淹的条件下,经长期的自然选择和进化适应,红树植物逐渐形成了一套独特的生态特征^[4, 11, 12]:

(1) 具有独特的气生根和支柱根形态

由于缺氧和潮汐冲刷,红树植物发育各种形态的气生根和支柱根,如板状根、指状根、膝状根、蛇状匍匐根等。

支柱根和板状根:适应泥泞的红树植物,从茎基伸出拱形下弯的支柱根或宽厚的板状根,以抗御风浪。

呼吸根:为适应土壤中缺氧的环境,红树植物一部分根背地向上生长,露出地面用于呼吸,这类根有发达的通气组织,其表皮有皮孔。



缺氧是红树林生长的泥滩环境的一个特点



指状呼吸根

笋状呼吸根



膝状呼吸根



笋状呼吸根



红树植物的支柱根

(2) 胎生现象

胎生现象是红树植物重要特点之一,可分为显胎生和隐胎生。

红树植物中,红树科的果实成熟时仍留在树上,种子在母树的果实内发芽后,从果中伸出,形成一个下垂的胚轴,为显胎生;胚根成熟掉落后插入泥中,即可成苗;若掉入潮水中,由于胚轴有气道,可远漂传播。

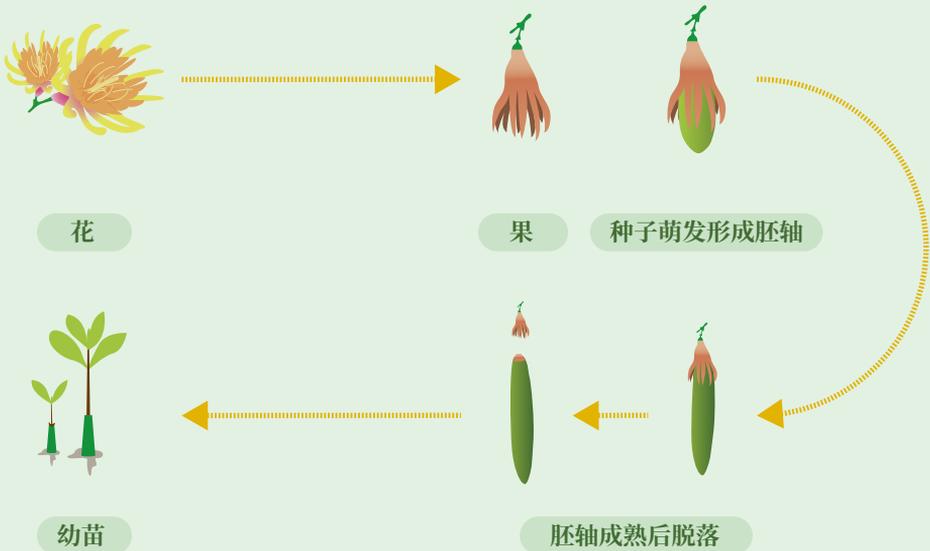
白骨壤、桐花树等非红树科红树植物,种子萌发后,仍留在果皮内,把果皮填满;当果实掉入水中,果皮吸水胀破后,幼苗才伸出果皮,插入泥中,即开始生根固着下来,为隐胎生。



显胎生植物的胚轴



红树植物的显胎生



01



隱胎生的白骨壤繁殖体“果实”的生根和萌芽

02



03



04



(3)耐盐机制

在高盐环境中生长的红树植物形成了拒盐、排盐和渗透调节等适应机制。红树植物的根系是非常有效的过滤系统,可将根系吸收水中的大部分盐分过滤掉。对于进入体内的多余盐分,可通过盐腺泌盐、落叶脱盐等方式排出体外。红树植物的叶片出现典型的旱生植物特点,叶片往往较小,革质,肉质化程度较高,被认为是避免盐分浓度过高的一种稀释机制。红树植物也能通过将多余盐分输送到枯黄的叶片并凋落来排除盐分。而为了增强从海水中吸收水分的能力,红树植物通过积累大量渗透调节物质的方式来实现叶片的低水势,增强吸收水分的能力。

红树叶片分泌的“盐水”风干后形成盐晶



泌盐的现象在其他滨海湿地植物中也常见,图中显示互花米草叶片分泌的盐晶



(4) 富含单宁

富含单宁是红树植物在化学成分上的显著特征,对红树植物具有重要的生态意义。红树植物树皮和果皮的单宁含量高,形成一个有效的保护层。由于单宁有涩味,避免或减轻了动物对植物活体的直接啃食。同时,单宁有抑制微生物活动、杀灭病原菌的效能,增强了红树植物抗病能力和抗海水腐蚀的能力。

(5) 特殊的次生木质部结构

次生木质部结构中,导管直径小、分子长、分布频率多。红树植物生长在海滨滩涂含盐量高,渗透压大,植物吸水需要更多的负压,导管直径小能提高植物的负压,增加植物的吸水能力。窄导管的输导效率虽低,但抗负压强,不易倒塌,且窄导管单位面积上的数量多,即使有部分导管被气泡堵塞,也不会导致整个输导系统丧失功能,这样可保证水分运输的安全性。

红树林为什么会“红”?

红树林之所以被称为“红树林”,是因为红树植物体内富含单宁类物质,当红树植物树皮破损,单宁暴露在空气中会迅速氧化呈红色。



四、红树林生态功能

红树林具有维持海岸生态系统的结构和功能作用,发挥着防风消浪、促淤护岸、净化水体等作用,同时为各种海洋生物提供栖息地、产卵场和食物来源,维系着近岸的生物多样性,特别是一些濒危哺乳动物、爬行动物、两栖动物和鸟类。红树林也为沿岸社区提供木材和其他经济产品、休闲娱乐等服务,支撑社会经济发展。近年来,包括红树林在内的滨海湿地在固碳和减缓气候变化方面发挥着重要的作用引起了全球性的广泛关注。

(1) 维系近岸生物多样性

红树林作为河口海区生态系统初级生产者支撑着广博的陆域和海域生态系统,为海区和海陆交界带的生物提供食物来源,也为鸟类、昆虫、鱼虾贝类等提供栖息繁衍场所,并构成复杂的食物链和食物网。红树植物的凋落物,特别是凋落叶,直接或者间接地为红树林生态系统内和邻近系统的大型底栖动物提供食物来源。此外,红树植物的根系、枝干和枝条可以为大型底栖动物提供栖息和附着场所,红树林植被能改善潮间带高温和高蒸腾作用等不利环境,因此吸引了大量的大型底栖动物,这些动物同时又为其他无脊椎动物和鱼类提供食物来源。

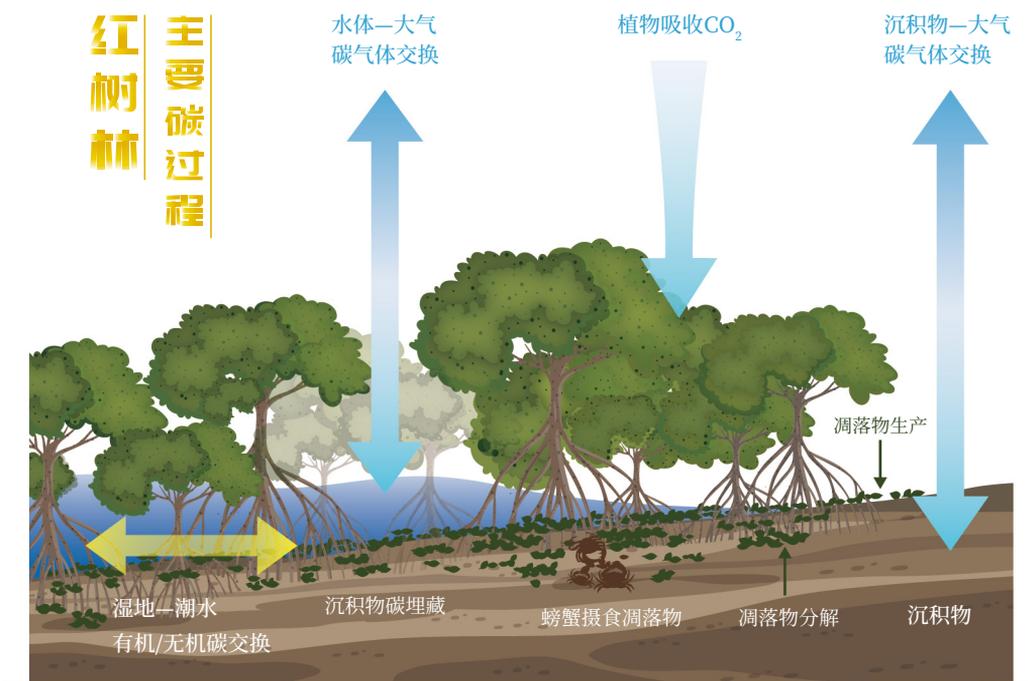


红树林维持着近岸生物多样性

(2) 固碳减缓气候变暖

红树林具有高的净初级生产力, 它们的净初级生产力高于陆地森林和其他海洋生态系统, 可以吸收大气 CO_2 并储存在它们的生物量中。通常红树林30%左右的植物净初级生产力以凋落物的形式进入生态系统周转^[13,14], 或者输出到毗邻海域, 意味着有多数的初级生产力储存在其生物量中得以保存。

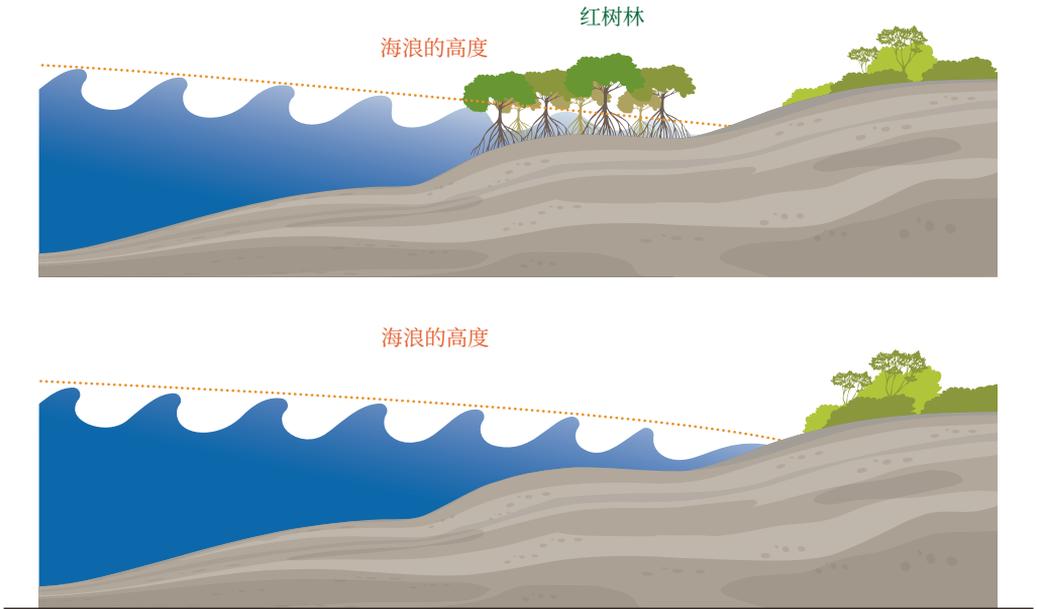
红树林位于海陆交接的潮间带, 通过潮汐作用与外界环境发生物质交换。湿地植被复杂的地上结构(地表支柱/呼吸根和茂密的植株)发挥的消浪作用有利于促进潮水中颗粒有机碳的沉降。植物凋落物(枯枝落叶)和死亡的根系经过底栖动物摄食和微生物分解后部分也能埋藏到沉积物中。湿地沉积物缺氧的状态则限制了埋藏在其中的有机碳的好氧分解, 有机碳得以长期保存。



(3) 消浪促淤

红树植物具有复杂的地上结构,包括它们的地表支柱根、呼吸根和它们茂密的植株。因此,当潮水经过红树林时,除地表沉积物的摩擦外,植物的地上结构通过波浪破碎和摩擦损耗等作用消耗破浪能量。红树林对浪的消减效应与林带宽度、植物地上根、树干、株高、密度及树冠等多个植被特征有关^[15,16]。

红树林植被也通过减弱波浪动能和潮流影响滩涂的沉积环境,促进潮水中悬浮泥砂和有机颗粒物在林内沉积,也降低了潮水对地表沉积物的扰动。



红树林可以削弱海浪的强度,保护海岸和沿岸社区

(4) 净化水质

植物的生长过程中需要吸收大量的水分、无机盐和营养,进而会吸收一定量污水中的污染物和营养物,所以植物对污染物和营养物的吸收作用被许多人认为在净化水质中起重要的作用,红树林湿地和人工红树林湿地被视为很多污染物廉价而有效的处理场所,对于富含营养盐废水的处理可能特别有效^[17,18]。相比红树植物,红树林湿地沉积物中微生物代谢在氮的净化中发挥着更重要的作用^[19]。

五、红树林破坏和生态退化

在沿海地区人口和社会经济发展的压力下,红树林由于围垦造田、水产养殖和盐田生产,以及填海造地等开发活动而被破坏,其全球面积自1980年的 1.88×10^3 万公顷下降至2005年的 1.52×10^3 万公顷^[1]。这种衰退在亚洲、加勒比海和拉美地区的尤为明显,主要归咎于大规模的水产养殖和旅游设施建设;其中印度尼西亚、墨西哥、巴基斯坦、巴布亚新几内亚和巴拿马红树林的丧失速率最为明显。2000年至2012年间,全球红树林下降16.46万公顷,东南亚国家的红树林丧失居尤为明显,其中印度尼西亚的红树林丧失面积居全球之冠(7.49万公顷),缅甸则是下降速率最快的国家^[3]。

红树林的丧失和退化引起了全球范围内红树林保护意识的提升,推动了红树林生态保护和修复的开展。截至2000年,全球约有6.9%红树林被纳入现有的保护地网络(IUCN的I-IV级保护地),形成政府、非政府组织和社区等多方投入的保护修复机制^[3];自20世纪70年代后期开始,世界各地采取了一系列措施减缓和遏止红树林退化丧失的趋势,在美洲、大洋洲、亚洲等地区也进行了大量红树林的恢复种植^[20]。在全球范围内,也推出发展中国家REDD+^[21]、红树林行动计划(Mangrove Action Project)^[22]等政府间或公益性保护行动。

养殖池塘建设是导致全球红树林资源衰退的主要原因之一



* *Reducing emissions from deforestation and forest degradation, plus the sustainable management of forests, and the conservation and enhancement of forest carbon stocks*, 指发展中国家通过减少毁林与森林退化减少碳排放, 森林的可持续管理, 以及保护和增加森林的碳储量。

尽管如此,当前我国红树林的保护仍面临着挑战,红树林受到的威胁由上世纪的大规模毁林转变为近年来因人为和自然因素等原因导致的退化,生物入侵、围填海、环境污染、病虫害、岸线侵蚀和生境丧失等问题威胁着红树林的保护和健康,其中互花米草入侵和病虫害已经成为全国性的问题。近年来红树林病虫害问题尤为突出,病虫害的爆发趋于频繁,害虫的种类多样化、影响的区域进一步扩大。红树林的退化,将影响到红树维持生物多样性、防护海岸线等生态功能,削弱了海岸线对极端气候事件的抵御能力。



(1) 近岸污染

红树林湿地对污染物有较强的净化能力,适度的污水进入湿地能够促进红树植物的生长,但是湿地对污染物的净化能力是有限的。养殖、工业及生活污水的排放、近海石油泄漏会对红树林造成威胁。污染物进入红树林后,可能会造成沉积物环境的缺氧,并对红树林植物和林下动物造成胁迫。此外,城市周边生活垃圾的倾倒是海漂垃圾在红树林中堆积,不仅对植物幼苗造成直接的物理伤害,对种子萌发和植物的自然更新造成影响,对底栖动物群落也可能造成影响。

沿岸的水产养殖池塘向红树林排放废水



红树林面临的海漂垃圾问题

(2) 海堤建设和海平面上升

沿海地区修筑和维护海堤对滨海湿地也造成破坏。我国大陆60%长度的海岸线已修筑人工海堤^[23]。我国现存的红树林中, 80%以上的红树林分布在海堤前缘^[24]。海堤建设需要占用大量土地, 影响自然海岸的地貌和沉积环境, 限制陆地生态系统和海洋生态系统的物质、能量及信息交流, 进而影响滨海湿地的自我维持能力。海堤的建设也减弱了红树林植被应对海平面上升不利影响的能力, 在海平面上升的作用下, 红树植物无法向陆缘后退, 将导致其物种的演替或植被的消亡^[24]。

(3) 民众林下讨小海和家禽养殖

红树林为诸多海洋动物提供良好的栖息和生存环境, 湿地中有不少具有较高经济价值和较好食用价值的物种, 如贝类、青蟹和星虫。在红树林和周边滩涂进行经济物种的捕捞和采集是我国沿海地区的传统开发活动。但是, 长期的过度捕捞活动导致了湿地中底栖动物经济物种资源的衰退。另一方面, 在红树林进行挖捕, 频繁的挖掘还将损伤植物根系、践踏植物, 造成植被的破坏。

红树林区养殖家禽, 会觅食林下的底栖动物、破坏红树植物幼苗, 造成生物群落的衰退, 家禽觅食过程中破坏了林下沉积物的稳定性, 排放的粪便引起水体的污染, 其不利的影晌引起了广泛的关注, 也被认为是造成红树林困水虱爆发的主要原因^[25]。



红树林区域的家禽家畜养殖

(4) 岸线侵蚀

由于城市建设对砂石料的需求量不断增加,对采砂行业的管理尚不够完全规范,国内许多河流存在着无序采砂的状况,加上江河上游的水利工程建设和水土流失的治理减少了泥砂的入海量。这些因素改变了已相对稳定的河床形态和河汊分流比例,改变河流流势和流速,致使河床下切流势改变,直接造成河口沿岸的岸滩下陷和侵蚀,导致红树林的消亡^[26,27]。一些海岸工程或者围填海项目也改变了局部区域的海洋动力过程,对周边的红树林岸滩稳定性构成威胁。



岸线侵蚀导致红树林的倒伏消亡

(5) 生物危害

互花米草、薇甘菊、鱼藤、浒苔和病虫害等生物危害已经成为影响红树林生态的主要因素之一。

互花米草由于其繁殖力强、生长快,扩散能力强,已在我国多数沿海地区造成严重的生态入侵^[28]。尽管互花米草被认为与红树林的生态位有所重叠而可能产生竞争,但在郁闭的红树林冠层下互花米草难以生长,互花米草的危害更多地体现在对红树林外围滩涂的侵占,以及对退化和稀疏的红树林或幼林构成威胁。

病虫害是近几年来受到广泛关注的、对湿地植被造成严重危害的威胁因子之一。目前全国多地红树林均受到病虫害的影响。20世纪90年代以来我国红树林病虫害逐渐加重,表现在原有的病虫害规模扩大、危害加重,造成影响的虫害种类增加^[29]。

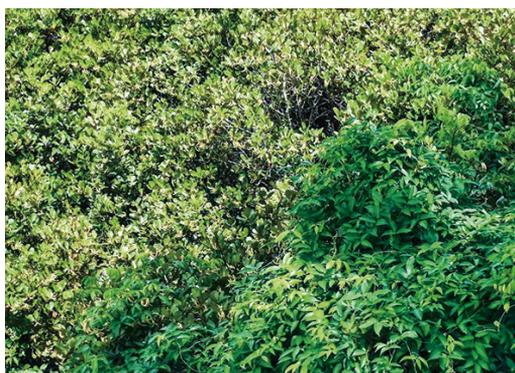
近年来红树林中常见的伴生植物鱼藤也对我国多地的红树林造成严重危害。鱼藤成片攀附于红树树冠上并蔓延覆盖,影响红树植物的光合和生长,导致红树植物的死亡和植被的退化。



互花米草挤占红树林的生存空间,对红树林的幼林构成威胁



虫害影响的问题日益突出并且影响范围趋于扩大



鱼藤覆盖后造成桐花树大面积死亡

(6) 生境丧失

除上述因素造成生境的退化,历史上我国沿海的多次开发活动和海堤建设,破坏了中高潮带的红树林,造成了适生于中高潮带的红树植物资源和生境的丧失,这也是造成我国红树物种濒危及程度高的原因。目前我国37种红树植物(包括真红树和半红树)中有20种处于不同程度的濒危及状态,而红榄李、海南海桑、卵叶海桑和拉氏红树处于极危状态^[30]。

真红树植物



01 卤蕨

Acrostichum aureum

科属：科卤蕨属

别名：金蕨

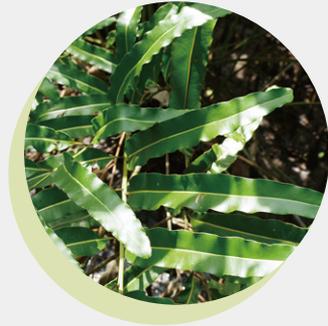
英文名：Mangrove Fern, Golden Arrelichum

卤蕨科多年生草本植物，高达 2 m；根状茎直立，顶端密被褐棕色的阔披针形鳞片；奇数一回羽状复叶簇生，厚革质，羽片数可达 30 对；孢子囊布满能育羽片背面，无盖。同属尖叶卤蕨 (*A. speciosum*) 与卤蕨相似，相比卤蕨较矮且叶尖尖^[31]。

分布^[31]：福建(已灭绝)、广东、广西、海南、香港和台湾。常见。



卤蕨-孢子囊



卤蕨-叶



02 尖叶卤蕨 *Acrostichum speciosum*

科属: 卤蕨科卤蕨属

英文名: Mangrove Fern

卤蕨科多年生草本植物, 高0.5~1.5m, 根状茎直立, 连同叶柄基部被鳞片; 叶簇生, 叶柄长50 cm左右, 奇数一回羽状复叶, 厚革质, 羽片数13~15对, 叶顶端稍急尖而呈短尾状; 孢子囊散布能育羽片背面^[31]。

分布^[31]: 海南和广东。少见。



尖叶卤蕨-孢子囊



尖叶卤蕨-叶



03 木果楝

Xylocarpus granatum

科属: 楝科木果楝属

别名: 海柚

英文名: Common Xylocarpus

楝科常绿小乔木, 高达8m, 有不甚发达的板根或蛇形表面根; 一回羽状复叶互生, 小叶椭圆形至倒卵状长圆形, 通常4枚, 对生, 近革质; 聚伞花序再组成圆锥花序, 聚伞花序有花1~3朵, 花白色; 蒴果球形, 果皮肉质; 种子大而厚, 有棱, 外种皮纤维质, 质轻, 种子借此随水流传播; 花果期全年^[31]。

分布^[31]: 我国仅分布于海南岛东海岸的文昌至三亚一带, 广东雷州有引种。少见。



木果楝-花



木果楝-果



04 海漆 *Excoecaria agallocha*

科属:海桑科海桑属

别名:土沉香

英文名: Milky Mangrove

大戟科半落叶乔木, 最高可达 10m, 具白色乳汁; 单叶互生, 椭圆形, 肉质, 全缘, 叶柄具两腺体; 花单性异株, 雄花序穗状, 雌花序总状, 花黄绿色, 无花瓣; 蒴果三角状, 具三浅沟, 熟时暗褐色; 花期4~5月, 果期6~7月^[31]。

分布^[31]: 福建、广东、广西、海南、香港和台湾。福建云霄漳江口的海漆已经于20世纪90年代灭绝。常见。



海漆-雌花



海漆-雄花



海漆-果



05 海桑 *Sonneratia caseolaris*

科属:海桑科海桑属

英文名: Mangrove Apple

海桑科常绿乔木,高5~12m,全株无毛,具发达的笋状呼吸根;小枝通常下垂;单叶对生,厚革质,形状变异大,阔卵形或倒卵状长圆形;花单生枝顶,花梗粗短,花萼筒平滑无棱,浅杯状,果期碟形,花瓣暗红色,雄蕊多数,花丝粉红色或上部白色,下部红色;浆果球形,为宿萼所包围;花期冬季,果期春夏季^[31]。

分布^[31]:天然分布于海南的文昌、琼海万宁和三亚等地。海南东寨港、广东深圳和广州有引种。不多见。



海桑-花



海桑-果



06 杯萼海桑 *Sonneratia alba*

科属:海桑科海桑属

别名:伽果

英文名:White Flowered Mangrove, Cupralyx Sioneraia

海桑科常绿灌木或小乔木,高达12 m(海南不超过6m),有发达的笋状呼吸根;单叶对生,倒卵形,革质或肉质;花单生叶腋,萼筒钟形或倒圆锥形,有明显的棱,裂片卵状三角形,外反,内面红色;花瓣白色,有时下部浅红色,丝状,与花丝不易分别;雄蕊多数,花丝白色;浆果扁球形;花期春夏季,果期秋冬季^[31]。

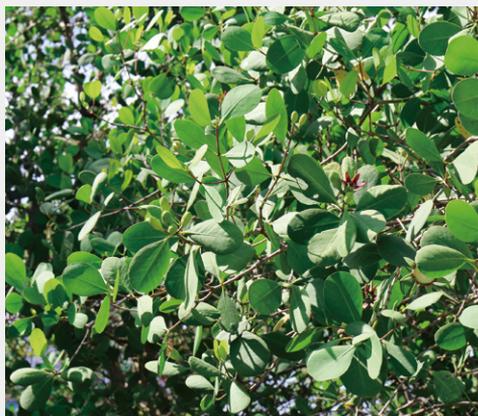
分布^[31]:海桑属植物中分布最广的种类,我国仅见于海南东海岸。海南东寨港有人工引种。



杯萼海桑-果



杯萼海桑-花



07 海南海桑

Sonneratia × hainanensis

科属:海桑科海桑属

海桑科常绿乔木,为卵叶海桑和杯萼海桑的杂交种,高达13m,有发达的笋状呼吸根;单叶对生,革质,近圆形,罕有阔卵形,顶端近圆或钝,基部短收狭,全缘。花大而美丽,数朵簇生于枝顶,罕为单生,花瓣条形或不明显,花丝较花瓣后脱落,花萼裂片内面幼时红色,果实成熟后变浅绿色;浆果扁球形;果实成熟期 6~9月^[31]。

分布^[31]:天然分布于海南文昌清澜港的东阁、头苑、文教及文城镇,目前仅剩20余株。海南东寨港国家级自然保护区有引种。



海南海桑-花



海南海桑-果



08 卵叶海桑

Sonneratia ovata

科属:海桑科海桑属

别名:大叶海桑

英文名: Mangrove Apple, Gedahu

海桑科常绿乔木,高8m,具发达的笋状呼吸根;单叶对生,阔卵形,稍肉质,全缘;花单生枝顶,无花瓣,柱头头状,花萼表面具密集的瘤状突起;果大,直径6~9 cm,略扁,形状略不规则;花果期全年,盛果期6~9月^[31]。

分布^[31]:仅分布于海南文昌清澜港,野生个体数量不超过50株。海南东寨港国家级自然保护区和三亚青梅港自然保护区有引种。



卵叶海桑-果



卵叶海桑-花



09 拟海桑 *Sonneratia × gulngai*

科属:海桑科海桑属

英文名:CuIngai-Hybrid Apple Mangrove

海桑科常绿乔木,高达20m,有发达的笋状呼吸根;本种为海桑和杯萼海桑的杂交种,花瓣红色与海桑相似(杯萼海桑花瓣白色),花丝下部红色,上部白色,花蕾中部缢缩明显,果实基本被花萼包围(海桑果实很少被花萼包围)^[3]。

分布^[3]:仅分布于海南岛东海海岸的文昌和琼海,野外个体数量不超过200株。海南东寨港有引种。



拟海桑-花



拟海桑-果



10 木榄

Bruguiera gymnorhiza

科属:红树科木榄属

英文名:Large-leaved Orange Mangrove

红树科常绿乔木或灌木,高达12m,膝状呼吸根发达;单叶对生,革质,长椭圆状,先端短尖,基部楔形;花单生叶腋,红色;具胎生现象,胚轴长15~25cm;花果期几乎全年,胚轴成熟期 5~9月^[31]。

分布^[31]:福建、广东、广西、海南、香港和台湾。福建云霄是其在大陆的天然分布北界,福建九龙江口有引种栽培。常见。



木榄-胚轴



木榄-花



11 海莲

Bruguiera sexangula

科属:红树科木榄属

别名:剪定树

英文名:Upriver Orange Mangrove, Sixangled Orange Mangrove

红树科常绿乔木或灌木,高达14m,具发达的膝状呼吸根和皮孔;单叶对生,长圆形或倒披针形,先端渐尖,基部宽楔形;花单生叶腋,花萼鲜红色,萼筒有纵棱,花瓣金黄色;胚轴长6~9cm;花果期全年^[31]。

分布^[31]:我国仅天然分布于海南岛东海岸。广东深圳和福建九龙江口有引种。少见。



海莲-胚轴



海莲-花



12 尖瓣海莲

Bruguiera sexangular var. *rhynchopetala*

科属:红树科木榄属

别名:剪定树

英文名:Hybrid Orange Mangrove

红树科常绿乔木,高15 m,有发达的膝状呼吸根;树皮具发达的皮孔;为木榄和海莲的杂交种,与木榄和海莲极为相似,但本种胚轴比木榄短而比海莲长,花萼具纵棱与海莲相似,花瓣裂片顶端尖,具1~2条刺毛(木榄花瓣顶端有2~3条刺毛,厢皮海莲花瓣顶端钝,无刺毛或仅有1短刺毛)^[31]。

分布^[31]:海南清澜港和东寨港较多,福建龙海和广东有引种。其他地方少见。



尖瓣海莲-花



尖瓣海莲-果



13 角果木

Ceriops tagal

科属:红树科角果木属

别名:剪子树、海枷子、海淀子

英文名:Common Cerinps

红树科常绿灌木或乔木,高2~5 m,有不甚发达的板根和膝状呼吸根;单叶对生,倒卵形至倒卵状矩圆形,全缘;聚伞花序腋生,花小,白色,顶端有2或3枚微小的棒状附属体;果实圆锥状卵形,胚轴长15~30cm,有纵棱与疣状突起;花期秋冬季,果期冬季³¹。

分布³¹:广东、广西、海南和台湾有天然分布,但台湾高雄和广西南部的角果木已经灭绝,广东湛江的角果木一度被认为已经灭绝,但2007年9月在徐闻发现了天然分布的角果木。常见。



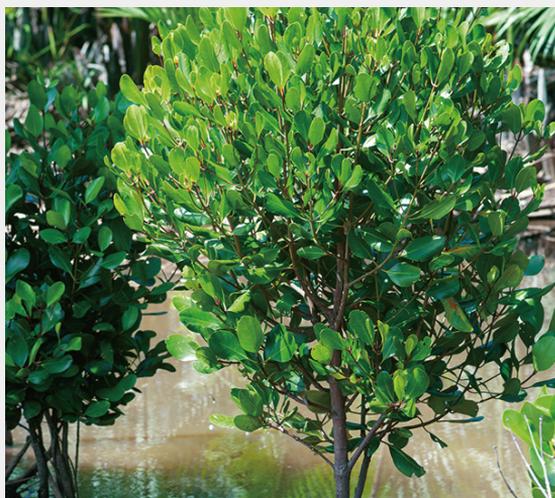
角果木-胚轴



角果木-花



角果木-果



14 秋茄

Kandelia obovata

科属:红树科秋茄树属

别名:水笔仔

红树科灌木或小乔木,高达10m,具板状根;单叶对生,椭圆形或近倒卵形,全缘;叶柄粗,具托叶,早落;二歧聚伞花序腋生,花白色;果卵圆形,胚轴圆柱形或棒形,表面光滑,成熟后红褐色;花期 7~8 月,果期 12 月至翌年 5 月^[31]。

分布^[31]:中国红树植物中分布最广的种类,福建、广东、广西、海南、香港、澳门和台湾都有分布,浙江南部有引种。常见。



秋茄-花



秋茄-胚轴



15 正红树

Rhizophora apiculata

科属:红树科红树属

别名:鸡笼答、五足驴

英文名:Sharp-Leafed Mangrove

红树科常绿小乔木或灌木,高达 10m,树皮黑褐色,支柱根发达;单叶对生,椭圆形至矩圆状椭圆形,叶背有黑褐色腺点;总花梗腋生,比叶柄短,有花2朵,花瓣膜质,无毛;果实倒梨形,略粗糙;胚轴圆柱形,略弯曲,绿紫色,有疣状突起,长20~40cm;花果期近全年^[31]。

分布^[31]:分布于海南文昌、琼海、万宁、陵水、三亚和儋州等地,已经被列入《中国物种红色名录》。少见。



正红树-花



正红树-胚轴



16 红海榄

Rhizophora stylosa

科属:红树科红树属

别名:五梨跤、鸡爪榄

英文名:Spider Mangrove

红树科常绿乔木或灌木,高3~10m,具发达的支柱根;单叶对生,椭圆形或长圆状椭圆形,顶端凸尖或钝短尖,基部宽楔形;花具长梗,排列成聚伞花序,花萼裂片淡黄色;果倒梨形,平滑;胚轴圆柱形,长30~40cm;花期几乎全年^[31]。

分布^[31]:广东、广西、海南和台湾有天然分布,福建有人工引种。常见。



红海榄-花



红海榄-胚轴



17 拉氏红树

Rhizophora × lamarckii

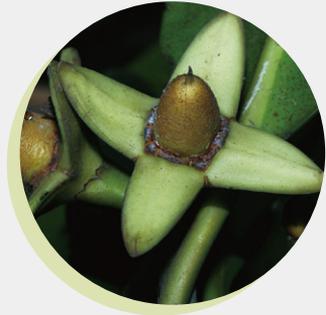
科属:红树科红树属

常绿乔木, 树形开展, 高7~10m, 除花瓣外全株无毛; 支柱根和气生根均生于较低的树枝上, 高1~3m; 树皮粗糙, 深灰色; 单叶对生, 革质椭圆形; 二歧聚伞花序腋生, 有花2~4朵; 花序梗质硬, 两侧压扁; 花蕾卵形, 具4条明显的棱, 截面近正方形; 花萼4裂, 肉质, 三角形; 花瓣4, 乳白色, 三角形, 先端钝; 雄蕊8~14, 偶见1~3枚不育雄蕊, 花丝极短, 花药长5~7mm; 子房半下位, 2室, 受粉后花柱子房膨大, 表面粗糙, 花柱1.1~2.1mm, 柱头2裂, 花柱连柱头长1.6~2.4mm; 花果期几乎全年, 未见伸出果实的胚轴^[6]。

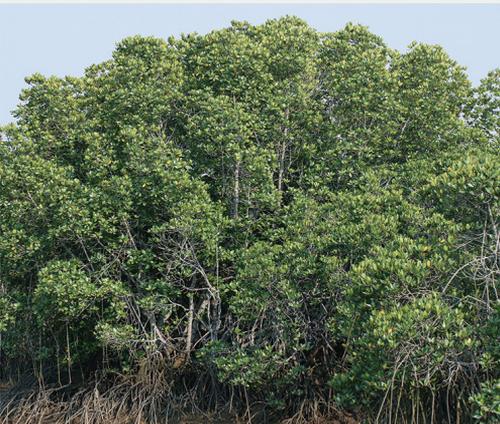
分布^[6]: 海南陵水(新村港)、三亚(青梅港)和儋州(新盈)。通常生于中高潮带淤泥质海岸, 与正红树和红海榄混生。



拉氏红树-花



拉氏红树-果



18 红榄李

Lumnitzera littorea

科属:使君子科榄李属

英文名:Red Flower Black Mangrove

使君子科常绿乔木,高达25m(国内最高个体8m),树皮灰黑色,有细长的膝状呼吸根;单叶互生,倒卵形或倒披针形,肉质;总状花序顶生,花红色;果纺锤形,熟后黑褐色,有纵条纹,花萼裂片宿存;花期3~4月,12月也有开花,果期1~7月^[31]。

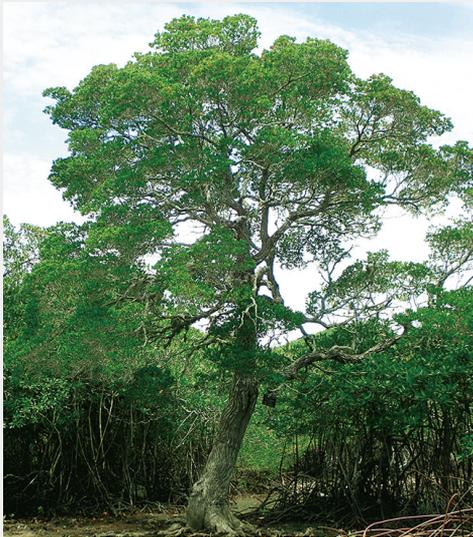
分布^[31]:仅分布于海南三亚和陵水,野外个体数量不超过60株。



红榄李-花



红榄李-果



19 榄李

Lumnitzera racemosa

科属:使君子科榄李属

别名:滩疱树

英文名:Black Mangrove

使君子科常绿灌木或小乔木,高达12m,树皮粗糙,有膝状呼吸根;单叶互生,常聚生枝顶,肉质,匙形或窄倒卵形;总状花序腋生,花白色;核果木质,长椭圆状卵形,稍侧扁,熟时黑褐色,具厚纤维质果皮有助果实飘浮水面,是典型的海漂植物;主花期6~7月,10~12月也见开花,果期12月至翌年3月^[31]。

分布^[31]:广东、广西、海南、香港和台湾,福建有引种。海南常见,其他省区少见。



榄李-花



榄李-果实



榄李-叶

20 桐花树 *Aegiceras corniculatum*

科属:紫金牛科蜡烛果属

别名:蜡烛果

英文名:Corniculate Aegiveras

紫金牛科常绿灌木或小乔木,高1~5m;单叶互生。常聚集于枝条顶端呈对生状,革质,倒卵形或椭圆形,全缘;花10余朵排成无总花梗的伞形花序于枝端,白色;果柱状弯曲,长6~8cm,直径约5mm。成熟时棕褐色,宿存花萼紧包果实基部,是典型的隐胎生红树植物;花期10~12月到翌年1~3月,果期12月到翌年2~4月^[31]。

分布^[31]:福建、广东、广西、香港和海南,福建泉州是其天然分布北界。是我国分布面积最大的红树植物、常见。



桐花树-花



桐花树-胚轴



21 白骨壤

Avicennia marina

科属: 马鞭草科海榄雌属

别名: 海茄苳(台湾)、海榄雌

英文名: Coastal Avicennia

马鞭草科常绿灌木或乔木, 高达18m, 小枝四方形, 树皮灰白色, 有发达的指状呼吸根; 单叶对生, 卵形至倒卵形或椭圆形, 革质, 灰白色, 顶端浑圆; 聚伞花序排列紧密成头状花序, 花小, 黄绿色; 蒴果扁球形, 淡黄色; 花期7~9月, 果期8~10月^[31]。

分布^[31]: 福建、广东、广西、海南、香港和台湾, 福建福清是其天然分布的北界。为我国分布面积仅次于桐花树的红树植物。常见。



白骨壤-花



白骨壤-果



白骨壤-叶



22 老鼠簕 *Acanthus ilicifolius*

科属:爵床科老鼠簕属

别名:软骨牡丹、蚧瓜簕

英文名:Holly Mangrove

爵床科直立灌木,高0.5~1.5m,茎丛生,圆柱形常支柱根;单叶对生,近革质,长圆形或长圆状披针形,顶端急尖,边缘有深波状带刺的齿或全缘,叶柄基部有时有一对托叶状短硬刺;穗状花序顶生,花冠淡紫兰色;蒴果长圆形;种子扁平,圆肾形,淡黄色;花期5~6月,果期6~9月^[31]。

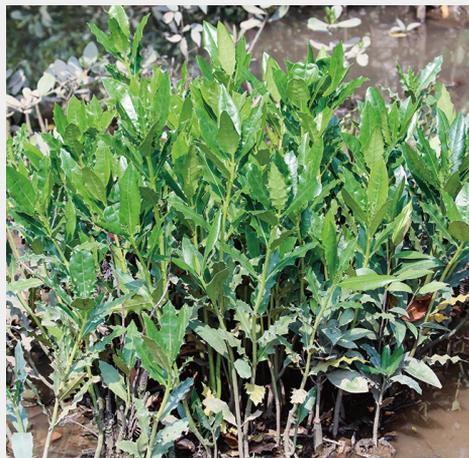
分布^[31]:福建、广东、广西、海南和香港。常见。



老鼠簕-花



老鼠簕-果



23 小花老鼠簕 *Acanthus ebracteatus*

科属:爵床科老鼠簕属

英文名:Sea Holly, Hally-Leaved Mangrove, Gelbe Mangrove

爵床科常绿亚灌木,高达1.5m,常具支柱根;单叶对生,长圆形或倒卵状长圆形,先端平截或稍圆凸,基部楔形,边缘3~4不规则羽状浅裂,自裂片顶端突出为尖锐硬刺,革质,托叶刺状;穗状花序顶生,花小,长不超过2.5cm,花冠蓝白色,无小苞片;蒴果椭圆形,有种子4颗^[31]。

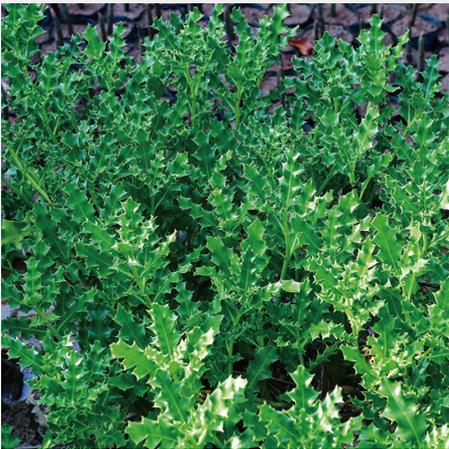
分布^[31]:海南和广东。2007年在广西的珍珠湾和北仑河口发现有少量小花老鼠簕分布。少见。



小花老鼠簕-花



小花老鼠簕-果



24 瓶花木 *Scyphiphora hydrophyllacea*

科属:茜草科瓶花木属

别名:厚皮

英文名:Common Scyphiphora,
Yamstick Mangrove

茜草科常绿灌木,高2~5m;单叶对生,革质,长圆形至卵形,全缘,托叶合生成短筒状,早落;聚伞花序腋生,花白色或淡黄色;核果长圆形,有纵棱,成熟后褐色,内果皮海绵质,果实借此随水流传播;花期7~11月,果期7~12月^[31]。

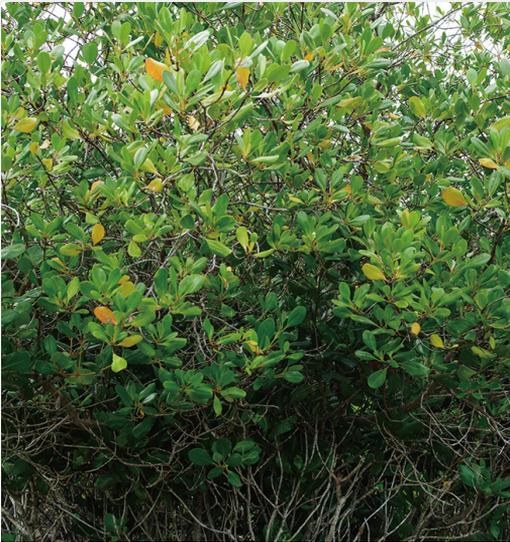
分布^[31]:仅分布于海南文昌和三亚等地。少见。



瓶花木-花



瓶花木-果



25 水椰 *Nypa fruticans*

科属: 棕榈科水椰属

别名: 亚答树

英文名: Nipa, Nypa Palm, Mangrove Palm

棕榈科常绿丛生灌木, 高3~7m, 无地上茎, 地下茎节密集, 粗壮, 多须根; 大型羽状叶簇生于地面, 裂片狭长披针形, 中脉在叶背凸起, 具金黄色纤维束状附属物10余枚; 肉穗花序自根际抽生; 果序球形, 成熟果实倒卵圆形, 褐色, 光亮, 富纤维质; 种子圆形, 胚乳白色, 均匀, 中空; 花果期几乎全年^[31]。

分布^[31]: 海南岛东海岸的三亚、陵水、万宁、文昌和琼山等地, 海南东寨港也有少量分布。少见。



水椰-花



水椰-果



半红树植物



01 莲叶桐

Hernandia nymphifolia

科属: 莲叶桐科莲叶桐属

别名: 腊树

英文名: Sea Hearsem

莲叶桐科常绿大乔木, 高18m, 树皮平滑; 单叶互生, 心形或盾形, 全缘, 叶柄盾状着生, 油亮光滑, 厚纸质; 伞房花序腋生, 每3朵聚生一处, 中间为雌花, 两侧为雄花; 球形核果包围在增大的黄白色肉质总苞内, 具纵肋, 苞顶凹, 内有气室, 果实可随水漂流; 种子一颗, 球形, 种皮厚而坚硬; 果期9月至翌年2月^[31]。

分布^[31]: 海南岛东海岸和台湾南部。少见。



莲叶桐-花



莲叶桐-果



02 水黄皮 *Pongamia pinnata*

科属:豆科水黄皮属

别名:九重吹、水流豆

英文名:Poonga-oil Tree, India Beech Tree

豆科半落叶乔木,高达15m;奇数羽状复叶互生,小叶2~3对,阔卵形,全缘;总状花序腋生,花冠蝶形,淡紫色或粉红色;荚果扁平,椭圆状,果皮木质化,浅褐色,不开裂,果实能借水漂流传播,是典型的海漂植物;种子扁;花期5~6月,果熟期10月^[31]。

分布^[31]:广东、广西、海南、香港和台湾。《福建植物志》记载厦门同安有分布,有待进一步证实。福建有引种。常见。



水黄皮-果



水黄皮-花



03 黄槿 *Hibiscus tiliaceus*

科属:锦葵科木槿属

别名:粿叶树、面头果

英文名:Beach Hibiscus, Seqa Hibiscus

锦葵科常绿乔木,高达15m;单叶互生,革质或纸质,近圆形、阔卵形或心形,全缘或具细圆齿,托叶近长椭圆形;花单生于叶腋或数朵排成腋生或顶生的总状花序,花黄色,心部紫黑色,基部有一对托叶状苞片,脱落前常变成红色;蒴果球形,密被黄柔毛;花果期几乎全年^[31]。

分布^[31]:福建、广东、广西、海南、香港和台湾。常见。



黄槿-花



黄槿-果



04 杨叶肖槿

Thespesia populnea

科属:锦葵科桐棉属

别名:伞杨、截萼黄槿、桐棉

英文名:Bhendi Tree, Rose Wood

锦葵科常绿乔木,高达10m,幼枝密被褐色鳞秕;单叶互生,薄革质,富光泽,心形,先端长尾状,全缘,叶柄长不超过5.5 cm;花单生叶腋,初为黄色,渐变为淡紫红色;蒴果球形,熟时黑褐色,不开裂;全年均能开花,春季尤盛^[31]。

分布^[31]:广东、广西、海南、香港和台湾。福建有引种。常见。



杨叶肖槿-花



杨叶肖槿-果



05 银叶树 *Heritiera littoralis*

科属: 梧桐科银叶属

别名: 翻白叶子树

英文名: Coastal Heritiera

梧桐科常绿大乔木, 高达25m, 板状根发达, 小枝、叶背及花序均密被银灰色鳞秕, 银叶树由此得名; 单叶互生, 椭圆形至长椭圆形, 全缘, 革质; 圆锥花序腋生, 花小, 红褐色; 坚果长椭圆形, 木质, 腹部具龙骨突起, 内有空气室; 外果皮具有充满空气的纤维组织, 使之能漂浮于海面, 种子可随海流传播; 花期4~5月, 果熟期8~11月^[31]。

分布^[31]: 广东、广西、海南、台湾和香港。少见。福建厦门有引种。



银叶树-花



银叶树-果



06 水茺花 *Pemphis acidula*

科属:千屈菜科水茺花属

别名:海梅(台湾)

英文名:Common Pemphis, Reef Pemphis

千屈菜科常绿灌木,高达4m,多分枝,小枝、叶、花有小柔毛;单叶对生,肉质,狭椭圆形,全缘;花单生叶腋,白色或淡红色;蒴果革质,倒卵形,几乎全被宿存花萼包被;种子多数,红色光亮,有角,四周具海绵状厚翅;花果期夏季^[31]。

分布^[31]:海南岛东海岸、西沙群岛和台湾南部有天然分布。少见。



水茺花-花



水茺花-果



07 玉蕊

Barringtonia racemosa

科属: 玉蕊科玉蕊属

别名: 水茄茎、穗花棋盘脚

英文名: Small-leafed Barringtonia, Powderpuff Tree

玉蕊科常绿小乔木, 高达10m, 小枝粗壮, 有明显叶痕; 单叶丛生枝端, 互生, 纸质, 倒卵形或长椭圆形, 边缘有锯齿; 总状花序顶生, 下垂, 长达70cm, 花瓣白色或粉红色, 花丝粉红色, 具香气; 核果卵圆形, 有4棱; 中果皮全被纤维所占满, 质轻, 果实能漂浮水面, 是典型的海漂植物; 花期 6~9月, 果期7~11月^[31]。

分布^[31]: 台湾和海南岛东海岸。广州和福建厦门有引种。2009 年在广东雷州半岛东海岸找到了少量天然分布的玉蕊。少见。



玉蕊-花



玉蕊-果



08 海杧果 *Cerbera manghas*

科属:夹竹桃科海杧果属

别名:海檬果

英文名:Sea Mango

夹竹桃科常绿小乔木,高达8m、全株具白色乳汁;单叶互生,倒披针形或倒卵形,厚纸质,全缘;聚伞花序顶生,花冠高脚碟状,白色,喉部淡红色;核果卵形,大如鸡蛋,成熟时紫红色;中果皮全是纤维质,充气,繁殖体可借此海漂传播;花期3~7月,果期7~12月^[31]。

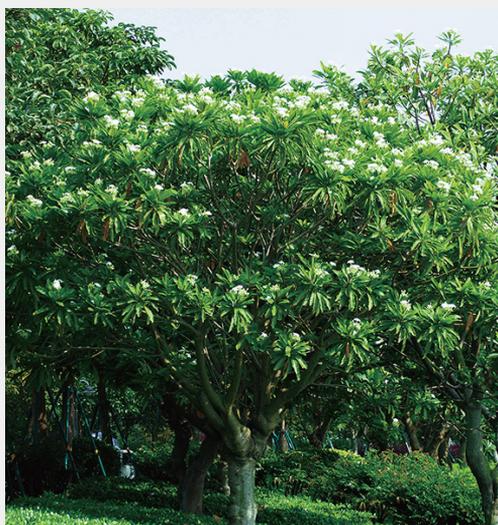
分布^[31]:广东、广西、海南、香港和台湾。福建厦门有引种。常见。



海杧果-花



海杧果-果



09 苦郎树 *Clerodendrum inerme*

科属: 马鞭草科大青属

别名: 许树、苦蓝盘、假茉莉

英文名: Seaside Clerodendrum,
Indian Privet

马鞭草科常绿蔓性灌木, 高1~2m; 单叶对生, 卵形、倒卵形或椭圆形, 革质, 全缘; 聚伞花序顶生或腋生, 有花3~7朵, 白色, 稍带红晕, 紫红色花丝细长; 核果倒卵形, 海绵质, 熟时蓝黑色, 基部有增大宿萼; 花果期3~12月^[31]。

分布^[31]: 福建、广东、广西、海南、香港和台湾。常见。



苦郎树-花



苦郎树-果



10 钝叶臭黄荆

Premna obtusifolia

科属: 马鞭草科豆腐柴属

别名: 台湾鱼臭木、臭娘子

英文名: Headache Tree

马鞭草科半落叶灌木或小乔木, 高达4 m; 单叶对生, 阔卵形, 先端圆或短突, 全缘, 革质, 叶背密生腺点, 捻揉叶片会有股特殊的气味, 臭黄荆由此得名; 聚伞花序顶生, 花小, 黄绿色; 核果球形, 成熟时会由绿转至紫黑色; 花期春夏季^[1]。

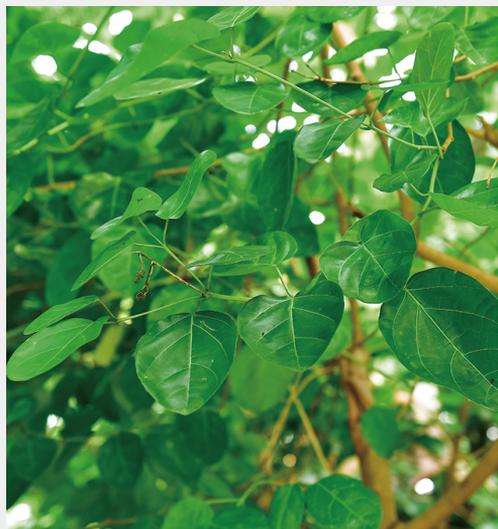
分布^[1]: 广东、广西、海南、香港和台湾。福建厦门有引种。不常见。



钝叶臭黄荆-花



钝叶臭黄荆-果



11 海滨猫尾木

Dolichandron spathacea

科属:紫葳科猫尾木属

英文名:Spathose Dolichandrone,
Mangrove Trumpel-Tree

紫葳科落叶乔木,高5~20m,树干皮孔明显;奇数一回羽状复叶对生,小叶2~4对,纸质,卵状长圆形至椭圆状披针形;总状花序顶生,花萼绿色,筒状,花冠绿白色,喇叭状;蒴果筒状稍扁,下垂,弯曲,形似猫尾,海滨猫尾木由此得名;种子多数,长方形,具木栓质翅,藉此随水流传播;花期4~6月,果期7~9月^[31]。

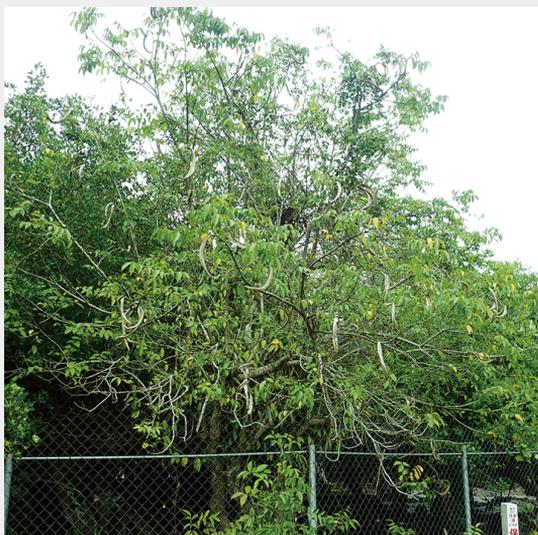
分布^[31]:海南岛东海岸。海滨猫尾木已经被海南省列为重点保护野生植物。少见。



海滨猫尾木-花



海滨猫尾木-果



12 阔苞菊

Pluchea indica

科属:菊科阔苞菊属

别名:冬青菊、鲫鱼胆

英文名:Indian Pluchea

菊科常绿亚灌木,高1~2m,多分枝;单叶互生,稍肉质,倒卵形或楔状倒卵形,全缘或有少数小尖齿,近于无柄或有短柄;头状花序顶生,多数,排成伞房状,花粉红色;瘦果扁平四角柱形,有淡黄色冠毛;花果期全年^[31]。

分布^[31]:福建、广东、广西、海南、香港和台湾。常见。



阔苞菊-花



阔苞菊-种子



附录参考文献

- [1]. *FAO. The World's Mangroves 1980-2005. FAO Forestry Paper No. 153. Rome, Forest Resources Division, FAO. 2007.*
- [2]. *Giri C, Ochieng E, Tieszen L, et al. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. Global Ecology and Biogeography, 2011, 20(1): 154-159.*
- [3]. *Hamilton S, Casey D. Creation of high spatiotemporal resolution global database of continuous mangrove forest cover for the 21st century: a big-data fusion approach. Glob. Ecol. Biogeogr, 2016, 25: 729-738.*
- [4]. 王文卿, 王瑁. 中国红树林. 科学出版社, 2007.
- [5]. 林鹏. 红树林. 海洋出版社, 1984.
- [6]. 罗柳青, 钟才荣, 侯学良, 等. 中国红树植物1个新记录种—拉氏红树. 厦门大学学报(自然科学版), 2017, 56(3): 346-350.
- [7]. 陈少波, 卢昌义. 应对气候变化的红树林北移生态学. 海洋出版社, 2012.
- [8]. *Parida A K, Jha B. Salt tolerance mechanisms in mangroves: a review. Trees, 2010, 24: 199-217.*
- [9]. *Po F D. The ecosystem of the mangal: general consideration. In: Por F D and Dor I eds. Hydrobiology of the Mangal. The Hague: Dr W Junk Publishers, 1984, 1-14.*
- [10]. 彭逸生, 周炎武, 陈桂珠. 红树林湿地恢复研究进展. 生态学报, 2008, 28(2): 786-797.
- [11]. 张乔民, 郑德璋. 红树林生长带与潮汐水位关系的研究. 生态学报, 1997, 17(3): 258-265.
- [12]. 林鹏. 中国红树林生态系. 科学出版社, 1997.
- [13]. 陈雅萍, 叶勇. 红树林凋落物生产及其归宿. 生态学杂志, 2013, 32 (1): 204-209.
- [14]. *Chen G C, Chen B, Yu D, et al. Soil greenhouse gas emissions reduce the contribution of mangrove plants to the atmospheric cooling effect. Environmental Research Letters, 2016, 11 (12): 124019.*

-
- [15]. Horstman E M, Dohmen-Janssen C M, Narra P M F, van den Berg N J F, Siemerink M, Hulscher S J M H. Wave attenuation in mangroves: A quantitative approach to field observations. *Coastal Engineering*, 2014, 94: 47–62.
- [16]. Mazda Y, Kobashi D, Okada S. Tidal-scale hydrodynamics within mangrove swamps. *Wetlands Ecology and Management*, 2005, 13(6): 647-655.
- [17]. Gautier D, Amador J, Newmark F. The use of mangrove wetland as a biofilter to treat shrimp pond effluents: preliminary results of an experiment on the Caribbean coast of Colombia. *Aquaculture Research*, 2001, 32: 787-799.
- [18]. Wu Y, Tam N F Y, Wong M H. Effects of salinity on treatment of municipal wastewater by constructed mangrove wetland microcosms. *Marine Pollution Bulletin*, 2008, 57: 727-734.
- [19]. Tam N F Y, Wong A H Y, Wong M H, Wong Y S. Mass balance of nitrogen in constructed mangrove wetlands receiving ammonium-rich wastewater: Effects of tidal regime and carbon supply. *Ecological Engineering*, 2009, 35: 453–462.
- [20]. López-Portillo J, Lewis R R, Saenger P, et al. Mangrove Forest Restoration and Rehabilitation. In: Rivera-Monroy V, Lee S, Kristensen E, Twilley R (eds) *Mangrove Ecosystems: A Global Biogeographic Perspective*. Springer, Cham, 2017.
- [21]. Alexander S, Nelson C R, Aronson J, et al. Opportunities and challenges for ecological restoration within REDD+. *Restoration Ecology*, 2011, 19: 683–689.
- [22]. McLeod E, Salm R V. *Managing Mangroves for Resilience to Climate Change*. IUCN, Gland, Switzerland, 2006.
- [23]. Ma Z, Melville D S, Liu J, et al. Rethinking China's new great wall. *Science*, 2014, 346: 912-914.
- [24]. 傅海峰, 陶伊佳, 王文卿. 海平面上升对中国红树林影响的几个问题. *生态学杂志*, 2014, 33(10): 2842-2848.
- [25]. 范航清, 刘文爱, 钟才荣, 等. 中国红树林蛀木团水虱危害分析研究. *广西科学*, 2014(2): 140-146.
- [26]. 薛志勇. 福建九龙江口红树林造林遇到的问题. *湿地科学与管理*, 2006, 2(3): 54-57.
- [27]. 徐蔚敏. 河道采砂对涉河工程影响探讨. *水利建设与管理*, 2009, 4: 55-57.

-
- [28]. 赵彩云, 李俊生, 赵相健. 中国沿海互花米草入侵与防控管理. 科学出版社, 2015.
- [29]. 王友绍. 红树林生态系统评价与修复技术. 科学出版社, 2013.
- [30]. 王文卿, 石建斌, 陈鹭真, 等. 中国红树林湿地保护与恢复战略研究. 中国环境出版社, 2021.
- [31]. 王文卿, 陈琼. 南方滨海耐盐植物资源. 厦门大学出版社, 2013.