

# 红树林保护与修复标准发展现状及对策

李瑞利<sup>1</sup> 杨芳<sup>2</sup> 王辉<sup>3</sup> 王文卿<sup>2,†</sup>

1. 北京大学深圳研究生院环境与能源学院, 深圳 518055; 2. 厦门大学环境与生态学院, 厦门 361102;  
3. 深圳中绿环境集团有限公司, 深圳 518100; † 通信作者, E-mail: mangroves@xmu.edu.cn

**摘要** 回顾近20年来中国对红树林的保护以及通过人工造林进行恢复的情况, 梳理我国红树林保护与修复的相关标准, 厘清现行标准存在的问题, 提出如下相应的建议与对策。1) 应结合国家碳中和战略及红树林保护与恢复规划目标, 制定完善的红树林保护与生态修复技术标准体系规划, 加快相关国家标准的出台; 2) 在编制红树林保护与修复相关标准的同时, 应注重红树林固碳能力和增汇效应的提高; 3) 建议制定退塘还林相关标准, 填补国内空白; 4) 应充分落实“自然恢复为主、人工修复为辅”的生态修复原则, 重视并加强红树林保护与修复标准的技术细节制定; 5) 标准的制定和实施应由红树林研究专业机构及专家深度参与, 提高造林成活率。

**关键词** 造林标准; 保护措施; 修复对策; 碳中和; 生态修复

## Current Development Status and Countermeasures of Mangrove Protection and Restoration Standards

LI Ruili<sup>1</sup>, YANG Fang<sup>2</sup>, WANG Hui<sup>3</sup>, WANG Wenqing<sup>2,†</sup>

1. School of Environment and Energy, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055; 2. College of the Environment & Ecology, Xiamen University, Xiamen 361102; 3. Shenzhen Zhonglv Environment Group Co., Ltd., Shenzhen 518100;  
† Corresponding author, E-mail: mangroves@xmu.edu.cn

**Abstract** In the past 20 years, mangroves have been strictly protected in China, and the area has been gradually restored through artificial afforestation. The authors reviewed the status of mangrove protection and restoration in China, summarized the problems of the present mangrove standards and proposed the existing problems, and put forward the countermeasures. The corresponding suggestions and countermeasures are as follows. 1) Develop a comprehensive technical standard plan for mangrove protection and ecological restoration in combination with the national carbon neutral strategy and mangrove protection and restoration planning goals, and speed up the introduction of national mangrove standards. 2) While compiling relevant standards for mangrove protection and restoration, attention should be paid to increase mangroves' carbon sequestration capacity and carbon sinks. 3) Formulate standards for returning ponds to forests to fill the gaps in China. 4) Fully implement the ecological restoration principle of 'natural restoration as the primary and artificial restoration as supplement', and attach importance to strengthen the formulation of technical details of mangrove protection and restoration standards. 5) Mangrove professional research institutions and experts should deeply participate in the formulation and implementation of standards to improve the survival rate of afforestation.

**Key words** afforestation standards; protection measures; repair countermeasures; carbon neutrality; ecological restoration

红树林是主要分布于30°N—30°S之间河口海岸潮间带的木本植物群落<sup>[1]</sup>。全球红树林面积仅为热带森林总面积的0.7%，却提供着重要的生态服务功能<sup>[2]</sup>，其生态服务价值高达193845美元/(hm<sup>2</sup>·a)，仅次于珊瑚礁<sup>[3-4]</sup>。同时，红树林还兼具社会和经济价值<sup>[5-6]</sup>。在过去几十年里，由于人类活动和全球气候变化等因素的影响，全世界范围内的红树林正面临着面积减少、生物多样性下降和生态功能退化等严重问题，是世界上受威胁最严重的生态系统之一<sup>[7-8]</sup>。

近年来，中国开展严格的红树林保护工作和恢复工程，扭转了20世纪前我国红树林面积大幅度减少的趋势，由1.1%的年平均净损失率转变为1.8%的年平均净增长率，成为全球少有的红树林面积净增长国家之一<sup>[9-11]</sup>。科学合理的红树林修复标准体系是实施正确的红树林生态修复的前提。2003年至今，我国共发布红树林保护及修复相关标准19项。这些标准的发行为我国前期的红树林保护与恢复工作奠定了基础，促进红树林面积由2000年前后的约2.2万hm<sup>2</sup>快速增至2017年的3.4万hm<sup>2</sup><sup>[12]</sup>。

随着我国红树林保护与修复工作的不断深入，现有标准不能满足新的需求，亟需构建新时期面向碳中和及生态修复实际需求的红树林保护与修复标准体系。因此，本文通过对现行的19项红树林保护与修复相关标准进行梳理，明确现状和问题，提出相应的对策，以期对红树林保护与修复相关标准的编制和完善提供科学依据。

## 1 国外红树林的保护与修复现状

红树林分布于全球118个国家和地区，2000年全球红树林的总面积为1377.60万hm<sup>2</sup>。按区域进行划分，红树林面积占比排序为亚洲(42%)>非洲(20%)>北美洲和中美洲(15%)>大洋洲(12%)>南美洲(11%)。其中，印度尼西亚、澳大利亚、巴西、墨西哥、尼日利亚和马来西亚六国的红树林面积占近50%<sup>[5,13]</sup>。截至20世纪末，全球红树林面积已损失35%<sup>[14-15]</sup>。2000年后，平均年净损失率降为0.2%<sup>[16]</sup>，但仍高于热带和亚热带森林的损失速率<sup>[17]</sup>。

在全球范围内，自然资源从私有到政府所有，存在不同的所有权和管理权<sup>[18]</sup>。由于红树林的重要性和受威胁性，国际上已经采取行动，对全球范围内的红树林进行保护与可持续开发利用。官方保护协议包括联合国森林论坛(UNFF)、华盛顿公约

(CITES)、生物多样性公约(CBD)、联合国气候变化框架公约(UNFCCC)以及拉姆萨尔湿地公约(The Ramsar Convention)等<sup>[19]</sup>。除国际层面的保护协议外，许多国家和地区也制定了红树林保护及管理相关的政策法规，并通过建立保护区、实施政府和社区共管以及生态补偿等方式，减少红树林的破坏行为<sup>[20-21]</sup>。其中，建立自然保护区是全球应用最普遍且成效显著的红树林保护方式<sup>[22]</sup>，但是目前仅有6.9%的红树林被纳入IUCN(International Union for Conservation of Nature)的保护范围<sup>[5]</sup>。尽管全球范围内已开展红树林保护及恢复工作(如建立保护区、开展人工造林和退塘还林等)，但由于物种和恢复地选择不当以及政府管理等问题存在，使得大规模造林的成林率较低，红树林得不到正确的恢复及有效的保护，全球红树林面积仍呈现缓慢减少趋势<sup>[23-26]</sup>。

亚洲红树林面积及生物多样性位居世界首位。虾塘养殖和过度开发是亚洲红树林面积减少的主要原因。早在1966年，多个亚洲国家和地区便开展了沿海红树林造林工程，同时，通过颁布政策法规以及加入《拉姆萨尔湿地公约》保护与恢复红树林，但由于缺乏持续的财政投入和人力支持，保护工作常遇到阻碍<sup>[5]</sup>。在非洲，红树林作为食物、木材和药物等来源地，受到不同程度的开发和破坏。大多数非洲国家缺乏红树林保护与修复的法律法规，红树林自然扩张极少，仅毛里求斯、几内亚、贝宁和厄立特里亚等少数国家开展红树林造林工作与红树林相关教育活动<sup>[13]</sup>。在北美和中美洲，部分国家开展红树林的保护与恢复工作，包括清退虾塘恢复红树林、大规模人工造林和加入《拉姆萨尔湿地公约》等。在立法方面，仅有少数国家具有专门针对红树林保护与恢复的法律，保护与恢复工作执行力有待提升，沿海开发是该区域未来红树林面临的主要威胁之一<sup>[27]</sup>。大洋洲23个国家和地区拥有红树林，生物多样性仅次于亚洲。建立保护区和公园是该区域红树林生态系统保护的有效方式，同时，立法限制红树林的减少，造林工程使得面积得以恢复<sup>[13]</sup>。南美国家通过政府立法、建立保护区和开展造林工程等，使红树林受到不同程度的保护与恢复，但非法砍伐和破坏仍存在。除圭亚那外，南美其他国家均加入《拉姆萨尔湿地公约》<sup>[13]</sup>。南美的红树林近一半分布在巴西，巴西2020年撤销红树林作为永久保护地的法规，红树林面临转变为养殖

虾塘及海岸带地产开发等毁林威胁<sup>[28]</sup>。

## 2 中国红树林保护与修复现状

### 2.1 国家层面

中国红树林分布于东南部海岸带,福建、广东、广西、海南和港澳台地区均有天然林分布,此外浙江也人工引种秋茄林。2000年是中国红树林面积变化的转折点。2000年以前,由于人类破坏和城市开发(围填海运动、基围养殖和港口码头建设等)<sup>[29]</sup>,中国红树林经历面积急剧减少阶段,降至2.2万hm<sup>2</sup>,而中国的红树林保护与恢复工作也在此期间逐步展开。2000年后,随着政府和民众对红树林保护意识的提高以及红树林保护、恢复工作持续有效的开展,我国红树林面积的年平均净增长率达1.8%<sup>[9]</sup>,成为全球红树林面积恢复最有成效的国家之一。

中国红树林保护与修复工作的开展以政府为主导。我国红树林的保护措施包括出台相关政策法规,建立严格控制的自然保护区,建设兼顾红树林保护和湿地资源开发利用的湿地公园以及开展红树

林自然教育等。我国出台的涉及红树林的法律法规包括《中华人民共和国海岛保护法》、《中华人民共和国海洋环境保护法》和《湿地保护管理规定》,为红树林保护提供了政策依据。同时,通过制定全国范围的红树林保护与修复规划,提出计划目标,有效地推进红树林保护与恢复工作的顺利开展。我国国家和地方涉及红树林保护与修复的政策法规如表1所示。

1975年,我国最早的自然保护区——米铺红树林湿地在香港建立。20世纪80年代后,我国陆续建立红树林相关保护区和湿地公园59处(表2),包括43个自然保护区和16个湿地公园,其中国家级自然保护区9个(5个被列入拉姆萨尔国际重要湿地名录)。至此,67%的红树林被纳入保护范围<sup>[9]</sup>。

近年来,在对现存红树林进行严格保护和合理生态开发的同时,我国还开展大量的红树林修复工程。2000—2017年间,我国开展红树林湿地修复工程360余项<sup>[30]</sup>。以国家和地方政策为指导,多由政府出资进行红树林营造与修复,并建立示范基地和示范区等,在红树林恢复上取得显著的成效。

表1 中国红树林保护与修复相关政策法规  
Table 1 Policies and regulations on mangrove protection and restoration in China

范围	名称	印发单位	发布日期
全国	中华人民共和国海岛保护法	全国人大常委会	2009-12-26
	中华人民共和国海洋环境保护法(2017年修正)	全国人大常委会	2017-11-4
	湿地保护管理规定(2017年修改)	国家林业局	2018-01-01
	全国湿地保护工程“十三五”实施规划	国家林业局、国家发展改革委、财政部	2017-03-28
	全国沿海防护林体系建设工程规划(2016—2025年)	国家林业局、国家发展改革委	2017-05-04
	全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035年)	国家发展改革委、自然资源部	2020-06-03
福建	红树林保护修复专项行动计划(2020—2025年)	自然资源部、国家林业和草原局	2020-08-28
	福建省湿地保护条例	福建省人民代表大会常务委员会	2016-09-30
	福建省海洋环境保护规划(2011—2020)	福建省海洋与渔业厅	2011-06-15
	福建省红树林保护修复专项行动实施方案 福建省重要生态系统保护和修复重大工程实施方案(2021—2035年)	福建省自然资源厅、福建省林业局 福建省发展和改革委员会、福建省自然资源厅	2020-12-22 2021-04-01
广东	广东省湿地保护条例(2020年修订)	广东省人民代表大会常务委员会	2020-11-27
	广东省林业生态红线划定工作方案 广东省红树林保护修复专项行动计划实施方案(征求意见稿)	广东省人民政府办公厅 广东省自然资源厅、广东省林业局	2014-08-08 2020-11-29
广西	广西壮族自治区红树林资源保护条例	广西壮族自治区人民代表大会常务委员会	2018-09-30
	广西红树林资源保护规划(2020—2030年)	广西壮族自治区林业局	2021-03-04
海南	海南省红树林保护规定	海南省人民代表大会常务委员会	2020-06-19
浙江	浙江湿地保护条例	浙江省人民代表大会常务委员会	2012-05-30

表2 中国主要红树林保护区与湿地公园情况<sup>[9-11]</sup>  
Table 2 Mangrove reserves and wetland parks in mainland China<sup>[9-11]</sup>

地区	自然保护区		湿地公园
	国家级	省市县级	
福建	3个(漳江口红树林、闽江河口湿地、厦门珍稀海洋物种)	5个(泉州湾河口湿地、九龙江口、福清兴化湾、宁德环三都澳、姚家屿)	1个, 国家级(湄洲岛)
广东	2个(湛江红树林、内伶仃岛-福田)	14个(淇澳-担杆岛、大鹏半岛、汕头湿地、电白、水东湾、惠东、程村豪光、茂港、恩平、新寮仑头、五里南山、南渡河口、岗列对岸三角洲、平冈)	9个, 其中国家级7个(海陵岛、九龙山、翠亨湾、深圳华侨城、镇海湾、寿长河、大亚湾), 省级1个(金斗湾)、市县级1个(广州南沙)
广西	2个(北仑河口红树林、山口红树林)	1个(茅尾海红树林)	1个, 国家级(北海滨海)
海南	1个(东寨港红树林)	9个(清澜、东方黑脸琵鹭、亚龙湾青梅港、三亚河、铁炉港、花场湾沿岸、彩桥、新英湾红树林、东场港)	3个, 其中国家级2个(新盈、陵水), 省级1个(三江)
浙江	1个(乐清西门岛)	-	2个, 其中国家级1个(玉环漩门湾), 省级1个(苍南龙港)
香港		1个(米埔)	
澳门		1个(路氹城)	
台湾		3个(淡水河口、关渡、北门沿海)	

## 2.2 省级层面

### 2.2.1 福建省

福建是中国大陆地区天然红树林面积最小的省份, 红树林总面积为1429 hm<sup>2</sup>, 宁德市福鼎县是我国红树林自然分布的北界<sup>[31]</sup>。福建全省红树林树种资源较少, 15种红树植物中, 有6种为外省引种, 天然林仅占40%<sup>[32]</sup>。由于围填海、围塘养殖、城市化建设和人为污染等原因, 福建红树林在1999年仅剩260 hm<sup>2</sup><sup>[33]</sup>。随着政府对红树林保护的重视, 通过一系列有效措施, 目前红树林面积恢复至20世纪50年代的近两倍, 省内64.4%的红树林已纳入保护范围<sup>[34-35]</sup>。

福建省发布的红树林有关政策法规(表1)发挥了对红树林保护与修复的政策指引作用, 促进省内红树林保护修复工作的顺利开展。福建省政府部门积极探索兼顾植被修复、入侵植物控制、退塘还林和鸟类生境恢复的海陆一体化生态修复模式<sup>[36]</sup>, 注重生物多样性和生态系统功能的恢复, 在恢复植被的同时, 有效地改善各类生境与区域景观。这种海陆统筹的红树林生态修复模式在全国红树林的保护与修复方面起到积极的示范作用。

### 2.2.2 广东省

红树林广泛分布于广东省56个市县的海岸交界区<sup>[31]</sup>, 总面积为14256 hm<sup>2</sup><sup>[7]</sup>, 其中, 湛江红树林面积最大, 占全省的80%<sup>[33]</sup>。作为经济发展强省, 广东省红树林生存面临严重的威胁, 围填海、围塘

养殖、工程建设和环境污染等致使全省红树林在20世纪90年代下降至3813 hm<sup>2</sup><sup>[1,37]</sup>, 其后, 通过严格的保护以及开展大量的红树林修复工程, 红树林面积迅速增加, 2000年后, 红树林恢复面积和年恢复速度位列全国首位。目前, 广东建设红树林相关保护区以及湿地公园合计26处, 远高于其他省区, 其中包含两处国家级保护区且特点显著, 分别是位于湛江的全国面积最大的红树林保护区(7230 hm<sup>2</sup>)和位于深圳的面积最小、唯一位于城市腹地的国家级保护区(367.64 hm<sup>2</sup>)<sup>[35]</sup>。

广东省政府部门对红树林的保护提供了极大的政策支持(表1), 出台的政策法规明确了红树林资源的管理权属、保护与修复规划、开发与利用方式、控制目标和工作组织等, 对省内实施红树林保护与修复工作起到政策指引作用<sup>[38]</sup>。作为广东省内红树林修复的主战场, 湛江市通过有效的“政策法规+保护地建设+鱼塘清退+生态补偿+生态开发+国际合作+共管计划”全面保护与恢复模式, 使得红树林面积迅速恢复<sup>[14]</sup>。作为特色社会主义先行示范区, 深圳市在红树林管理及多方参与方面进行大胆的探索与尝试, 针对不同区域红树林的特点以及社会功能, 构建“政府严管+委托社会公益组织/央企管理”的新型管理与运营模式, 创新了红树林的生态保护、开发与管理的模式, 充分发挥红树林的生态和社会价值<sup>[10]</sup>。

### 2.2.3 广西壮族自治区

自然资源部和国家林草局2019年联合组织的调查结果显示,广西红树林总面积为9330.34 hm<sup>2</sup>,受保护面积占44.11%<sup>[39]</sup>,广西沿海三市海岸线均分布有红树林,分布岸线广且不连续。广西拥有两个国家级红树林自然保护区和一个国家级湿地公园。作为纲领性文件,2018年9月30日公布的《广西壮族自治区红树林资源保护条例》明确了红树林的保护、规划与管理细则。2021年3月4日正式印发的《广西红树林资源保护规划(2020—2030年)》,对广西红树林未来10年的保护工作开展提供了政策支持和依据。

虽然广西的立法时间稍晚于其他省,但造林工作早在20世纪80年代就已开展,2000年后开展大规模造林,防城港市、钦州市和北海市均开展造林工程,人工造林面积近4千公顷,成林面积占造林面积的近1/3<sup>[40]</sup>。在红树林的保护与恢复方面,广西积极发挥红树林的生态功能,率先提出红树林生态海堤理念,探索“海堤+红树林”的建设模式并进行实践<sup>[41-43]</sup>,充分发掘红树林的生态价值和经济价值,打造生态农场示范基地,实现可持续利用<sup>[44]</sup>。

### 2.2.4 海南省

海南红树林面积为4900 hm<sup>2</sup>,榆林港是中国红树林自然分布的南界。由于优越的地理位置及气候条件,海南原生真红树种类高达24种,剪叶木豆,生物多样性高,是国内种类最丰富的省区<sup>[31,45]</sup>。

海南省对红树林的保护工作开展较早,《海南省红树林保护规定》是我国颁布的最早且唯一的红树林省级保护规定,同时,海南最早将大部分红树植物列入省级重点保护植物名录。海南1980年便开始在东寨港建立我国大陆最早的红树林国家级保护区,并于1992年首批纳入拉姆萨尔国际重要湿地名录。截至目前,海南省共建立红树林自然保护区10处和湿地公园3处,90%以上的天然红树林受到保护<sup>[31]</sup>。

### 2.2.5 浙江省

浙江红树林均为人工引种秋茄林,总面积为163.4 hm<sup>2</sup>,玉环市为我国红树林人工引种的北界<sup>[31,46]</sup>。浙江红树林引种造林早在1957年便开始,但由于天气影响和人为破坏,红树林造林保存率低。浙江拥有一处红树林国家自然保护区和一个国家级湿地公园。

浙江省暂未出台针对红树林的特定政策法规,

2012年出台的《浙江湿地保护条例》是省内红树林保护与管理的法律依据。浙江在红树林造林期间,勇于探索红树林生态补偿模式,并成功实践<sup>[47]</sup>。

### 2.2.6 港澳台地区

香港早在1950年便开展红树林保护工作,1975年建立米埔红树林鸟类自然保护区,面积为380 hm<sup>2</sup>,1995年被列入拉姆萨尔国际重要湿地名录。香港创新性地尝试“行政区政府所有+渔农自然护理署管理+基金会管理”多方参与管理模式,并取得成功,兼顾湿地保护、科普教育、生态开发和生态旅游的可持续发展方式,成为多个国家和地区学习的典范<sup>[10]</sup>。

澳门和台湾也建立了红树林相关的自然保护区,包括澳门路氹城生态保护区、台湾淡水河口红树林自然保护区、关渡自然保留区和北门沿海保护区,在保护红树林的同时,兼顾科普教育与生态旅游<sup>[10,21,48]</sup>。

## 3 我国红树林保护与修复标准及存在的问题

### 3.1 我国红树林保护与修复标准现状

2000年后,由于红树林保护与修复工作开展的需要,国内陆续发行红树林造林、监测和病虫害防治等相关技术标准19项(表3),包括红树林造林标准9项(行业标准3项、地方标准5项和团体标准1项)、育苗地方标准2项、植物控制行业标准1项、病虫害防治行业标准1项、监测标准2项(行业和地方标准各1项)和评估标准4项(行业标准1项、地方标准2项和团体标准1项)<sup>[49-67]</sup>,暂未发布国家标准。这些标准的出台为我国前期的红树林造林、保护与修复奠定了基础。

国内已公开发布的9项红树林造林标准中,有3项为行业标准,内容涉及植被恢复和造林技术,起草单位包括政府管理机构、科研院所和高等院校等。由于出台时间、起草单位和目的等多种原因,3项行业标准在红树林造林的技术要求和细节上均存在一定的差异,特别是影响造林和生态恢复成败的技术要求和细则(包括设计和施工者资质要求、本底调查、树种选择、种植方式、监测内容及要求、验收时间等)不全,且存在部分问题,有待进一步提升。与行业标准相比,部分地方标准发布较早,但内容较简单,实用性不强,技术细节阐述不够详细,未提出具体的要求和细则,对于实际造林

表 3 中国红树林相关标准<sup>[49-67]</sup>  
Table 3 Mangrove standards in China<sup>[49-67]</sup>

方向	名称	类别	编号	起草单位
造林	红树林建设技术规程	行业	LY/T1938—2011	国家林业局长江流域防护林体系建设管理办公室、广西壮族自治区林业厅、广西壮族自治区林业勘测设计院
	红树林植被恢复技术指南	行业	HY/T214—2017	国家海洋局第三海洋研究所、厦门大学
	困难立地红树林造林技术规程	行业	LY/T2972—2018	中国林业科学研究院热带林业研究所、茂名市电白区红树林保护区管理总站、广东湛江红树林国家级自然保护区管理局
	红树林无瓣海桑栽培技术规程	地方	DNB440500/T41—2003	汕头市林业科学研究所、汕头市林业局营林科、澄海区林业局
	红树林海桑栽培技术规程	地方	DNB440500/T85—2004	汕头市林业科学研究所
	红树林造林技术规程	地方	DB44/T284—2005	中国林业科学研究院热带林业研究所
	红树林造林技术规程	地方	DB33/T920—2014	浙江省亚热带作物研究所
	秋茄造林技术规程	地方	DB35/T1619—2016	泉州市林业技术推广中心、泉州湾河口湿地自然保护区管理处、福建省林业科学研究院等
育苗	海岸带生态减灾修复技术导则 第 2 部分: 红树林	团体	T/CAOE 21.2—2020	自然资源部海洋减灾中心、自然资源部第三海洋研究所、四川大学
	红树林海桑苗木培育技术规程	地方	DNB440500/T84—2004	汕头市林业科学研究所
植物控制	无瓣海桑育苗技术规程	地方	DB45/T1712—2018	广西壮族自治区钦州市林业科学研究所
	红树林控制米草属植物技术规程	行业	LY/T2130—2013	中国林业科学研究院热带林业研究所
病虫害防治	红树林主要食叶害虫防治技术规程	行业	LY/T2853—2017	广西壮族自治区林业科学研究院
	红树林生态监测技术规程	行业	HY/T081—2005	国家海洋环境监测中心
监测	广西红树林生态健康监测技术规程	地方	DB45/T832—2012	广西红树林研究中心
	红树林湿地健康评价技术规程	行业	LY/T2794—2017	中国林业科学研究院林业新技术研究所、海南清澜港红树林自然保护区管理站
评估	红树林生态健康评价指南	地方	DB45/T1017—2014	广西红树林研究中心
	红树林湿地生态系统固碳能力评估技术规程	地方	DB45/T1230—2015	广西红树林研究中心
	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	团体	T/CAOE 20.3—2020	自然资源部第三海洋研究所

工作的指导作用有限。在团体标准 T/CAOE 21.2—2020 中,修复技术主要参照已发布的造林行业标准,在技术要求和细则上同样需要完善。

对现行造林标准外的其他 10 项红树林保护与修复相关标准进行梳理。其中,植物控制行业标准 1 项,在本底调查、植物种植和控制指标等方面技术细节需完善和提升;病虫害防治标准只有 1 项行业标准,涉及虫害种类仅有 3 种,对红树林主要虫

害防治种类及技术细节需进一步加强;红树林监测包括行业标准 1 项和地方标准 1 项,对监测的内容和方法进行了规范,但在监测点选择和监测指标方面仍需进一步完善;红树林评价标准涉及生态系统评价和固碳能力评价,包括行业标准 1 项、地方标准 2 项和团体标准 1 项,对综合评价指标体系的建立、评价方法和固碳能力计算方法分别进行了规范,但在评价指标的选取和数据获得方法上不够全

面及具体。

### 3.2 我国红树林保护与修复标准存在的问题

#### 3.2.1 红树林保护与修复标准体系尚不完善

顶层设计是建立完善的标准体系不可或缺的一环<sup>[68]</sup>。现行的19项红树林保护与修复相关标准涉及内容包括育苗、造林、植物控制、病虫害防治以及监测与评估,其中已经包含红树林保护与修复的关键技术环节。但是,由于缺乏顶层设计,现行标准间的内容关联性不强,衔接较差,各标准间相互独立,无法成为指导红树林保护与修复全链条的标准体系。造林标准数量最多,由于编制单位不同,内容存在一定的差异,容易造成混乱。部分地方标准会增加外来种入侵风险,需进行修订。红树林生态修复效果的监测与评估是评价修复成果的关键指标,但现有的标准中均未进行详细的规定,缺乏相关的规范。

同时,针对红树林保护与修复,已发行相关行业标准、地方标准和团体标准,但具有代表性和普适性的国家标准尚缺,标准的科学性和指导性得不到保障。

#### 3.2.2 面向碳中和国家战略的红树林修复标准仍属空白

中国是首个在国际社会提出国家层面碳中和目标的发展中国家,2060年碳中和承诺的达成不仅需要开展有效的碳减排和碳达峰工作,更需要积极拓展增汇方式与手段<sup>[69-70]</sup>。

固碳储碳是红树林的众多生态功能之一,红树林可通过光合作用将大气中的CO<sub>2</sub>封存为有机碳,储存于植被和土壤中,具有巨大的固碳增汇效应<sup>[71]</sup>。全球红树林生态系统碳储量为6.2 Pg,且该数值被认为是低估的,实际储量更高<sup>[72]</sup>。中国红树林的碳储存速率为355.25±82.19 Mg/a,碳储量高达6.91±0.57 Tg,其中81.74%的储量位于1 m深度内的表层土壤中,18.12%储存于红树植物中,其余分布在表层土壤内的繁殖体和凋落物中<sup>[73]</sup>。作为蓝碳生态系统的重要部分,红树林的保护与恢复是应对气候变化的有效方法<sup>[74]</sup>。中国高度重视红树林的保护与恢复,2020年8月出台的《红树林保护修复专项行动计划(2020—2025年)》要求,到2025年,营造和修复红树林面积18800 hm<sup>2</sup>。红树林的大面积恢复将显著提高其碳汇能力,助力我国碳中和战略目标的达成。

红树林固碳增汇效应受到多种因素影响,包括

树种选择、苗木质量、种植方式和环境因子等<sup>[73,75]</sup>。在红树林生态修复中,综合考虑其固碳能力和增汇效应,可达成生态修复与固碳增汇双重目标。但是,现有的红树林相关标准中,仅有1项地方标准涉及红树林的碳汇能力评估,且主要内容为固碳能力的计算方法,并未涉及红树林生态修复中提高其固碳增汇能力的具体措施和技术细节。因此,面向碳中和国家战略的红树林生态修复标准亟待填补空白。

#### 3.2.3 针对未来红树林修复需求的标准尚未制定

废弃养殖塘是红树林恢复的理想场所<sup>[30,76]</sup>,在水文条件、区位地势和恢复潜力等方面具有显著优势。但是,受限于社会经济、政策和法律问题,大多选择在滩涂造林。随着滩涂人工造林工程的大量开展,较高的资金投入与其产生的生态效益及风险不匹配等问题日益突出<sup>[37,77-78]</sup>。中国大陆红树林废弃养殖塘面积为72737 hm<sup>2</sup>,远高于全国红树林面积<sup>[79]</sup>。随着宜林滩涂面积的减少,从区位环境和可恢复面积的角度看,废弃养殖塘具有巨大的红树林修复潜力,退塘还林是未来中国红树林修复的主要方式<sup>[78,80]</sup>。但是,我国在红树林退塘还林的基础理论研究和技术研发等方面较为薄弱,针对退塘还林潜力评估、恢复方式、造林关键技术、管理与监测等的相关研究较少,缺乏完善的技术体系和规范标准<sup>[81-83]</sup>。

海南和福建已开展的一些退塘还林工程都处于经验摸索阶段<sup>[36,82]</sup>,从基础理论、技术、标准到案例,我国仍需要对退塘还林开展更深入的探索与研究<sup>[78]</sup>。已有红树林造林标准均属滩涂造林,未包含退塘还林,迄今还没有发行退塘还林的技术规程或标准。

#### 3.2.4 红树林精准监测与评估新技术的应用未得以体现

对红树林植被、动物及环境因子的精准监测和评估是生态修复的前提,也是评估其恢复效果的关键依据,是保护与修复计划中不可或缺的内容<sup>[84-85]</sup>。近年来,随着无人机低空遥感技术的应用、计算机视觉技术和深度学习理论的发展,使得红树林的精准监测与评估成为可能,解决了传统地面调查和卫星遥感的时效性与精度性问题<sup>[86-87]</sup>。

红树林精准监测与评估新技术的应用范围较为广泛,应用前景好,对红树林的生态修复起到积极的促进作用。但是,在现行标准中,造林标准仅有1项涉及监测内容,且未提出具体要求与实施细则,

已发布的监测标准和评估标准同样也未体现红树林精准修复与评估新技术的应用。

### 3.2.5 红树林造林标准的技术细节亟待提升

#### 1) 忽视本底调查, 造林成活率低。

有学者对全球 106 个国家和地区红树林恢复情况进行调查, 结果显示成功恢复率仅为 51.3%<sup>[88]</sup>。中国红树林成功恢复的比例为 57%<sup>[21]</sup>。造林成活率低是由于前期未对待恢复区的本底情况进行全面调查, 导致区域的环境因子超过造林植物的耐受能力<sup>[77,89]</sup>, 同时, 物种选择不当和土地权属问题等也是成活率低的主要原因<sup>[40,77]</sup>。不同红树植物对潮间带的环境因子具有不同的适应能力和耐受能力, 包括盐度、pH 值、土壤类型、土壤含氧量、营养水平、波浪能、温度、光照和淹没条件等, 因此, 不同物种应种植于适宜其生长的潮间带位置<sup>[90-91]</sup>。红树林在不适宜的区域种植, 除成活率低外, 还会导致红树林的退化<sup>[92-93]</sup>。环境因子调查是恢复红树林的关键步骤, 而现行的红树林造林标准中仅有两项要求对环境因子进行调查, 其中一项未制定针对红树林环境因子调查的细则和方式。

2) 缺乏科学的树种选择及配置方法, 生态系统功能恢复受阻。

由于外来树种的速生性及强适应性, 人们常选择外来树种进行红树林造林。2001—2019 年间, 外来树种新增造林面积达到中国红树林新增造林面积的 62%<sup>[9]</sup>。1985 年开始引入中国的无瓣海桑在深圳、湛江和东寨港等红树林分布区发生生物入侵现象, 威胁自然红树林生态系统, 不建议引入天然红树林保护区, 同时作为先锋树种也应谨慎使用<sup>[94]</sup>。现有的红树林造林标准在物种选择方面对乡土树种强调不够, 外来种无瓣海桑和拉关木却多次出现在各项标准的苗木选择中, 而这两种红树植物已被列为全球 57 种入侵红树林的植物名单<sup>[95]</sup>。虽然外来树种有其自身优势, 但已有研究表明, 与乡土树种相比, 外来种对极端天气的适应较差, 极易受到影响, 导致造林成活率下降<sup>[96]</sup>。

现有的造林标准未对造林过程中红树植物的配置提出规范和要求, 出于操作简单、降低成本、便于管理与维护等方面的考虑, 国内红树林恢复工程多采用单一树种造林, 导致新造林的生物多样性较低, 影响天然红树林的扩张, 增加生物入侵风险, 降低新造红树林系统的生态功能<sup>[9,21,97]</sup>。红树林保护与修复的目标不仅是提高植被覆盖率, 更应注重

生态系统的保护与修复<sup>[98]</sup>。大规模单一物种造林导致我国红树林以先锋树种为优势的纯林局面正在快速形成, 存在潜在的生态系统退化和生态服务功能降低的风险<sup>[94]</sup>, 单一物种造林已成为全球红树林未来面临的问题之一<sup>[77]</sup>。

#### 3) 未细化种植方式, 造林经济成本高。

红树植物具有独特的胎生繁殖方式, 以便应对海岸带恶劣的生长环境, 胚轴自身携带营养和能量, 并可随波漂浮, 因此, 红树林有较强的自然恢复能力<sup>[23,31]</sup>。2000—2012 年间, 东南亚 15% 的已破坏红树林通过自然方式得以恢复<sup>[99]</sup>。与人工造林相比, 自然修复具有投入低、群落结构好等优势, 是生态修复的方式之一<sup>[40]</sup>。但是, 自然恢复耗时长, 见效慢, 且成效得不到正面的评估。

出于经济性和操作性方面的考虑, 在滩涂高程适宜的情况下, 直接插胚轴造林是最好的方式。有研究表明, 直接种植胚轴平均存活率为 20.2%, 种植袋苗平均存活率为 27.6%, 不存在显著差异( $p = 0.32$ )<sup>[90]</sup>。但是, 为了尽快达到项目验收要求, 减少养护成本等, 现在红树林造林较少使用胚轴, 更偏重使用人工培育的袋苗。由于胚轴数量较多, 不产生人工培育成本, 运输成本低, 因此价格一般较低, 而袋苗价格至少是胚轴价格的 10 倍以上, 且因不同树种、树龄和品相等原因价格差别较大, 使用袋苗将大大抬高工程造价, 导致造林经济成本高。现有的 9 项红树林造林标准中, 苗木选择均包括有袋苗, 但胚轴仅有 6 项标准中提及, 且未强调胚轴插植的优先性。

#### 4) 人工造林目标单一, 未体现生态修复。

生物多样性维持、固碳储碳、促淤造陆及防浪护堤等是红树林湿地的关键生态功能。提高红树林植被覆盖率是红树林生态修复的重要内容, 但不是唯一内容<sup>[98]</sup>。即使从短期来看, 红树林种植成功也不等同于生态系统恢复成功<sup>[100]</sup>, 单一目标的植被恢复, 难以确保在生态系统层面实现生态功能的修复与再现, 限制了生态修复的实际效果<sup>[94,101]</sup>。现有的 9 项造林标准全部以植被修复为主要或唯一目标, 均未体现生态系统修复。

#### 5) 验收时间短, 恢复效果难以保证。

完全恢复沿海海洋和河口生态系统的生物组成和多样性至少需要 15~25 年, 而恢复其生态系统功能则需要更长的时间<sup>[102-103]</sup>。为维持修复后生态系统的稳定性, 需进行全生命周期的生态修复<sup>[79]</sup>。在

水文地理条件不变及种子传播途径不受限的情况下,红树林实现自我修复需要15~30年,需要长时间持续不断的资金和人力投入,更需要有坚定不移的政治意愿<sup>[22-23,104]</sup>。现有标准对验收时间的规定大多为3年,最长不超过4年,验收时间较短,恢复实际效果难以保障。

## 4 建议与对策

中国红树林修复的整体性技术原则为结合国家碳中和战略目标,对红树林修复工作全面的区域规划,整体恢复红树林的生态系统功能,从关键生态组分、生态过程以及环境因子的角度,构建多目标修复模式,采取以自然恢复为主、人工修复为辅的策略,确保生态系统的完整性,同时,创造条件恢复经济动物种群,提高周边居民收入。我们依据上述原则,在红树林保护与修复标准的制定和体系的完善方面提出以下对策。

1) 完善顶层规划设计。围绕国家碳中和战略及红树林保护与恢复规划目标,加强标准体系的顶层设计,制定完善的红树林保护与生态修复技术标准体系规划,从宏观方面综合考量各项红树林相关标准间的关联性,形成从监测、保护、修复到评估的全方位标准体系,解决标准多但内容相关性低、指导性差和应用受限等问题。新标准的出台与已有标准的修订工作应同时进行,对无法满足生态文明建设和生态修复需求的标准进行及时地修订或删减,不断完善标准中的技术细节,对标准进行更新。同时,在现有红树林保护与修复标准及技术的基础上,加快出台红树林相关国家标准,对中国未来红树林的保护与修复工作的开展起到规范作用。

2) 注重固碳增汇效应。在编制红树林保护与修复相关标准的同时,应注重红树林固碳能力和增汇效应的提高,将提高红树林碳储量作为生态修复的目标之一。结合红树林固碳增汇效应的相关研究成果,包括碳汇监测、机理研究和固碳效果影响因素等,对红树林生态修复与固碳增汇的相互关系进行深入的探讨,编制面向碳中和国家战略的红树林生态修复相关标准,推动红树林碳汇计算方法学和相关标准的出台,助力红树林碳汇进入全国及地方碳市场交易,并实现减排量的抵消。碳汇交易所得资金可反哺于红树林的保护与恢复,实现生态修复与固碳增汇双重目标的达成。

3) 填补退塘还林标准空白。针对未来红树林

修复的需要,结合国内外相关研究成果,加强退塘还林的技术研发和应用示范,从本底调查、自然恢复能力评估、修复方式确定、修复效果监测与评价等方面形成完善的技术体系。同时,在综合考虑社会经济、政策和法律问题的基础上,提出红树林退塘还林的可行性方案,并制定相应的技术规范和标准,填补国内退塘还林标准的空白,助力大规模红树林生态修复的目标实现。

4) 加强技术细节制定。红树林的保护与修复工作需要持续的资金投入与支持,应积极拓宽资金渠道和来源,引入社会资本保护和修复红树林,同时积极开展非保护地人工红树林的合理利用。在修复目标、保护与修复模式、时间安排和效果评估等方面,充分落实中央政府“自然恢复为主、人工修复为辅”的生态修复原则;重视并加强红树林保护与修复标准中技术细节的制定,在保证造林成活率的同时,充分考虑经济成本;完善环境因子调查、树种选择、配置方法及种植方式等技术细则;鼓励新技术在红树林保护与修复中的广泛应用,在相关标准中加强对新技术应用的规范。因此,建议进一步修订和完善已发布的红树林保护与修复相关标准中的技术细节,在此基础上,加强新编制标准在技术细节制定方面的专业性与全面性,使之更加科学,具有更强的指导性和应用性。

5) 确保科学性与实用性。受周期性潮水浸淹的红树林生态系统保护与修复不同于陆地森林修复及园林绿化,相关工作的开展具有较强的专业性。因此,建议在红树林保护与修复标准体系的顶层设计和标准编制过程中,积极征求红树林专业研究机构及专家的建议和意见。同时,造林标准中应对规划设计和施工单位严格要求,并在项目审批过程中组织专家评审,以此保障造林项目的成功实施。

## 参考文献

- [1] 林鹏,傅勤. 中国红树林环境生态及经济利用. 北京: 高等教育出版社, 1995
- [2] Costanza R, Groot R, Sutton P, et al. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 2014, 26: 152-158
- [3] Elwin A, Bukoski J J, Jintana V, et al. Preservation and recovery of mangrove ecosystem carbon stocks in abandoned shrimp ponds. *Scientific Reports*, 2019, 9: 18275

- [4] Ouyang X, Lee S Y, Connolly R M, et al. Spatially-explicit valuation of coastal wetlands for cyclone mitigation in Australia and China. *Scientific Reports*, 2018, 8(1): 3035
- [5] Giri C, Ochieng E, Tieszen L 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
- [6] Polidoro B A, Carpenter K E, Collins L, et al. The loss of species: mangrove extinction risk and geographic areas of global concern. *PLOS ONE*, 2010, 5(4): e10095
- [7] Duke N C, Meynecke J O, Dittmann S, et al. A world without mangroves. *Science*, 2007, 317: 41–42
- [8] Worthington T A, Ermgassen P, Friess D A, et al. A global biophysical typology of mangroves and its relevance for ecosystem structure and deforestation. *Scientific Reports*, 2020, 10(1): 14652
- [9] Wang W, Fu H, Lee S Y, et al. Can strict protection stop the decline of mangrove ecosystems in China? From rapid destruction to rampant degradation. *Forests*, 2020, 11(1): 55
- [10] 沈小雪, 关淳雅, 王茜, 等. 红树林生态开发现状与对策研究. *中国环境科学*, 2020, 40(9): 295–307
- [11] 杨盛昌, 陆文勋, 邹祯, 等. 中国红树林湿地: 分布、种类组成及其保护. *亚热带植物科学*, 2017, 46(4): 301–310
- [12] 国家林业局, 国家发展改革委. 全国沿海防护林体系建设工程规划(2016—2025年)[EB/OL]. (2017–05–16) [2021–08–16]. <http://www.forestry.gov.cn/main/195/content-978315.html>
- [13] FAO. *The world's mangroves 1980–2005*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007
- [14] Feller I C, Friess D A, Krauss K W, et al. The state of the world's mangroves in the 21st century under climate change. *Hydrobiologia*, 2017, 803: 1–12
- [15] Valiela I, Bowen J L, York J K. Mangrove forests: one of the world's threatened major tropical environments. *BioScience*, 2001, 51: 807–815
- [16] Richards D R, Thompson B S, Wijedasa L. Quantifying net loss of global mangrove carbon stocks from 20 years of land cover change. *Nature Communications*, 2020, 11: 4260
- [17] IUCN. *Global assessments of mangrove losses and degradation*. Cambridge: University of Cambridge, 2016
- [18] Berkes F. Rethinking community-based conservation. *Conservation Biology*, 2004, 18(3): 621–630
- [19] Romanach S S, DeAngelis D L, Koh H L, et al. Conservation and restoration of mangroves: global status, perspectives, and prognosis. *Ocean & Coastal Management*, 2018, 154: 72–82
- [20] Friess D A, Thompson B S, Brown B, et al. Policy challenges and approaches for the conservation of mangrove forests in Southeast Asia. *Conservation Biology*, 2016, 30: 933–949
- [21] Chen L, Wang W, Zhang Y, et al. Recent progresses in mangroves conservation, restoration and research in China. *Journal of Plant Ecology*, 2009, 2: 45–54
- [22] Field C D. Rehabilitation of mangrove ecosystems: an overview. *Marine Pollution Bulletin*, 1998, 37: 383–392
- [23] Lewis R R. Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecological Engineering*, 2005, 24(4): 403–418
- [24] Elliott M, Mander L, Mazik K C, et al. Ecoengineering with ec hydrology: successes and failures in estuarine restoration. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2016, 176: 12–35
- [25] Kodikara K A, Mukherjee N, Jayatissa L P F, et al. Have mangrove restoration projects worked an in-depth study in Sri Lanka. *Restoration Ecology*, 2017, 25(5): 705–716
- [26] Oh R R Y, Friess D A, Brown B M. The role of surface elevation in the rehabilitation of abandoned aquaculture ponds to mangrove forests, Sulawesi, Indonesia. *Ecological Engineering*, 2017, 100: 325–334
- [27] Osland M J, Feher L C, Lopez-Portillo J, et al. Mangrove forests in a rapidly changing world: global change impacts and conservation opportunities along the Gulf of Mexico coast. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2018, 214: 120–140
- [28] Bernardino A F, Nóbrega G N, Ferreira T O. Consequences of terminating mangrove's protection in Brazil. *Marine Policy*, 2021, 125(30): 104389
- [29] 王浩, 任广波, 吴培强, 等. 1990—2019年中国红树林变迁遥感监测与景观格局变化分析. *海洋技术学报*, 2020, 39(5): 1–12
- [30] Hu W, Wang Y, Zhang D, et al. Mapping the potential

- of mangrove forest restoration based on species distribution models: a case study in China. *Science of The Total Environment*, 2020, 748: 142321
- [31] 王瑁, 王文卿, 林贵生. 三亚红树林. 北京: 科学出版社, 2019
- [32] 杨忠兰. 福建省红树林资源现状分析与保护对策. *华东森林经理*, 2002, 16(4): 1-4
- [33] 林益明, 林鹏. 福建红树林资源的现状与保护. *生态经济*, 1999, 3: 16-19
- [34] 胡文佳, 晁碧霄, 王玉玉, 等. 基于最大熵模型的福建省红树林潜在适生区评估. *中国环境科学*, 2020, 40(9): 4029-4038
- [35] 国家海洋局. 中国海洋 21 世纪议程行动计划. 北京: 海洋出版社, 1996
- [36] 张雅棉, 黄智君, 李玉, 等. 基于鹭类生境需求的海岸带海陆一体化修复. *湿地科学与管理*, 2021, 17(1): 56-60
- [37] 陈德昌. 广东省红树林现状与恢复发展对策刍议. *林业与环境科学*, 2005, 21(3): 75-78
- [38] 冯妙玲, 苏少青, 吴家龙. 关于红树林保护修复的若干思考——以广东省为例. *农业与技术*, 2021, 41(5): 49-51
- [39] 广西壮族自治区林业局. 广西红树林资源保护规划(2020—2030年)[EB/OL]. (2021-03-04) [2021-11-16]. <http://lyj.gxzf.gov.cn/zfxgkz/fdzdgnr/flfgzwcw/bbmwj/t8171034.shtml>
- [40] 范航清, 莫竹承. 广西红树林恢复历史、成效及经验教训. *广西科学*, 2018, 25(4): 363-371
- [41] 李丽凤, 刘文爱, 蔡双娇, 等. 广西北海滨海国家湿地公园生态海堤建设模式研究. *湿地科学*, 2019, 17(3): 277-285
- [42] 范航清, 何斌源, 王欣, 等. 生态海堤理念与实践. *广西科学*, 2017, 24(5): 427-434
- [43] 赵鹏, 朱祖浩, 江洪友, 等. 生态海堤的发展历程与展望. *海洋通报*, 2019, 38(5): 481-490
- [44] 范航清, 阎冰, 吴斌, 等. 虾塘还林及其海洋农牧化构想. *广西科学*, 2017, 24(2): 127-134
- [45] 何斌源, 范航清, 王瑁, 等. 中国红树林湿地物种多样性及其形成. *生态学报*, 2007(11): 487-498
- [46] 孙海平, 李红, 楼毅, 等. 浙江省玉环市红树林现状及保护发展对策. *华东森林经理*, 2020, 34(3): 15-18
- [47] 陈秋夏, 杨升, 王金旺, 等. 浙江红树林发展历程及探讨. *浙江农业科学*, 2019, 60(7): 1177-1181
- [48] 蔡晓晴, 罗贵榕. 我国红树林湿地生态法治实践问题及解决路径. *林业建设*, 2020(6): 39-47
- [49] 国家林业局长江流域防护林体系建设管理办公室, 广西壮族自治区林业厅, 广西壮族自治区林业勘测设计院, 等. LY/T 1938—2011 红树林建设技术规程. 北京: 中国标准出版社, 2011
- [50] 国家海洋局第三海洋研究所, 厦门大学. HY/T 214—2017 红树林植被恢复技术指南. 北京: 中国标准出版社, 2017
- [51] 中国林业科学研究院热带林业研究所, 茂名市电白区红树林保护区管理总站, 广东湛江红树林国家级自然保护区管理局. LY/T 2972—2018 困难立地红树林造林技术规程. 北京: 中国标准出版社, 2018
- [52] 陈远合, 詹潮安, 林艾晕, 等. 红树林无瓣海桑栽培技术规程(DNB 440500/T41—2003). *粤东林业科技*, 2004(2): 58-60
- [53] 陈远合, 詹潮安, 肖泽鑫, 等. 红树林海桑栽培技术规程(DNB 440500/T85—2004). *粤东林业科技*, 2005(2): 40-41
- [54] 地方标准信息服务平台. DB 44/T 284—2005 红树林造林技术规程[EB/OL]. (2005-12-16) [2021-09-10]. <https://std.samr.gov.cn/db/search/stdDBDetailed?id=91D99E4D88182E24E05397BE0A0A3A10>
- [55] 地方标准信息服务平台. DB 33/T 920—2014 红树林造林技术规程[EB/OL]. (2014-03-20) [2021-09-10]. <https://std.samr.gov.cn/db/search/stdDBDetailed?id=91D99E4D267A2E24E05397BE0A0A3A10>
- [56] 地方标准信息服务平台. DB 35/T 1619-2016 秋茄造林技术规程[EB/OL]. (2016-12-30) [2021-09-10]. <https://std.samr.gov.cn/db/search/stdDBDetailed?id=91D99E4D90532E24E05397BE0A0A3A10>
- [57] 全国团体标准信息平台. T/CAOE 21.2—2020 海岸带生态减灾修复技术导则第 2 部分: 红树林[EB/OL]. (2020-07-21) [2021-09-10]. <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/37685/>
- [58] 陈远合, 詹潮安, 肖泽鑫, 等. 红树林海桑栽培技术规程(DNB 440500/T84—2004). *粤东林业科技*, 2005(2): 37-39
- [59] 地方标准信息服务平台. DB 45/T 1712—2018 无瓣海桑育苗技术规程[EB/OL]. (2018-04-16) [2021-09-10]. <https://std.samr.gov.cn/db/search/stdDBDetailed?id=9A6ACF60B26A73B7E05397BE0A0A80C7>
- [60] 中国林业科学研究院热带林业研究所. 红树林控制米草属植物技术规程(LY/T 2130—2013). 北京: 中国标准出版社, 2013
- [61] 广西壮族自治区林业科学研究院. LY/T 2853—2017

- 红树林主要食叶害虫防治技术规程. 北京: 中国标准出版社, 2017
- [62] 国家海洋环境监测中心. HY/T 081—2005 红树林生态监测技术规程. 北京: 中国标准出版社, 2005
- [63] 地方标准信息服务平台. DB 45/T 832—2012 广西红树林生态健康监测技术规程[EB/OL]. (2012-09-15) [2021-09-10]. <https://dbba.sacinfo.org.cn/stdDetail/e87a6c434267472533307a0e02748ba0>
- [64] 中国林业科学研究院林业新技术研究所, 海南清澜港红树林自然保护区管理站. LY/T 2794—2017 红树林湿地健康评价技术规程. 北京: 中国标准出版社, 2017
- [65] 地方标准信息服务平台. DB 45/T 1017—2014 红树林生态健康评价指南[EB/OL]. (2014-05-25) [2021-09-10]. <https://dbba.sacinfo.org.cn/stdDetail/ce8aa9c8d1965d5fce9576f47ba79af0>
- [66] 地方标准信息服务平台. DB 45/T 1230—2015 红树林湿地生态系统固碳能力评估技术规程[EB/OL]. (2015-12-01) [2021-09-10]. <https://dbba.sacinfo.org.cn/stdDetail/84e26a7bbbe6f4067dc0716e91ed6869>
- [67] 全国团体标准信息平台. T/CAOE 20.3—2020 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[EB/OL]. (2020-05-06) [2021-09-10]. <http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/35219/>
- [68] 车伍, 桑斌, 刘宇, 等. 城市雨水控制利用标准体系及问题分析. 中国给水排水, 2016, 10: 22-28
- [69] 王法明, 唐剑武, 叶思源, 等. 中国滨海湿地的蓝色碳汇功能及碳中和对策. 中国科学院院刊, 2021, 36(3): 241-251
- [70] 焦念志. 研发海洋“负排放”技术支撑国家“碳中和”需求. 中国科学院院刊, 2021, 36(2): 179-187
- [71] Duarte C M, Losada I J, Hendriks I E, et al. The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. *Nature Climate Change*, 2013, 3: 961-968
- [72] Ouyang X G, Lee S Y. Improved estimates on global carbon stock and carbon pools in tidal wetlands. *Nature Communications*, 2020, 11: 317
- [73] Liu H X, Ren H, Hui D X, et al. Carbon stocks and potential carbon storage in the mangrove forests of China. *Journal of Environmental Management*, 2014, 133: 86-93
- [74] Wang F, Sanders C J, Santos I, et al. Global blue carbon accumulation in tidal wetlands increases with climate change. *National Science Review*, 2020, 8(9): nwaa296
- [75] 陈顺洋, 安文硕, 陈彬, 等. 红树林生态修复固碳效果的主要影响因素分析. *应用海洋学学报*, 2021, 40(1): 34-42
- [76] Djameluddin R, Brown B, Iii R. The practice of hydrological restoration to rehabilitate abandoned shrimp ponds in Bunaken National Park, North Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 2019, 20(1): 160-170
- [77] Friess D A, Rogers K, Lovelock C E, et al. The state of the world's mangrove forests: past, present, and future. *Annual Review of Environment and Resources*, 2019, 44(1): 89-115
- [78] 王文卿, 张林, 张雅棉, 等. 红树林退塘还林研究进展. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2021, 60(2): 348-354
- [79] 崔保山, 谢焘, 王青, 等. 大规模围填海对滨海湿地的影响与对策. *中国科学院院刊*, 2017, 32(4): 418-425
- [80] 范航清, 王文卿. 中国红树林保育的若干重要问题. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2017, 56(3): 323-330
- [81] 符小干. 退塘还林红树林造林技术. *热带林业*, 2010, 38(3): 25-26
- [82] 吴钟亲, 陈修仁, 田乐宇, 等. 退塘还林红树林混交造林技术. *林业科技通讯*, 2021, 5(2): 30-34
- [83] 李玫, 陈玉军, 廖宝文, 等. 低位塘退塘还林的红树林造林技术. *林业科技通讯*, 2020, 3(11): 91-93
- [84] Wang L, Jia M M, Yin D M, et al. A review of remote sensing for mangrove forests: 1956-2018. *Remote Sensing of Environment*, 2019, 231: 111223
- [85] 冯家莉, 刘凯, 朱远辉, 等. 无人机遥感在红树林资源调查中的应用. *热带地理*, 2015, 35(1): 35-42
- [86] 高弋斌. 基于深度学习与无人机监测的龙海九龙江口红树林群落识别研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2020
- [87] 马云梅. 基于国产多源高分遥感的广西红树林种间分类研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2020
- [88] Bayraktarov E, Saunders M I, Abdullah S, et al. The cost and feasibility of marine coastal restoration. *Ecological Applications*, 2016, 26: 1055-1074
- [89] Rovai A S, Soriano-Sierra E J, Pagliosa P R, et al. Secondary succession impairment in restored mangroves. *Wetlands Ecol Manage*, 2012, 20: 447-459
- [90] Wodehouse D, Rayment M B. Mangrove area and propagule number planting targets produce sub-

- optimal rehabilitation and afforestation outcomes. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2019, 222: 91–102
- [91] Tomlinson P B. *The botany of mangroves*. 2nd ed. England: Cambridge University Press, 2016
- [92] Streever W. *An international perspective on wetland rehabilitation*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999
- [93] Lovelock C E, Brown B M. Land tenure considerations are key to successful mangrove restoration. *Nat Ecol Evol*, 2019, 3: 1135
- [94] Ren H, Lu H F, Shen W J, et al. *Sonneratia apetala* Buch. Ham in the mangrove ecosystems of China: an invasive species or restoration species. *Ecological Engineering*, 2009, 35(8): 1243–1248
- [95] Biswas S R, Biswas P L, Hasan L S, et al. Plant invasion in mangrove forests worldwide. *Forest Ecology and Management*, 2018, 429: 480–492
- [96] Chen L Z, Wang W Q, Li Q S, et al. Mangrove species' responses to winter air temperature extremes in China. *Ecosphere*, 2017, 8(6): e01865
- [97] Ferreira A C, Ganade G, De Attayde J L. Restoration versus natural regeneration in a neotropical mangrove: effects on plant biomass and crab communities. *Ocean & Coastal Management*, 2015, 110: 38–45
- [98] Li S, Xie T, Pennings S C, et al. A comparison of coastal habitat restoration projects in China and the United States. *Scientific Reports*, 2019, 9: 14388
- [99] Richards D R, Friess D A. Rates and drivers of mangrove deforestation in Southeast Asia, 2000–2012. *PNAS*, 2016, 113: 344–349
- [100] Ellison A M. Mangrove restoration: do we know enough?. *Restoration ecology*, 2000, 8(3): 219–229
- [101] Primavera J H, Esteban J. A review of mangrove rehabilitation in the Philippines: successes, failures and future prospects. *Wetlands Ecology & Management*, 2008, 16(5): 345–358
- [102] Borja Á, Dauer D M, Elliott M, et al. Medium-and long-term recovery of estuarine and coastal ecosystems: patterns, rates and restoration effectiveness. *Estuaries and Coasts*, 2010, 33: 1249–1260
- [103] Mckee K L, Faulkner P L. Restoration of biogeochemical function in mangrove forests. *Restoration Ecology*, 2010, 8(3): 247–259
- [104] Barnuevo A, Asa Ed A T, Sanjaya K, et al. Drawbacks of mangrove rehabilitation schemes: lessons learned from the large-scale mangrove plantations. *Estuarine Coastal & Shelf Science*, 2017, 198: 432–437