

Doi: 10.11840/j.issn.1001-6392.2020.01.001

## 我国生物海岸修复现状及展望

张小霞<sup>1</sup>, 陈新平<sup>2</sup>, 米硕<sup>1</sup>, 龚泽林<sup>1</sup>, 林鹏智<sup>1</sup>

(1. 四川大学 水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 四川 成都 610065;

2. 自然资源部海洋减灾中心, 北京 100194)

**摘 要:** 介绍了我国生物海岸的分布现状, 总结出以柽柳为代表的灌木群落、以芦苇为代表的草本群落、以红树林为代表的常绿灌木与乔木群落以及珊瑚礁是我国海岸带四类典型生物群落。生物海岸的生态、旅游、渔牧和科研价值极高, 但从 20 世纪 50 年代起, 由于对生物海岸的价值认识不足, 我国生物海岸被大量破坏, 主要破坏原因可归纳为: 1) 土地功能转换式开发引起的红树林和草本岸线破坏; 2) 过度采挖及环境恶化引起的珊瑚礁破坏; 3) 土壤盐碱化引起的柽柳群落退化。从 20 世纪 80 年代至今, 一系列海岸带保护与生态修复的举措陆续实施, 减缓了我国海岸带生态加速破坏的态势, 较好地保护和修复了我国生物海岸, 其中最重要的举措包括: 1) 设立生物海岸湿地公园和自然保护区; 2) 建立健全生物海岸保护相关法律体系; 3) 开展典型生物海岸相关研究与修复技术探索; 4) 推进并实施“十三五”海洋规划中三大海洋重点工程。为了解我国海岸带生态修复的现状, 于 2017—2018 年期间, 分别在山东日照、潍坊, 上海, 广东汕头、汕尾以及徐闻进行了实地调研和测量, 调研结果表明: 在政策支持下, 调研地区的生物海岸得到了很好的保护和修复, 推进我国海岸带生态修复步入快速发展阶段。基于调研成果, 指出我国在海岸带生态修复中应特别重视的一些问题。

**关键词:** 生物海岸; 生态修复; 柽柳群落; 草本群落; 红树林; 珊瑚礁

中图分类号: X37

文献标识码: A

文章编号: 1001-6932(2020)01-0001-11

## Rehabilitation of biological coasts of China

ZHANG Xiao-xia<sup>1</sup>, CHEN Xin-ping<sup>2</sup>, MI Shuo<sup>1</sup>, GONG Ze-lin<sup>1</sup>, LIN Peng-zhi<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Chengdu 610065, China; 2. National Marine Hazard Mitigation Service, Beijing 100194, China)

**Abstract:** This study introduces the overall distribution of biological coasts of China, and concludes that *Tamarix* community, herb community, mangrove forest, and coral reef are four representative types of biological coasts which are widely distributed along the coasts of China. The biological characteristics and the distribution of the four typical biological coasts are summarized. China's biological coasts suffered great damage since 1950 due to a lack of cognition of its extremely high value in ecologic, tourism, fishery and scientific research. Three main damages are pointed out: 1) mangrove and herb coasts damaged by land use conversion, 2) coral reef destructed by excessive excavation and environmental deterioration, and 3) *Tamarix* community degradation caused by soil salinity increasing. Along with these damages, China has made continuous efforts to reduce and restore biological coasts since the 1980s: 1) biological parks and coast reserves have been constructed, 2) law systems concerning the protection of biological coasts have been established, 3) many researches on biological coasts and their recovery technology have been conducted, 4) three major marine projects which are tightly related to biological coast protection and restoration were proposed in the 13th Five-Year Plan of China, progresses have been made ever after. To find out the restoring effect of the four typical biological coasts, field surveys at Rizhao, Weifang, Shanghai, Shantou, Shanwei and Xuwen were conducted during 2017 and 2018. Preliminary results showed that China's biological coast restoration is developing rapidly. The ecological, environmental and tourism value of biological coasts, have been improved significantly. Con-

收稿日期: 2018-12-11; 修订日期: 2019-07-28

基金项目: 国家自然科学基金 (51279120; 41506042)。

作者简介: 张小霞 (1990-), 博士研究生, 主要从事环境流体力学和生态减灾方面研究。电子邮箱: ZXXSCU@qq.com。

通讯作者: 林鹏智, 电子邮箱: cvelinpz@126.com。

sidering the current restoration and development of the biological coasts of China, we pointed out several important matters which should be highly valued in future restoration.

**Keywords:** biological coasts; ecological restoration; *Tamarix* community; herb community; mangrove; coral reef

我国海岸线总长约  $3.2 \times 10^4$  km, 其中大陆海岸线约  $1.8 \times 10^4$  km, 大型岛屿台湾和海南岸线分别为 1 569 km (胡亚斌, 2016) 和 1 674 km (姚晓静等, 2013)。根据海岸线地理环境与开发利用情况, 可将海岸线分为人工岸线和自然岸线两大类, 其中人工岸线主要包括建设围堤、交通围堤、码头岸线、农田围堤、盐田围堤、养殖围堤等类型 (高义等, 2013), 自然岸线包括河口、基岩岸线、砂砾质岸线、生物海岸和淤泥质岸线。在这些岸线类型中, 生物海岸是重要的自然资源宝库, 是各种生物活动高度集中的地区, 被称为海岸生态关键区 (Clark, 1996)。

生物海岸主要由生物构建而成, 包括珊瑚礁等动物分泌物、骨骼和残骸架构而成的近岸生物系统, 以及草本、灌木和乔木等植物构成的滨海沼泽和湿地系统。生物海岸对维持海岸生物多样性、促进水产和旅游资源可持续利用、稳固海岸线、净化和美化海岸环境十分重要 (张乔民, 2001; 宋金明, 1999), 具有极高的生态、旅游、渔牧和科研价值。Costanza 等 (1997) 研究表明, 红树林及盐沼生态系统总价值均为 9 990 美元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ), 珊瑚礁生态系统总价值为 6 075 美元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ), 在全球 16 种生态系统中分别排第 4 和第 6 名。

我国生物海岸在海洋经济发展中起着重要的作用, 但在前期发展中未能正确认识到生物海岸的真实价值, 没有合理规划利用, 以至毁林造田围塘, 海岸工程建设, 珊瑚礁过度采挖, 礁区炸鱼、毒鱼、电鱼以及抛锚等破坏型经济活动盛行, 导致我国生物海岸锐减。肖锐 (2017) 指出, 2015 年我国自然岸线长度约为 4 634.26 km, 占大陆岸线的 25.95%, 其中生物海岸 571.47 km, 仅占大陆岸线的 3.21%, 与 1980 年相比生物海岸的绝对长度 (864.26 km) 和占比 (5.32%) 均大幅减少。杨磊等 (2014) 的研究也揭示了我国生物海岸严重缩减的现状。

随着生物海岸的减少和破坏, 我国逐渐认识到生物海岸的重要性。逐步从毁林毁礁式生态破坏型开发和生物海岸土地功能转换式开发转变为以生态

保护优先, 生态资源即经济价值为理念的开发模式。红树林、珊瑚礁、草本湿地和怪柳群落等滨海湿地自然保护区不断增加和完善。我国制定并颁布了生物海岸保护相关法律法规。近年来, 我国出台了一系列海洋生态修复相关文件, 如《中共中央国务院关于完善主体功能区战略和制度的若干意见》(中发〔2017〕27号) 将“推进岸线自然化和生态化”“促进海洋生物资源可持续发展”“加强海洋生物资源利用空间生态保护”等作为重要内容。生物海岸修复相关研究也越来越受到重视, 取得了一些成果。“南红北柳”“蓝色海湾”以及“生态岛礁”等一系列海洋海岸生态湿地整治修复工程在全国海岸带陆续开展。在这些举措的推动下, 我国生物海岸得到了很好的保护与修复。

## 1 我国生物海岸总体概况

由于许多小型岛屿研究文献和报道较少, 本文主要分析介绍我国大陆沿海省市、台湾、香港、澳门以及南海诸岛的生物海岸概况。以杭州湾为界, 我国生物海岸分为南、北两个典型区域类型。杭州湾以北 (含杭州湾) 表现为典型北方生物海岸: 以怪柳、芦苇、碱蓬、互花米草为主要植物, 同时木麻黄、黑松、海三棱蔗草、獐茅、二色补血草等植物混生组成滨海生态湿地岸线, 主要分布在辽河三角洲、黄河三角洲、江苏海岸带、长江三角洲以及杭州湾。杭州湾以南, 从浙江舟山起, 南方生物海岸特征随纬度降低而愈加突出: 主要包括由红树林为主要植物类型的潮间带湿地和珊瑚礁为主体构成的近岸浅水生态系统, 其中红树林植物种类较多, 包括秋茄、白骨壤、桐花树、红海榄、木榄、海漆、无瓣海桑 (引进) 和拉贡木 (引进) 等 38 种 (杨盛昌等, 2017), 主要分布于海南、广西、广东三省, 福建、香港也有分布, 浙江、澳门、台湾有少量分布。珊瑚礁主要分布于南海诸岛和海南岛沿岸, 在广东徐闻、广西涠洲岛和斜阳岛、台湾及周边岛屿均有分布, 广东 (除徐闻外) 和福建沿岸也有少量分布。此外, 我国沿海还分布有牡蛎礁、

贝壳堤以及海草床等生物海岸。牡蛎礁主要分布在渤海湾、江苏沿海以及长江口, 贝壳堤主要分布于渤海湾, 海草床在渤海湾以及广东、广西和海南三省均有分布。牡蛎礁, 贝壳堤以及海草床生物海岸总面积均较小, 本文不做详细介绍, 但这些生物岸

线同样具有重要的生态及经济价值, 应当同样重视对他们的保护和修复。本文将我国生物海岸分为柽柳群落、草本群落、红树林、珊瑚礁四类典型生物海岸及其他生物海岸。我国四类典型生物海岸, 具体生物组成、特点和分布等情况如表 1 所列。

表 1 我国四类典型生物海岸生物组成、特点和分布情况表

| 岸线类型 | 主要生物品种   | 适宜生长环境   | 潮位分布区间          | 分布行政区域及主要分布区面积/hm <sup>2</sup>   | 总面积/万 hm <sup>2</sup> |
|------|--|--|-----------------|--|-----------------------|
| 柽柳群落 | 中华柽柳、刚毛柽柳、甘蒙柽柳、碱蓬、狗尾草等                         | 土壤盐度不宜高于 1.2 % (宋香静, 2017)   | 平均高潮位以上         | 辽宁、河北、天津、山东、江苏等省市, 包括: 昌邑国家级海洋生态特别保护区 2 070(王平等, 2017), 黄河三角洲 50 000 (张绪良等, 2012), 东营市河口区柽柳林场 26 667(郭庆梅等, 2011)   | 7.9                   |
| 草本群落 | 芦苇、碱蓬、互花米草、海三棱藨草、香蒲等                           | 盐度小于 1.5 %(李诗华, 2018), 水深不超过 1 m 为宜(李长明等, 2015)  | 潮间带上部           | 辽宁、河北、天津、山东、江苏、上海等省市, 包括: 鸭绿江口滨海湿地自然保护区 10 256 (索安宁等, 2009), 辽河三角洲 68 843 (刘婷等, 2017), 黄河三角洲 29 526(宗敏, 2017), 江苏盐城滨海湿地 39 349(刘春悦等, 2009), 其中盐城滨海湿地核心区 13 395(谭清梅等, 2013), 杭州湾 6 244(徐益力, 2010)                 | 16.8                  |
| 红树林  | 红树品种 38 种, 其中真红树 27 种, 半红树植物 11 种 (杨盛昌等, 2017) | 盐度小于 3.5 %(雷安平, 2004), 周期淹水时长小于 8 h (Chen et al, 2005), 最低月均气温及水温不低于 10 ℃, 极端低温不低于 -3 ℃ (张乔民等, 2001) | 平均海平面与回归潮平均高潮位间 | 浙江 147(郑坚等, 2011), 福建 942(吴培强, 2012), 广东 12 587 (赵玉灵, 2017), 广西 8 375 (李春干, 2004), 海南 4 891 (辛欣, 2016), 香港 510 (香港渔农自然护理处), 澳门 57(梁华, 1998), 台湾 214(张伟强, 1996)   | 2.8                   |
| 珊瑚礁  | 造礁石珊瑚 295 种, 柳珊瑚 75 种, 软珊瑚有 113 种 (傅秀梅等, 2009) | 水深 50 米内, 水质清澈, 光线充足, 水温 20 ℃~33 ℃的温暖海洋 (赵焕庭, 1998)  | 大潮低潮位以下的潮下浅海区   | 海南 22 217 (傅秀梅等, 2009), 福建 1 498 (姜峰等, 2011), 广东 3 010(赵焕庭等, 2006), 广西 4 500(宋朝景等, 2007), 台湾 70 000 (Burke et al, 2002), 东沙 38 700 (张乔民等, 2014), 中沙 854 000 (赵焕庭等, 1999), 西沙 186 300 和南沙 2 605 900 (Zhang, 2004) | 378.6                 |

注: 表中柽柳群落和草本群落分布面积统计数据涵盖了潮间带及近岸植被覆盖区域面积。珊瑚礁面积相关统计数据主要按照完整的礁体地貌范围统计 (Zhang Qiaomin, 2004), 若按照最高珊瑚覆盖率统计, 我国礁坪、礁顶、浅水礁区等近表层礁的总面积约 7 300 km<sup>2</sup> (张乔民等, 2006)。

我国四类典型生物海岸在空间分布上有所差异, 其适宜的海岸潮位和纬度不同, 分别如图 1 和图 2 所示, 四类岸线在空间分布上存在一定的重叠区域, 如柽柳群落和草本群落常出现在同一岸线区域, 草本群落中的互花米草、芦苇等品种与红树林之间也有共同适宜区域, 存在竞争关系。针对我国四类典型生物海岸, 在资料搜集的基础上, 根据文献给出的经纬度或位置描述, 结合 Google 卫星地图确定其分布地点, 得到我国典型生物海岸分布概况如图 2 所示, 柽柳 (郭庆梅等, 2011; 关洪斌等, 2009; 王平等, 2017; 张绪良等, 2012; 张韵, 2013)、草本群落 (索安宁等, 2009; 刘婷等, 2017; 宗敏, 2017; 刘春悦等, 2009; 谭清

梅等, 2013; 徐益力, 2013; 吴统贵, 2009; 许妍等, 2016; 曹磊, 2014; 叶功富, 2010; 王立宝, 2003; 张衡等, 2007; 李艳红等, 2003)、红树林 (杨盛昌等, 2017; 吴培强, 2012; 辛欣等, 2016; 张伟强等, 1996; 但新球等, 2016; 张苇, 2016) 和珊瑚礁 (傅秀梅等, 2009; 姜峰等, 2011; 赵焕庭等, 2006; Burke et al, 2002; 张乔民等, 2014; 赵焕庭等, 1999; 赵焕庭, 1998; 杨凡, 2005; 周红英等, 2017) 岸线分布位置数据分别来源于对应的文献, 以上文献之外的分布地点来自文本调研。部分生物海岸分布区 (如辽宁、河北、天津区域的柽柳分布区) 属试验性恢复或发展区域, 面积较小 (不能清楚地 Google

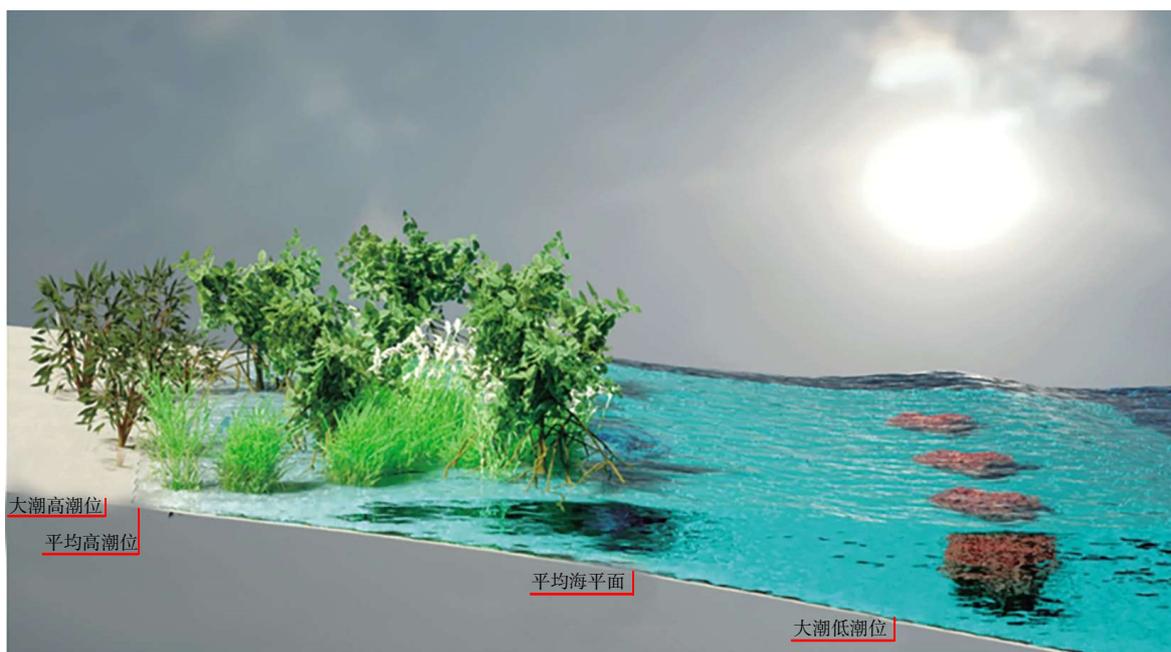


图1 我国四类典型生物海岸适宜的潮位分布区间示意图

卫星地图上识别)且报道资料缺乏,因此未在图2中标出。

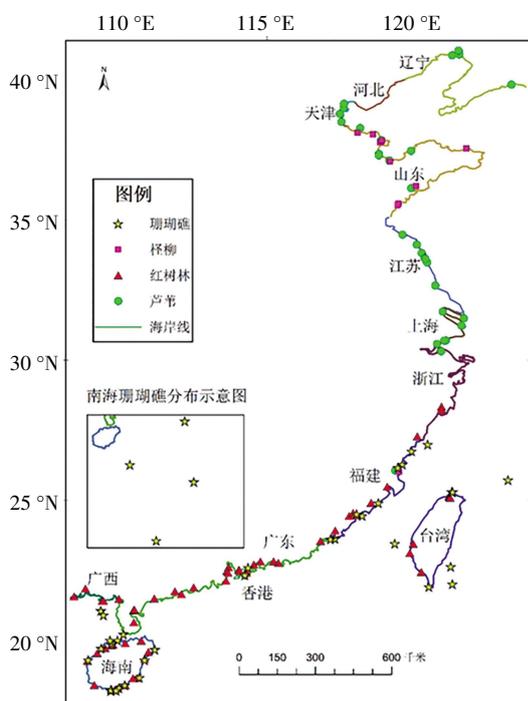


图2 我国四类典型生物海岸分布概况

## 2 我国生物海岸破坏情况

我国生物海岸破坏主要发生在1950—2010年

间,几类典型生物海岸均有不同程度的破坏,其中红树林和草本岸线破坏严重,总面积大幅减少,破坏原因主要是造田围塘等土地功能转换式开发侵占生物海岸;珊瑚礁的破坏原因主要是人为过度采挖、捕鱼以及生存环境恶化引起的珊瑚礁白化及死亡;相对而言,怪柳群落遭受破坏程度最轻,但土壤盐度增大引起的怪柳林退化问题也应引起重视。

### 2.1 造田围塘等土地功能转换式开发引起红树林和草本岸线破坏

沿海经济开发大量侵占和破坏红树林以及草本岸线,导致红树林、草本岸线分布面积剧减。其中红树林破坏主要出现在20世纪50年代至20世纪末,草本岸线破坏主要发生于20世纪80年代至21世纪前十年。

在20世纪后半叶,我国经济处于低速发展时期,农业和渔业是沿海地区的主要经济来源之一,当时人们对生物海岸的价值认识不足,在眼前经济利益驱动下,大量砍伐红树林、侵占滩涂湿地,开展造田围塘活动(张乔民等,1997)。毁林造田围塘导致我国红树林面积锐减,我国红树林面积在20世纪50年代约 $4 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,至20世纪80年代则只剩 $1.7 \times 10^4 \sim 2.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$ (张乔民等,2001),至20世纪90年代末全国红树林面积减少50%以上,其中红树林分布最多的广东、广西和海南三

省减少最为严重，20 世纪 50 年代至 20 世纪末，三省红树林面积依次减少约 11 200 hm<sup>2</sup> (53 %) (何克军等, 2006), 7 500 hm<sup>2</sup> (47 %) (梁维平等, 2003) 和 5 200 hm<sup>2</sup> (52 %) (张乔民等, 2001)。

1980 年—2010 年，我国经济发展速度迅速加快，进一步破坏和侵占沿海生物海岸。江苏盐城海岸草本湿地总面积由 1980 年的  $8.3 \times 10^4$  hm<sup>2</sup> 减少到 2008 年的  $3.93 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>，减少了 52.7%，其中面积减少最多的是盐地碱蓬滩和芦苇沼泽 (刘春悦等, 2009)，减少的草本湿地大部分用到了养殖塘用地。在辽河三角洲，由于过度围垦开发滨海湿地，自然湿地面积在 1988 年至 2007 年间减少了  $1.1 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>，其中，碱蓬湿地减少了 75% (2 440 hm<sup>2</sup>) (林和山等, 2012)。

## 2.2 过度采挖及环境恶化引起的珊瑚礁破坏

沿海居民长期大规模采挖礁块用作建筑材料以及石灰烧制，采挖珊瑚和贝类用于制造观赏工艺品，在珊瑚礁区炸鱼、毒鱼、电鱼以及抛锚、践踏 (张乔民, 2001)，礁区经济活动频繁，鱼类和植物海产品被过度捕捞造成华南和海南岛沿岸珊瑚礁生态系统严重失衡。此外，更为严重的珊瑚礁破坏来自珊瑚礁分布区域生存环境的改变和恶化。其原因可归结为人为和自然两个方面，人类活动引起的海水污染、珊瑚礁区的海藻养殖和核电厂温排水改变了珊瑚礁区水质、海水透光性以及局部水温，热带气旋、底层缺氧海水入侵、珊瑚礁天敌长棘海星爆发和海水温度异常升高等自然灾害也从不同角度改变了适宜珊瑚礁的生存环境。

生态破坏型开发和各种环境压力造成海南岛沿岸珊瑚礁生态系统衰退 (邹仁林, 1994)。20 世纪 50 年代至 20 世纪末，海南岛沿岸珊瑚礁破坏率达 80%，并导致海岸侵蚀后退，水产资源衰竭，生态环境恶化等不良后果 (国家海洋局, 1996)。海南三亚鹿回头岸原有 81 种造礁石珊瑚中，30 种已经区域性灭绝 (于登攀等, 1999)。截至 2005 年，磷枪石岛、临高角和新盈海域造礁石珊瑚覆盖率分别为 40%，23.67% 和 9.00%。造礁石珊瑚死亡严重，基本在 30% 以上，特别是临高角海域死亡率达 50% 以上 (黄晖等, 2012)。香港东北部海域 1994 年 7 月曾发生底层缺氧海水入侵事件，造成大量底栖生物死亡，部分礁区约 80% 的造礁石珊

瑚死亡 (Hodgson et al, 1997)。台湾南部和大亚湾核电站温排水也造成当地珊瑚礁白化和衰退 (张乔民, 2001)。南海诸岛珊瑚礁退化和破坏主要受到海洋环境改变影响，研究人员 (余克服等, 2004) 一致认为全球变暖和海水温度上升是导致世界范围内珊瑚礁大量死亡的主要原因。

## 2.3 土壤盐度升高引起的柽柳林退化

柽柳林一般分布在大潮高潮位附近及以上，与人类海岸开发用地的矛盾相对较小，未见有大面积砍伐柽柳林的报道，但因自然因素和人为活动引起的海岸带柽柳林分布区土壤盐分增加也一定程度上导致柽柳林退化。

近年来，受自然因素及发展盐业、渔业等人类活动的影响，黄河三角洲湿地土壤盐渍化程度加剧，柽柳群落生长退化严重 (邓伟, 2012; 何秀平, 2014; 徐梦辰等, 2015)。对东营市大汶流管理站南岸植物调查样地调查与分析结果表明黄河三角洲湿地柽柳群落严重退化 (徐梦辰等, 2015)：从退化早期阶段至退化晚期阶段，研究区内柽柳群落的盖度、密度与高度呈减小趋势，物种丰富度、均匀度和多样性也呈下降态势，柽柳死亡率直线上升，引起柽柳退化的主要因素为土壤养分与盐分的改变。

# 3 我国生物海岸修复举措

尽管我国生物海岸破坏历时长达五六十年，但伴随着生物海岸破坏的加剧，人们对海岸生态环境和生物海岸价值的重视程度也在提高。控制生物海岸破坏的尝试从 20 世纪 80 年代前后开始，为了从源头上避免生物海岸的大规模破坏，一些专门的生物海岸保护区逐步建立并完善，关于生物海岸保护、管理、修复的一系列法律规范也不断制定。同时，针对一些生物海岸修复重难点问题的研究和实验也逐步开展。近年来，生物海岸修复举措更加强劲，系列重大海岸生态整治工程陆续实施和推进，有力的修复和改善了我国生物海岸现状。这些举措对我国生物海岸修复起到了十分重要的作用，以红树林为例，当前中国红树林总面积修复到约  $2.8 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>，达到 20 世纪 50 年代的 68%。

## 3.1 生物海岸保护区设立

20 世纪 80 年代以来，滨海湿地、红树林、珊

珊瑚海岸资源的保护管理工作也逐步开展。其中红树林保护区建立最为完善,涵盖了我国红树林分布面积的80%以上,珊瑚礁和草本岸线湿地保护区也陆续建立,怪柳专门保护区较少,仅有山东省潍坊市昌邑国家级海洋生态特别保护区。此外,我国还建立了许多重要的湿地公园,如广饶湿地公园、宁波市杭州湾国家湿地公园、新盈红树林国家级湿地公园等。

自1975年香港米埔红树林湿地被指定为自然保护区后(张乔民等,2001),各地红树林保护区陆续建立。至2005年一共成立了42个红树林自然保护区(杨盛昌等,2017),其中国家级7个,省级4个,市级11个,县级18个,分布于广东(18个)、海南(10个)、福建(5个)、广西(3个)、浙江(1个)、台湾(3个),另有两个分别位于香港、澳门特别行政区,这些保护区一直沿用至今,为红树林海岸线保护以及修复做出了重要贡献。

珊瑚礁在维护海洋生物多样性方面有着不可替代的作用,仅占全球海域面积0.1%~0.5%的珊瑚礁分布海域,已记录的礁栖生物却占到海洋生物总数的30%(赵美霞等,2006)。我国现有珊瑚礁保护区5个,分别为:福建东山珊瑚礁保护区、广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区、广西涠洲岛珊瑚礁国家级海洋公园、三亚珊瑚礁国家级自然保护区(又名亚龙湾珊瑚礁国家级自然保护区)、铜鼓岭国家级自然保护区。我国珊瑚礁绝大部分分布在南海诸岛,虽受人类活动影响较小,但近年来活珊瑚覆盖率大减,故有学者呼吁成立南海珊瑚礁保护区(黄晖等,2008)。

我国大型草本岸线分布区域基本都已设立自然保护区,从北往南依次成立了丹东鸭绿江口滨海湿地国家级自然保护区、辽河三角洲核心区域盘锦市的双台子河口国家级自然保护区、黄河三角洲国家级自然保护区、江苏盐城滨海湿地国家自然保护区、崇明东滩鸟类国家级自然保护区以及九段沙湿地国家级自然保护区。

### 3.2 生物海岸保护相关法律体系建立

为保护和改善海洋环境,合理利用海洋资源,维护生态平衡,促进经济和社会的可持续发展,国际组织和政府从生物海岸保护相关法律体系建立入手,开展了大量工作。

一些国际生物海岸保护组织从20世纪90年代

起便发挥了重要的作用。1990年8月在日本冲绳成立了国际红树林生态系统协会(ISME),1991年5月在曼谷讨论通过了红树林宪章,1992年4月开始红树林行动计划(MAP),该计划特别关注和抵制世界范围的毁林养虾模式(范航清,2000;Hogarth,1999)。随后,国际珊瑚礁对策组织(ICRI)于1994年宣布成立,政府级全球珊瑚礁监测网络(GCRMN)于1995年成立,由此逐渐建立了全球珊瑚礁数据库。

我国于1982年首次制定了《中华人民共和国海洋环境保护法》,后经全国人民代表大会常务委员会先后四次修订完善,于2017年11月5日起实行严格的海洋环境保护制度。在重点海洋生态功能区、生态环境敏感区和脆弱区等海域划定生态保护红线,保护红树林、珊瑚礁、滨海湿地等具有典型性、代表性的海洋生态系统,对具有重要经济价值的海洋生物生存区域及有重大科学文化价值的海洋自然历史遗迹和自然景观进行重点保护。2017年国家海洋局印发《海岸线保护与利用管理办法》,强化了海岸线分类保护的硬举措、加大了海岸线节约利用的硬约束、提出了海岸线整治修复的硬要求。《海岸线保护与利用管理办法》第九条明确规定:自然形态保持完好、生态功能与资源价值显著的自然岸线应划为严格保护岸线,主要包括优质沙滩、典型地质地貌景观、重要滨海湿地、红树林、珊瑚礁等所在海岸线。此办法为优先保护海洋生态环境,加强海岸线保护、管理与利用,实现自然岸线保有率管控目标,构建科学合理的自然岸线格局提供了法律保障。

### 3.3 典型生物海岸相关研究与修复探索

怪柳群落和草本群落是我国北方典型生物海岸,研究人员从适宜植被品种优选和培育、适宜造林地选取以及种植管理方法等方面开展了研究。刘小京等(2014)于2007年在河北省和天津市的滨海重盐渍区广泛搜集野生优良怪柳个体,经过多年试验,优选培育出耐盐能力更强、成活率更高(98%以上)的“海怪1号”新品系。管博(2011)、于文胜等(2011)在黄河三角洲重度退化滨海湿地开展碱蓬、怪柳修复工程,分析了修复工程对土壤肥力、植物群落结构和生物量的改善和提高作用。孟焕等(2013)研究发现对香蒲、芦苇种子采用 $KMnO_4$ 和 $KNO_3$ 溶液浸泡再清洗的预处理方式可以

缩短出苗时间，提高发芽率，从而加速湿地植被修复进程。许妍（2016）对天津滨海新区芦苇湿地修复设想进行了适宜性评价，确定了适宜开展湿地修复的区域。郭岳等（2017）提出以植被修复为主，改善水文条件、土壤条件为辅的节水修复方法。

在红树林修复方面，研究人员从宜林界限（张乔民等，2001）、造林方式及成活率（林光平，2005；陈玉军等，2014）、适宜品种选取（刘荣成，2008；田广红等，2012；许方宏等，2013）等方面开展了研究，得到了许多重要的造林原则和经验。研究发现红树林的寒潮致死温度（刘亮等，2010）为 $-3^{\circ}\text{C}$ ，土壤含盐量不宜超过 $2.8\%$ （雷安平，2004），同时红树林能适应的日淹水时长不大于8小时。此外，不同红树品种的宜林潮位（何斌源，2009）有所差异，胚轴造林、容器苗造林、天然苗造林等红树林造林方法（莫竹承等，2001）适宜的品种和造林生境也有所不同。

为提高珊瑚虫成活率（Clark，2002；Precht，2006；李元超等，2008；2014），避免松散底质的影响，减少敌害生物的捕食，通常将珊瑚虫附着或移植至人工礁基上。研究者开展了造礁石珊瑚移植实验（陈刚等，1995）和珊瑚礁生态系统多样性的结构、功能与修复机制研究（于登攀等，1999）。李元超等（2014）初步评估了西沙赵述岛珊瑚礁生态修复效果，提出利用人工礁基作为造礁石珊瑚的培植基底有利于提高珊瑚礁三维结构的复杂性。海南三亚鹿回头湾海区开展的造礁石珊瑚移植实验表明，利用水泥板作固定基座，用水下胶粘剂固定珊瑚枝，移植1年后珊瑚礁存活率 $78.5\%$ 。不能存活的原因为群体死亡、群体脱落或波浪冲击导致基座翻倒。

#### 3.4 “十三五”海洋规划中三大海洋重点工程实施

“十三五”海洋规划总体思路强调的六项海洋重点工程中，“蓝色海湾”整治工程，“南红北柳”生态工程，“生态岛礁”修复工程密切联系我国生物海岸保护及修复。其中，“蓝色海湾”整治工程计划结合陆源污染治理，实施环境综合整治、退堤还海、清淤疏浚等措施，这些举措对修复和改善珊瑚礁生存环境尤其有利。“南红北柳”生态工程重点开展滨海湿地、河口湿地生态修复工程，在南方以种植红树林为主，海草、盐沼植物等为辅；北方以种植怪柳、芦苇、碱蓬为主，海草、湿生

草甸等为辅，加大生物海岸植被种植与修复。“生态岛礁”修复工程拟开展受损岛体、植被、岸线、沙滩及周边海域等修复，开展南沙岛礁生态保护区建设。

三大海洋重点工程契合了我国生物海岸的保护、治理和修复需求，其落实和推进有助于提高生物海岸在我国海岸线的占比，改善我国生物海岸质量。三大海洋重点工程推进以来，截至2017年已修复滨海湿地面积超过 $2\,000\text{ hm}^2$ （[http://www.xinhuanet.com/politics/2017-06/08/c\\_1121110216.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/2017-06/08/c_1121110216.htm)），据国家海洋局相关统计，期间共支持沿海各地累计修复岸线约 $190\text{ km}$ ，修复海岸带面积 $6\,500\text{ hm}^2$ ，修复沙滩面积 $1\,200\text{ hm}^2$ ，新建2个国家海洋自然保护区和59个国家海洋特别保护区。

## 4 我国典型生物海岸实地调研

为了解我国生物海岸现状及修复进展，评价现有修复举措的修复效果，于2017年7月—2018年8月先后对山东潍坊和日照怪柳岸线、上海草本岸线、广东汕头和汕尾红树林岸线以及徐闻珊瑚礁岸线进行了调研。通过实地调研并同地方管理局进行座谈交流对我国四类典型生物海岸进行了调研，调研地点和岸线类型如图3所示。在政策支持，尤其是三大海洋重点工程的支持下，调研地区的生物海岸得到了很好的保护和修复，取得了一定的成果，提高了海岸带生物覆盖率。图4为调研地点的实拍图，可以看出四类典型生物海岸调研区域在生态环境效益方面均取得明显改善。

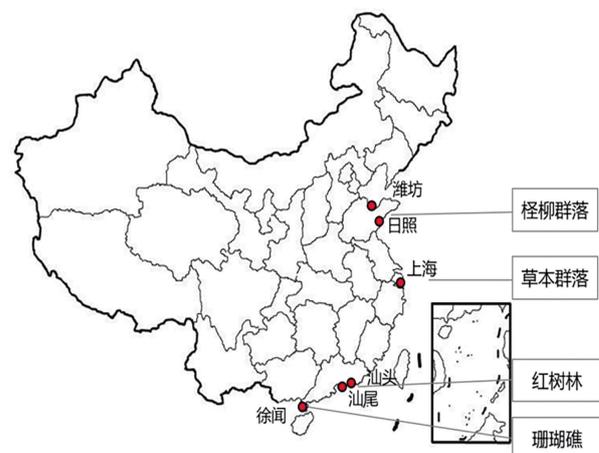


图3 我国四类典型生物海岸调研地点示意图

山东省广泛栽培怪柳,碱蓬、蒿草等草本植被伴生的怪柳群落有所增加,在日照海滨国家森林公园、万宝滨海风景区、任家台码头公园滨海休闲区的向海侧均试点种植了怪柳植被,昌邑海洋生态特别保护区自2007年成立以来,对保护区进行合理管护,并对区内怪柳、碱蓬等植物进行栽植修复,其中修复怪柳植被200 hm<sup>2</sup>以上,约为怪柳分布面积的10%。怪柳花期长、花簇艳丽,对盐碱地有一定的改善作用,生态环境效应极佳。调研区域对怪柳的推广种植,不仅起到了稳固沙滩、改善和美化山东滨海风景的作用,还积累了一些怪柳扦插经验。

崇明东滩鸟类国家级自然保护区主要生长有芦苇、糙叶苔草、互花米草、蔗草、海三棱蔗草等植物,通过人工干预,割除区内大部分互花米草,为本地植物品种创造了更多生存空间,同时,保护区管理局通过每年收割枯萎的芦苇,促使次年的芦苇生长更加旺盛(Hansson, 2004),对芦苇湿地起到了积极改善作用。九段沙湿地国家级自然保护区主要植物品种为海三棱蔗草和芦苇,保护区的设立极大地降低了人为干扰和破坏,在滩地持续发育淤长作用下,保护区植被覆盖面积正以每年210 hm<sup>2</sup>的速度增加。杭州湾是典型的深水湾,较深的水深和海浪作用不利于植物定植,为此,上海市在其辖区沿杭州湾北岸修建了一些人工隔坝,减小坝后潮水水深和能量,促使泥沙逐年淤积在坝后,为芦苇和互花米草等植被的生长和定植创造了条件。

汕头与汕尾红树林多为近十年来修复造林成果。汕头市95%的人工红树林集中种植于2003–2004年,种植面积约1700 hm<sup>2</sup>,分布于义丰溪口、六合围及湾头。汕尾市种植红树林较晚,多为2012–2016年种植,种植面积约70 hm<sup>2</sup>,主要分布于长沙湾内。调研区域采用的主要造林树种为引进品种无瓣海桑和拉贡木。这两种红树生长速度较快,汕头调研区域十余年生无瓣海桑树高达15 m左右,胸径16~32 cm,汕尾市梅海红树林种植的无瓣海桑树龄5~6年,树高达6 m,基径15 cm;5年生拉贡木树高3~4 m,郁闭度超过95%。短短几年间就形成茂密的红树林,整体修复效果较好,生态效果显著。

徐闻珊瑚礁国家级自然保护区位于雷州半岛的西南侧,保护区成立以来,开展了许多珊瑚礁研究工作以及珊瑚礁修复探索,仅2014–2015年间,建立珊瑚人工生态礁投放与生态修复实验区60亩,珊瑚移植试验区20亩,投放人工生态礁220个,移植种植珊瑚1200株,培育珊瑚幼苗10000株,对我国珊瑚礁保护和修复做出了重要贡献。由图4可见,保护区海水蔚蓝澄澈,沙滩洁净平坦,沙粒中夹杂着许多珊瑚碎块,景色甚是怡人,很好地保护了当地环境。

在了解四类生物海岸现状和修复成果的同时,也发现了目前我国生物海岸修复中存在的一些问题以及一些亟待攻破的难点。例如,开展红树林修复时,植物品种选取单一,为取得快速成效,大量种



昌邑海洋生态特别保护区怪柳



日照海滨国家森林公园怪柳



崇明东滩芦苇湿地



金山区互花米草岸线



汕头红树林湿地修复工程



汕尾梅海红树林



徐闻珊瑚礁国家级自然保护区



徐闻珊瑚礁国家级自然保护区

图4 四类典型生物海岸实拍图

植引进无瓣海桑和拉贡木,虽然见效很快,但长远来说,会形成单一优势群落,降低物种多样性,不利于整个生态系统的恢复和发展。又如,珊瑚虫的固着存活是人工修复珊瑚礁的一大难题,在极端海洋水动力作用下,新投放的人工生态礁常常出现倾覆,甚至完全被海水裹挟的泥沙覆盖,导致珊瑚虫死亡,修复效果甚微。

## 5 结论与展望

生物海岸具有较高的生态、旅游、渔牧以及科研价值,在提供滨海生物栖息地、提高生物多样性、维持生态平衡,保护海岸线稳定,减少和避免岸线侵蚀,抵御海洋灾害以及提供旅游观光和休闲场所等方面发挥着重要作用。本文对我国生物海岸的主要生物类型进行整理,认为怪柳群落、草本群落、红树林和珊瑚礁是我国四类典型生物海岸,并介绍了四类岸线生物组成、生态位特征以及分布区域等概况。

从 20 世纪 50 年代起长达五六十年的人为破坏和侵占,加之自然灾害的影响和损毁,我国生物海岸总量和占比都大幅下降。与此同时,生物海岸保护和修复相关探索研究也不断推新:我国陆续建立四类生物海岸自然保护区约 55 个;制定了《中华人民共和国海洋环境保护法》和《海岸线保护与利用管理办法》等法律法规,并于 2017 年 11 月 5 日起实行严格的海洋环境保护制度;适生品种优选培育、红树林造林方法、珊瑚礁人工移植试验等生物海岸修复相关研究不断推新;“十三五”三大重点海洋工程稳步推进和实施。在这些举措的综合作用下,我国生物海岸得到了很好的保护和修复,现分布有滨海怪柳群落 7.9 万  $\text{hm}^2$ ,滨海草本群落 16.8 万  $\text{hm}^2$ ,红树林 2.8 万  $\text{hm}^2$ ,珊瑚礁 378.6 万  $\text{hm}^2$ 。

从四类生物海岸的调研结果来看,我国生物海岸修复已进入快速发展阶段,调研点生物海岸的生态环境作用、保滩护岸作用、旅游休闲价值极高,修复效果显著。尽管我国生物海岸修复速度很快,为了保证生物海岸修复的长效性和功用性,还需要加强和重视以下几点:

(1) 做好前期调研,掌握基本情况。在开展生物海岸修复前,要明确岸线段原有植被群落类型,了解其破坏原因,调查岸线段土壤、水文和海洋水

动力环境等因素,以便为修复规划和实施方案提供科学依据。

(2) 注重因地制宜,提高长期修复成效。我国海岸线纬度跨度大,潮间带宽度范围内土壤特性和海洋水动力特性差异也很大,不同的区块适宜生长的植物种类不同,因地制宜地选择修复品种,采用相应的优化建植技术才能最大程度地体现修复效果。同时,引进品种虽然成林速度快,但也要综合考虑长远生态效应和海岸带物种多样性,使得修复生物海岸在数十年后达到较高的物种丰度,成为具备良好自我更新修复能力的完整生态系统。

(3) 提倡自然恢复,配以人工辅助。除生物岸线破坏程度较大,生态系统本身的恢复能力不足的情况外,应大力提倡自然恢复为主,人为修复为辅的修复理念,减少破坏区域的人为干扰及环境压力,提升生态系统自我恢复能力。

(4) 重视长期管护,保护修复成果。生物海岸修复不可能一劳永逸,需要在修复过程中及修复后长时期的管理维护,如采取临时工程措施消减风暴潮期间浪、流对植物的侵袭,适当浇水、喷施药物等提高植被存活率。当环境因素改变不利于植被生长时,采取缓解措施,适时补种,可避免修复植被大量死亡的情况。对于珊瑚礁修复工程,要重视人工生态礁材料选择和结构设计,优选适宜礁体投放区域,以提高人工生态礁的稳定性,同时,还要注重修复海域水质的长期管控和修复效果监测。在生物海岸修复岸段合理布设长期生态监测系统,用于评估其生长状态和综合成效。

(5) 提升修复实效,注重经济价值转化。我国在生物海岸修复相关三大海洋重点工程中投入了大量的人力物力,应当注重适当发挥经济价值,回收资金,如设立旅游观光区,将生物海岸资源转化为经济价值,进一步用于管护岸线修复成果。

(6) 加强科研突破,实现成果转化。对重盐碱地改造、适生植被培育、珊瑚礁移植和繁育等重难点紧迫问题,鼓励开展更多的研究,找到更优的品种和更有效的修复方法,开展原型试验测试研究成果,稳步实现成果转化。

## 参 考 文 献

- Burke L, Selig E, Spalding M, et al, 2002. Reefs at Risk in South East Asia.
- Clark J R, 1996. Coastal zone management handbook. Lewis Publishers.

- Clark S, 2002. Handbook of ecological restoration, volume 2: restoration in practice. Cambridge: Cambridge University Press, 599.
- Costanza R, D'Arge R, Groot R D, et al, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *World Environment*, 387(1): 3-15.
- Hansson P, Fredriksson H, 2004. Use of summer harvested common reed (*Phragmites australis*) as nutrient source for organic crop production in Sweden. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 102(3): 365-375.
- Hodgson G, Yau E P M, 1997. Physical and biological controls of coral communities in Hong Kong//Proceedings of the Eighth International Coral Reef Symposium. Smithsonian Institution Press, Balboa, Panama, 459-461.
- Hogarth P J, 1999. The biology of mangroves. *Florida Entomologist*, 84(3): 459.
- Luzhen, Chen, W. Wenqing, L. Peng, 2005. "Photosynthetic and physiological responses of *Kandeliacandel* L. Druce seedlings to duration of tidal immersion in artificial seawater." *Environmental and Experimental Botany* 54.3, 256-266.
- Precht W F, 2006. Coral reef restoration handbook. Boca Raton: CRC Press, 363.
- Zhang Q M, 2004; 国家海洋局 908 专著
- 曹磊, 2014. 山东半岛北部典型滨海湿地碳的沉积与埋藏. 青岛: 中国科学院研究生院(中国科学院海洋研究所).
- 陈刚, 熊仕林, 谢菊娘, 等, 1995. 三亚水域造礁石珊瑚移植试验研究. *热带海洋学报*, (3): 51-57.
- 陈玉军, 廖宝文, 李玫, 等, 2014. 高盐度海滩红树林造林试验. *华南农业大学学报*, (2): 78-85.
- 但新球, 廖宝文, 吴照柏, 等, 2016. 中国红树林湿地资源、保护现状和主要威胁. *生态环境学报*, 25(7): 1237-1243.
- 邓伟, 白军红, 2012. 典型湿地系统格局演变与水生态过程——以黄淮海地区为例. 北京: 科学出版社.
- 范航清, 2000. 红树林: 海岸环保卫士. 南宁: 广西科学技术出版社.
- 傅秀梅, 邵长伦, 王长云, 等, 2009. 中国珊瑚礁资源状况及其药用研究调查 II. 资源衰退状况, 保护与管理. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 39(4): 685-690.
- 高义, 王辉, 苏奋振, 等, 2013. 中国大陆海岸线近 30a 的时空变化分析. *海洋学报*, 35(6): 31-42.
- 关洪斌, 王晓兰, 鞠迪, 2009. 柽柳对滨海盐渍土的改良作用及其应用. *资源开发与市场*, 25(10): 918-921.
- 管博, 于君宝, 陆兆华, 等, 2011. 黄河三角洲重度退化滨海湿地盐地碱蓬的生态修复效果. *生态学报*, 31(17): 4835-4840.
- 郭庆梅, 孙稚颖, 李佳, 等, 2011. 黄河三角洲湿地(东营)药用植物群落调查. *国土与自然资源研究*(1): 93-94.
- 郭岳, 徐清馨, 佟守正, 等, 2017. 黄河三角洲滨海湿地退化原因分析及生态修复. *吉林林业科技*, 46(5).
- 国家海洋局, 1996. 中国海洋 21 世纪议程行动计划. 30-35.
- 何斌源, 2009. 全日潮海区红树林造林关键技术的生理生态基础研究. 厦门: 厦门大学.
- 何克军, 林寿明, 林中大, 2006. 广东红树林资源调查及其分析. *林业与环境科学*, 22(2): 89-93.
- 何秀平, 2014. 柽柳对滨海湿地土壤理化性质的影响. 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所.
- 胡亚斌, 2016. 台湾岛海岸线遥感提取与 35 年来演变特征分析. 内蒙古: 内蒙古师范大学.
- 黄晖, 董志军, 练健生, 2008. 论西沙群岛珊瑚礁生态系统自然保护区的建立. *热带地理*, 28(6): 540-544.
- 黄晖, 尤丰, 练健生, 等, 2012. 海南岛西北部海域珊瑚礁造礁石珊瑚种类组成与分布. *海洋科学*, 36(9): 64-74.
- 姜峰, 陈明茹, 杨圣云, 2011. 福建东山造礁石珊瑚资源现状及其保护. *资源科学*, 33(2): 364-371.
- 雷安平, 唐旭蔚, 2004. 不同盐度对红树林植物—秋茄的胚轴生长发育的影响. *广西林业科学*, 33(3): 124-125.
- 李春干, 2004. 广西红树林的数量分布. *北京林业大学学报*, 26(1): 47-52.
- 李诗华, 2018. 滨海湿地本土和外来植物对淹水与盐度胁迫的生理生态响应. 上海: 华东师范大学.
- 李艳红, 韩美, 张维英, 2003. 山东省寿光市湿地保护与可持续开发利用. *国土与自然资源研究*(2): 63-65.
- 李元超, 兰建新, 郑新庆, 等, 2014. 西沙赵述岛海域珊瑚礁生态修复效果的初步评估. *应用海洋学报*, 33(3): 348-353.
- 李元超, 黄晖, 董志军, 等, 2008. 珊瑚礁生态修复的研究进展. *生态学报*, 28(10): 1-8.
- 李长明, 叶小齐, 吴明, 等, 2015. 水深及共存对芦苇和香蒲生长特征的影响. *湿地科学*, 13(5): 609-615.
- 梁华, 1998. 澳门红树林植物组成及种群分布格局的研究. *生态科学*(1): 25-31.
- 梁维平, 黄志平, 2003. 广西红树林资源现状及保护发展对策. *林业调查规划*, 28(4): 59-62.
- 林光平, 2005. 秋茄红树林造林技术. *林业科技通讯*(1): 17-18.
- 林和山, 陈本清, 许德伟, 等, 2012. 基于 PSR 模型的滨海湿地生态系统健康评价——以辽河三角洲滨海湿地为例. *应用海洋学报*, 31(3): 420-428.
- 刘春悦, 张树清, 江红星, 等, 2009. 江苏盐城滨海湿地景观格局时空动态研究. *国土资源遥感*, 3(81): 78-83.
- 刘亮, 范航清, 2010. 红树林宜林因子研究. *湿地科学与管理*, 6(2): 57-60.
- 刘荣成, 2008. 红树林造林树种的选择——以洛阳江湿地为例. *福建林业科技*, 35(1): 231-234.
- 刘婷, 刘兴土, 杜嘉, 等, 2017. 五个时期辽河三角洲滨海湿地格局及变化研究. *湿地科学*, 15(4): 622-628.
- 刘小京, 张秀梅, 孙焕荣, 等, 2014. 滨海重盐碱地园林绿化用柽柳良种“海怪 1 号”. *林业科学*, 50(11): 208-208.
- 孟焕, 王雪宏, 佟守正, 等, 2013. 预处理方式对香蒲和芦苇种子萌发的影响. *生态学报*, 33(19): 6142-6146.
- 莫竹承, 范航清, 2001. 红树林造林方法的比较. *广西林业科学*, 30(2): 73-75.
- 宋朝景, 赵焕庭, 王丽荣, 2007. 华南大陆沿岸珊瑚礁的特点与分析. *热带地理*, 27(4): 294-299.
- 宋金明, 1999. 维持南沙珊瑚礁生态系统高生产力的新观点——拟流

- 网理论. 海洋科学集刊(00): 83-89.
- 宋香静, 李胜男, 韦玮, 等, 2017. 不同盐分水平对中国柽柳和甘蒙柽柳根系生长及生理特性的影响. 生态学杂志, 36 (10): 2759-2767.
- 索安宁, 赵冬至, 高树岗, 2009. 基于本底格局的鸭绿江口滨海湿地景观破碎化评价. 生态与农村环境学报, 25(3): 6-10.
- 谭清梅, 刘红玉, 张华兵, 等, 2013. 基于遥感的江苏省滨海湿地景观植被覆盖度分级研究. 遥感技术与应用, 28(5): 934-940.
- 田广红, 李玫, 杨雄邦, 等, 2012. 珠海淇澳岛红树林引进树种的适应性评价. 福建林业科技, 39(1): 104-107.
- 王立宝, 2003. 河北省南大港湿地生态系统植被生态及芦苇生物量的研究. 石家庄: 河北师范大学.
- 王平, 刘京涛, 朱金方, 等, 2017. 黄河三角洲海岸带湿地柽柳在干旱年份的水分利用策略. 应用生态学报, 28(6): 1801-1807.
- 王平, 刘京涛, 朱金方, 等, 2017. 黄河三角洲海岸带湿地柽柳在干旱年份的水分利用策略. 应用生态学报, 2017, 28(6): 1801-1807.
- 吴培强, 2012. 近 20 年来我国红树林资源变化遥感监测与分析. 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所.
- 吴统贵, 2009. 杭州湾滨海湿地植被群落演替及优势物种生理生态学特征. 北京: 中国林业科学研究院.
- 肖锐, 2017. 近三十五年中国海岸线变化及其驱动力因素分析. 上海: 华东师范大学.
- 辛欣, 宋希强, 雷金睿, 等, 2016. 海南红树林植物资源现状及其保护策略. 热带生物学报, 7(4): 477-483.
- 徐梦辰, 刘加珍, 陈永金, 2015. 黄河三角洲湿地柽柳群落退化特征分析. 人民黄河, 37(7): 85-89.
- 徐益力, 2010. 杭州湾滨海湿地鸟类现状和资源保护对策研究. 杭州: 浙江农林大学.
- 许方宏, 吴晓东, 陈粤超, 等, 2013. 雷州半岛前沿恶劣潮间滩涂红树林造林树种的选择. 防护林科技(6): 7-9.
- 许妍, 许自舟, 梁斌, 等, 2016. 天津市滨海新区芦苇湿地恢复适宜性评价. 海洋科学, 40(3): 101-107.
- 杨凡, 2005. 海南省珊瑚礁资源的保护. 全国海洋高新技术产业化论坛.
- 杨磊, 李加林, 袁麒麟, 等, 2014. 中国南方大陆海岸线时空变迁. 海洋学研究, 32(3): 42-49.
- 杨盛昌, 陆文勋, 邹祯, 等, 2017. 中国红树林湿地: 分布、种类组成及其保护. 亚热带植物科学, 46(4): 301-310.
- 姚晓静, 高义, 杜云艳, 等, 2013. 基于遥感技术的近 30a 海南岛海岸线时空变化. 自然资源学报, 28(1): 114-125.
- 叶功富, 谭芳林, 罗彩莲, 等, 2010. 泉州湾河口湿地景观格局变化研究. 湿地科学, 8(4): 360-365.
- 于登攀, 邹仁林, 1999. 海南鹿回头岸礁造礁石珊瑚群落结构动态 II. 物种多样性. 生物多样性, 7(3): 207-207.
- 于文胜, 王远飞, 梁玉, 等, 2011. 黄河三角洲湿地植被演替规律及生态修复效果研究. 山东林业科技, 41(2): 31-34.
- 余克服, 蒋明星, 程志强, 等, 2004. 涠洲岛 42 年来海面温度变化及其对珊瑚礁的影响. 应用生态学报, 15(3): 506-510.
- 张衡, 何文珊, 童春富, 等, 2007. 崇西湿地冬季潮滩鱼类种类组成及多样性分析. 长江流域资源与环境, 16(3): 308-308.
- 张乔民, 隋淑珍, 张叶春, 等, 2001. 红树林宜林海洋环境指标研究. 生态学报, 21(9): 1427-1437.
- 张乔民, 隋淑珍, 2001. 中国红树林湿地资源及其保护. 自然资源学报, 16(1): 28-36.
- 张乔民, 余克服, 施祺, 等, 2006. 中国珊瑚礁分布和资源特点. II 提高全民科学素质, 建设创新型国家——2006 中国科协年会论文集(下册).
- 张乔民, 余克服, 施祺, 等, 2014. 中国珊瑚礁研究的几个问题// 南海资源环境与海疆权益学术研讨会、海峡两岸地貌学研讨会暨中国第四纪研究会海岸海洋专业委员会、中国地理学会海洋地理专业委员会 2014 联合学术年会.
- 张乔民, 张叶春, 1997. 华南红树林海岸生物地貌过程研究. 第四纪研究, 17(4): 344-353.
- 张乔民, 2001. 我国热带生物海岸的现状与生态系统的修复与重建. 海洋与湖沼, 32(4): 454-464.
- 张伟强, 黄镇国, 1996. 台湾的红树林及其环境意义. 热带地理, 16(2): 97-106.
- 张伟, 2016. 广东水东湾红树林立地类型划分与评价. 长沙: 中南林业科技大学.
- 张绪良, 张朝晖, 徐宗军, 等, 2012. 黄河三角洲滨海湿地植被的碳储量与固碳能力. 安全与环境学报, 12(6): 145-149.
- 张绪良, 张朝晖, 徐宗军, 等, 2012. 黄河三角洲滨海湿地植被的碳储量与固碳能力. 安全与环境学报, 12(6): 145-149.
- 张韵, 2013. 三沙湾湿地主要植被的固碳能力及修复进展研究. 青岛: 中国海洋大学.
- 赵焕庭, 王丽荣, 宋朝景, 2006. 徐闻县西部珊瑚礁的分布与保护. 热带地理, 26(3): 202-206.
- 赵焕庭, 张乔民, 宋朝景, 等, 1999. 华南海岸和南海诸岛地貌与环境. 北京: 科学出版社, 373-378.
- 赵焕庭, 1998. 中国现代珊瑚礁研究. 世界科技研究与发展, (4): 98-105.
- 赵美霞, 余克服, 张乔民, 2006. 珊瑚礁区的生物多样性及其生态功能. 生态学报, 26(1): 186-194.
- 赵玉灵, 2017. 广东省海岸线与红树林现状遥感调查与保护建议. 国土资源遥感, 29(b10): 114-120.
- 郑坚, 陈秋夏, 王金旺, 等, 2011. 浙江滨海红树林湿地现状及区域功能调查研究初报. 浙江农业科学, 1(2): 291-295.
- 周红英, 姚雪梅, 黎李, 等, 2017. 海南岛周边海域造礁石珊瑚的群落结构及其分布. 生物多样性, 25(10): 1123-1130.
- 宗敏, 2017. 黄河三角洲滨海湿地优势植被群落潜在分布模拟及空间优化配置. 烟台: 鲁东大学.
- 邹仁林, 1994. 中国珊瑚礁的现状与保护对策. 首届全国生物多样性保护与持续利用研讨会.

(本文编辑: 崔尚公)