我国海洋生态修复现状、存在的问题及展望*

姜欢欢[1,2]，温国义[1,2]，周艳荣[1,2]，吕则和[1,2]，谢　冕[1,2]

（1. 国家海洋局北海环境监测中心　青岛　266033；2. 国家海洋局海洋溢油鉴别与损害评估技术重点实验室　青岛　266033）

摘　　要：由于海洋生态环境的问题日益突出及生态系统退化的趋势日益严重，海洋生态系统的修复与重建引起国内外专家的关注，与国外相比，国内海洋生态修复的研究比较薄弱。文中重点阐述了我国典型的海洋生态系统修复，总结我国海洋生态修复存在的问题，为保护海洋生态系统，开展海洋生态修复理论与实践研究，编制典型的海洋生态系统修复技术指南，制订海洋生态修复战略方案。

关　键　词：海洋；生态修复；问题；展望

海洋是最具价值的生态系统之一，是人类赖以生存和发展的宝贵财富和最后空间。随着我国海洋经济的发展，开发利用海洋的活动日益增多，导致了我国近海海域污染日益严重，我国海域海洋生态环境将面临前所未有的威胁和破坏。海岸带作为人类开发利用海洋的密集区，海岸带开发活动的不断加剧，自然资源的消耗速度也急剧加快，从而引发了海洋环境恶化、红树林消失、滨海湿地萎缩、生物多样性下降等一系列的生态退化问题，已严重威胁到海岸带地区经济的可持续发展。海洋生态退化已成为当前重点关注的生态问题之一，海洋生态系统的保护与修复研究已成为国际上生态学研究的热点。

1　海洋生态修复的定义及内涵

海洋生态修复是指利用大自然的自我修复能力，在适当的人工措施的辅助作用下，使受损的生态系统恢复到原有或与原来相近的结构和功能状态，使生态系统的结构、功能不断恢复。

按照生态修复措施的人工干扰程度，一般将海洋生态修复划分为三大类即自然生态修复、人工促进生态修复及生态重建。自然生态修复是利用相应的措施消除压力，降低生态系统退化的速度，从而使生态系统恢复。人工促进生态修复是在生态系统自我修复能力的基础上，结合物理、化学、生物等人为干扰措施促进生态系统的恢复。

当生态系统完全退化或丧失时，采用相应的措施重建新的生态系统的过程叫做生态重建，还包括重建某区域没有的生态系统的过程。生态修复是生态系统自我恢复、发展和提高的过程，在生态修复中，生态系统的结构及其群落由简单向复杂、由单功能向多功能转变。生态修复并不是对某个物种的简单修复，而是对生态系统的结构、功能、生物多样性和持续性等进行的全面有效恢复，因此生态修复过程应该尽可能地减少人为的干扰措施，让生态系统的自然调节、恢复和进化功能充分发挥。

2　国内外研究现状

20 世纪 50—60 年代，欧洲、北美、中国等都注意到各自的环境问题，并开展了一些环境恢复和治理工程，获得了一定的成效。从 70 年代开始，国内外近 40 年的生态恢复研究主要涉及森林、农田、草原、荒漠、河流、湖泊和废弃矿地等。与陆域生态修复相比，海洋生态修复的研究起步较晚。但近些年来，由于海洋生态环境问题的日益突出以及生态系统退化趋势日益严重，海洋生态系统的恢复与重建受国内外的关注，国内外已开展了大量的海洋生态修

* **基金项目**：海洋公益性行业科研项目（201005009）.

复研究与实践。从生态修复的研究尺度看，海洋生态修复的研究已从特定的物种或单个生态系统的生态修复工程逐渐向大尺度的生态修复转变，如加利福尼亚 South Bay、佛罗里达湿地、Louisiana 滨海湿地等修复项目，这些项目从生态修复目标的制定、修复技术、监测与评估等方面进行了系统的分析研究，并涉及了多个不同生态系统类型的修复。在海洋生态修复的研究内容方面，从生态修复技术措施的单方面向系统化研究，涉及生态修复的监测与评估、生态修复方法措施和生态修复管理等。NECKLES 等[1]基于一系列主要的生态系统结构参数，提出了适合于任何盐沼生态修复工程的监测方案，以及提出了个别修复工程的生态系统功能监测方案。NIENHUIS 等[2]总结了荷兰过去 25 年生态修复的成效。CHAPMAN 等[3]介绍了墨西哥北部海湾的海岸生境修复的进展。BOESCH[4]介绍了生态系统管理在 Chesapeake Bay 和 Coastal Louisiana 生态修复中的科学原则，并提出了生态系统管理在生态修复中应用的几点建议。

3 我国典型的海洋生态系统修复

我国海洋生态修复的研究主要集中于红树林修复、富营养水体污染生态修复及少量滨海湿地、海岸沙滩修复工程等。与国外相关国家相比，国内海洋生态修复的研究还比较薄弱，主要表现在以下两个方面：① 从研究对象上看，主要集中在红树林种植、污染水体的修复，而对其他海洋生态系统类型、生态问题的修复研究比较少；② 从生态修复的尺度来看，主要集中于对单个生态系统、群落或物种的修复，目前尚未开展区域或大尺度的海洋生态修复的研究与实践活动。

3.1 红树林生态修复

由于人为的干扰和破坏，我国红树林面积锐减，残存的红树林中有许多处于退化状态。1956 年我国的红树林面积为 4 万～4.2 万 hm^2，1986 年锐减为 21 283 hm^2，到了 90 年代初仅余 15 122 hm^2[5-6]。

近年来，红树林的保护引起了足够的重视，相继建立了多个红树林自然保护区，如深圳福田国家自然保护区、淇澳红树林保护区、湛江红树林国家级自然保护区等，相继种植了大面积的红树林，截至 2001 年我国的红树林恢复至 22 024.9 hm^2。但是，我国红树林的人工种植仍然存在不少问题，主要是造林成活率低下，福建省同安县 1961 年人工造红树林 824 hm^2，5 年后成活率只有 31.2%；浙江省温州地区 1958—1966 年人工引种红树林 533 hm^2，成活 300 hm^2，但由于人为破坏和自然灾害的因素，最终存活不到 1.6%[7]。

红树林生态修复是我国海洋生态修复研究与实践较多的生态修复类型之一，在生态修复技术上已有较为成熟的经验，但仍缺乏系统的红树林生态修复研究，其存在的问题主要有：红树林修复项目的目标不明确，即使制定了修复目标，但大多仅是定性描述，在实施过程中，无法评估生态修复的效果；开展相关的生态修复工程对生态环境产生一定的影响，跟踪监测和评价工作不能及时开展，从而难以判断红树林生态修复的过程是否与生态修复目标相一致；国内大多认为主要靠人工种植红树林的方式达到生态修复的目的，却忽略了红树林的自然修复。因此，在生态修复方案设计过程中，应分析红树林自然修复的可行性，不能一味地进行人工红树林的种植。

3.2 滨海湿地生态修复

近年来，我国滨海湿地的保护和恢复受到越来越多的关注，相关的实践研究逐渐增多。李甲亮等[8]综述了滨海区污水人工湿地处理对滨海湿地生态系统的修复研究，即人工湿地处理去除 BOD、氮、磷等污染物，通过形成淡水帷幕控制海水入侵危害。刘荣成等[9]提出了泉州湾滨湿地生态恢复的有效措施，即恢复红树林植被、保护水禽栖息环境、建立湿地自然保护区及加强污染治理等，并提出滨海湿地生态重建的对策。杨静等[10]指出影响七里海潟湖演变的主要因素，并认为拆除七里海防潮闸堤、恢复七里海潟湖水面、加强保护区的建设、发展旅游观光业和新型农业是七里海潟湖生态修复的重要措施。张婧[11]分析了胶州湾娄山河口

湿地的生态破坏状况及其附近海域污染物的排放和白泥淤积的分布现状，从清除淤积和治理污染两个角度分别制订了生态修复方案。

总体上看，我国滨海湿地的修复研究与实践尚处于起步阶段，尤其尚未开展较大尺度的滨海湿地修复项目，缺少实践验证。

3.3　富营养化海湾水体生态修复

随着沿海地区社会经济的发展，城市化和工业化进程不断加快，陆源入海污染源、海上污染源使沿海区域水体受到严重污染，造成水质恶化，尤其是营养盐负荷的增加造成水体富营养化。国内外开展了许多海域富营养化修复的理论与实践研究工作，修复技术包括了物理、生物、化学等，主要集中在大型海藻对水体富营养化的研究，藻类的去除与其生长的控制措施是富营养化水体修复研究的重点。近年来，我国学者也开展了很多水体富营养化的修复研究，并进行了海藻吸收营养盐的试验，黄道建等[12]通过比较几种大型海藻在生长旺盛时期体内的总氮和总磷含量，筛选出石莼和羽藻作为近海富营养化水体环境修复的优选海藻；徐永建等[13]在福建东山岛开展了网箱养殖区富营养化的植物修复研究，在两个网箱养殖海区利用龙须菜进行修复研究；林贞贤等[14]综述了规模化栽培大型海藻对富营养化海湾生物修复的研究。

3.4　海岛生态修复

近年来，我国对海岛生态修复开展了一些研究与实践，例如南澳岛生态修复、厦门猴屿生态修复等，其中南澳岛生态修复研究较为系统，其涉及了外来入侵种控制、植被修复、海岛土壤修复等方面。任海等[15]从海岛的干扰、海岛恢复的限制性因子、恢复的利益等方面较系统地阐述了海岛恢复的理论。廖连招[16]通过对厦门无居民海岛猴屿的生态退化诊断和生态修复制约因子分析，提出了生物与工程技术相结合的生态修复措施。周厚诚等[17]采用时空互代法研究南澳岛植被恢复过程中不同阶段土壤变化，结果表明，南澳岛在植被恢复过程中土壤结构和营养得到改善。李萍等[18]通过在南澳建立次生草坡对照及草坡种植试验样地，观测群落植物多样性、土壤肥力及生物量变化，探讨海岛退化草坡的植被恢复过程。虽然我国对海岛生态修复的研究取得了一定的成效，但是相关的研究主要集中在对本地物种（尤其是植被）的修复，而对于外来物种入侵等其他生态问题修复的研究相对薄弱。

3.5　沙滩修复

我国的大陆海岸线长 1.8 万 km 余，沙砾质海岸相对较少。沙砾主要来自河流、海岸和海岛的侵蚀，波浪冲击作用引起沿岸漂沙，加上河水流动与潮流的作用使沙滩泥沙保持了平衡。但是，由于人类活动的不断加剧，我国海滩严重侵蚀，王颖等[19]按海面上升 50 cm 对我国东部重要海滨旅游海滩影响的理论计算表明：自然淹没和海滩侵蚀的累计损失率最高达到 59.6%，平均为 23.9%，其中海南岛大东海、亚龙湾和三亚湾 3 个旅游海滩的损失率平均为 36.5%，海岸线后退 16.7 m，海滩在自然淹没、海岸侵蚀的影响下损失的总面积达 1 091 583 m^2。

我国海岸沙滩的修复研究起步较晚，最早的海滩修复在香港南岸浅水湾，1990 年，香港岛南岸的浅水湾进行了填沙补滩工程，以扩大海滩宽度，共填沙 20 万 m^3，来自于 16 km 以外的海底，挖沙后，用海底管道输至浅水湾。目前我们研究的内容主要涉及沙滩修复选址、海岸沙滩修复的技术等，对于海岸沙滩修复的跟踪监测、沙滩修复的生态影响、成效评估等研究较为薄弱。例如，南京大学海岸与海岛开发教育部重点实验室于 20 世纪 90 年代设计的三亚小东海与鹿回头湾人工海滩，其海滩长宽比为 2∶1～4∶1，铺沙范围介于－1.0～2.5 m，人工海滩填沙选用三亚市以西 30 km 处粒径为 1～2 mm 的天然老沙坝沙[20]。厦门岛东北部海滩回填重塑研究，在对海滩改造评价的基础上，对海滩平衡、上下限调和，回填宽度、长度和坡度，填沙量等进行了研究，提出了相应的海滩改造参数[21]。

3.6　珊瑚礁生态修复

在 2004 年的世界珊瑚礁调查报告中指出全世界有超过 20%的珊瑚礁被彻底破坏，并且没有进行积极有效的珊瑚礁生态修复工作，因此

珊瑚礁的修复成为我们关注的问题之一。当前，主要通过珊瑚移植、人工造礁、底质稳固、幼体附着等方式完成珊瑚礁的修复，其中珊瑚移植是修复珊瑚礁的主要手段。

相比国际的珊瑚礁修复研究，我国尚处于起步阶段。目前，我国对珊瑚礁的保护主要体现在珊瑚礁保护区的建立，如海南三亚珊瑚礁自然保护区、福建东山珊瑚礁自然保护区、广东徐闻珊瑚礁自然保护区等。1995 年陈刚在三亚海域对造礁石珊瑚进行了移植实验，这是我国最早的珊瑚礁恢复性研究。此后，中科院南海海洋研究所和中国水产科学研究院南海水产研究所于 2006 年和 2007 年对大亚湾的珊瑚礁进行了成功的移植[22]。全球珊瑚礁生态系统的衰退以及珊瑚礁自然恢复需要很长时间，目前几乎没有珊瑚礁的修复程度能达到按照结构和功能恢复的最终成效[23]。

4 我国海洋生态修复存在的问题

近年来，我国在海洋生态修复方面开展了一些研究工作，并取得了一定的成效，但在海洋生态修复及相关研究中存在以下 5 个问题。

(1) 主要集中在对生态修复技术措施的研究，而对于生态修复的其他环节，如退化诊断、生态修复监测、生态修复效果评估及修复管理等方面的研究相对较少。

(2) 海洋生态修复主要以人工修复为主，忽略了生态系统的自我修复能力，侧重于对生态系统结构的修复，忽视了对生态系统功能的修复。

(3) 生态修复研究大多停留在小尺度、局部区域范围内或集中于某一生物群落或物种，缺乏从整体生态系统水平、大尺度的生态修复研究。

(4) 生态修复侧重于对生态退化的末端治理，而从生态系统退化的源头出发进行生态修复的研究尚少。

(5) 生态修复目标不明确、不切合实际，缺乏明确的和定量的生态修复评价标准，对生态退化机理的了解不够。

5 讨论与展望

海洋生态系统与陆域生态系统的修复存在着许多相似之处，但由于海洋生态系统的复杂性及特殊性，海洋生态修复呈现出明显的差异。因此，在制订海洋生态修复方案及实施过程中，应着重注意以下几个方面。

(1) 系统地开展海洋生态修复实践与研究，即海洋生态调查、退化诊断与分析、生态修复措施、生态修复跟踪监测、成效评估和管理等整个修复过程的系统研究。

(2) 由于海洋生态系统与陆域生态系统的相互关联关系，对海洋生态的修复不能仅局限于海域范围，应将陆域和海域作为一个整体进行研究，消除生态退化的根源。

(3) 海洋生态修复的关键措施需要不同利益相关者的合作与理解，需要当地政府、科学工作者、民众等方面的充分合作。

我国海洋生态修复的研究发展还面临较多的问题，笔者认为目前我国海洋生态修复研究的工作重点应包括以下几个方面。

(1) 选取典型示范区，系统地开展海洋生态修复理论、实践、评估研究。

(2) 总结国内外典型海洋生态系统的修复经验，编制各典型海洋生态系统修复技术指南。

(3) 从全国、全省或区域尺度制订海洋生态修复战略方案。

参考文献

[1] NECKLES H A, DIONNE M, BURDICK D M, et al. A monitoring protocol to assess tidal restoration of salt marshes on local and regional scales[J]. Restoration Ecology, 2002, 10(3): 556－563.

[2] NIENHUIS P H, GULATI R D. Ecological restoration of aquatic and semi-aquatic ecosystem in the Netherlands: an introduction [J]. Hydrobiologia, 2002, 478: 1－6.

[3] CHAPMAN P, REED D. Advances in coastal habitat restoration in the northern Gulf of Mexico [J]. Ecological Engineering, 2006, 26(3): 1－5.

[4] BOESCH D F. Scientific requirements for ecosystem-based management in the restoration of Chesapeake Bay and Coastal Louisiana [J]. Ecological Engineering, 2006, 26(6): 6－26.

[5] 郑德璋，李玫，郑松发，等. 中国红树林恢复和发展研究进展[J]. 广东林业科技，(下转至第 112 页)

如高尔夫、“香港－三亚”国际帆船赛、“中国铁人三项赛”等精品赛事，吸引世界各地区优秀选手参加，扩大其影响力。大力打造体育运动文化产业品牌。

4.4.4 打造休闲娱乐文化产业品牌

海南美丽的风光，独特的气候，吸引了国内外游客流连忘返。尤其是在冬季，海南成为我国北方人们休闲度假的首选。很多人喜欢冬天到海南居住，春天来了再回北方居住，像候鸟一样往返于南北，这为海南发展休闲娱乐文化产业提供了条件。可以建造具有娱乐功能的各式各样的休闲度假村，让人们在尽情享受自然风光、太阳浴、海水浴之后，还能观看各种演出、赛事以及参与性娱乐活动。使得休闲娱乐文化产业也能成为品牌。

5 结束语

综合上述，海南旅游岛建设应以文化产业为支撑。文化产业发展需要人才做保障，加快人才的培养，提高人才的自给能力，增加高校文化专业和扩大文化专业招生，办好文化艺术院校，同时鼓励社会力量兴办各类文化艺术学校和培训班；加大文化投入力度，优化人才环境，制定人才优惠政策，向全社会引进优秀文化人才[5]，是文化产业成为海南国民经济支柱性产业的重要举措。

参考文献

[1] 王斌斌．文化是海南国际旅游岛建设的生命力[J]. 今日海南,2010(5):28－29.

[2] 周萍．发展与创新海南区域文化推动海南国际旅游岛建设[J]. 新东方,2009(10):35－37.

[3] 单正平．成就、问题与机遇:关于海南文化建设的思考[J]. 新东方,2009(10):23－26.

[4] 张松林．海南的战略选择：加快发展文化产业[J]. 新东方,2005(10):29－34.

[5] 王丽梅,宋春燕．山东省文化产业竞争力的现状、问题及对策[J]. 工业技术经济,2011(6):65－73.

（上接第 38 页）

2003，19（1）：10－14.

[6] 范航清，何斌源．北仑河口的红树林及其生态恢复原则［J］．广西科学，2001，8（3）：210－214.

[7] 彭逸生，周炎武，陈桂珠．红树林湿地恢复研究进展［J］．生态学报，2008，28（2）：786－797.

[8] 李甲亮，王琳，任加国，等．污水人工湿地处理对滨海生态系统修复研究进展［J］．地质灾害与环境保护，2005，16（3）：191－195.

[9] 刘荣成，洪志猛，叶功富，等．泉州湾洛阳江滨海湿地的生态恢复与重建对策［J］．福建林业科技，2004，31（3）：75－79.

[10] 杨静，曾昭爽．昌黎黄金海岸七里海潟湖的历史演变和生态修复［J］．海洋湖沼通报，2007（2）：34－39.

[11] 张婧．胶州湾娄山河口退化滨海湿地的生态修复［J］．中国海洋大学学报，2006（3）．

[12] 黄建道，黄小平，岳维忠．大型海藻体内 TN 和 TP 含量及其对近海环境修复的意义［J］．台湾海峡，2005，24（3）：316－321.

[13] 徐永建，钱鲁闽，焦念志．江蓠作为富营养化指示生物及修复生物的氮营养特性［J］．中国水产科学，2004，11（3）：276－280.

[14] 林贞贤，汝少国，杨宇峰．大型海藻对富营养化海湾生物修复的研究进展［J］．海洋湖沼通报，2006（4）：128－134.

[15] 任海，张倩媚，李萍，等．海岛退化生态系统的恢复［J］．生态科学，2001，20（1）：60－64.

[16] 廖连招．厦门无居民海岛猴屿生态修复研究与实践［J］．亚热带资源与环境学报，2007，2（2）．

[17] 周厚诚，任海，向言词，等．南澳岛植被恢复过程中不同阶段土壤的变化［J］．热带地理，2001，21（2）：104－108.

[18] 李萍，黄钟良.南澳岛退化草坡的植被恢复研究［J］．热带地理，2007，27（1）：21－24.

[19] 王颖，吴小根．海平面上升与海滩侵蚀［J］．地理学报，1995，50（2）：118－127.

[20] 季小梅，张永战，朱大奎．人工海滩研究进展［J］．海洋地质动态，2006，22（7）：21－25.

[21] 陈坚，蔡锋，许江，等．厦门岛东北部海滩回填重塑研究［J］．台湾海峡，2002，21（2）：243－251.

[22] 李元超，黄晖，董志军，等．珊瑚礁生态修复研究进展［J］．生态学报，2008，28（10）：5047－5054.

[23] 李洪远，鞠美庭．生态恢复的原理与实践［M］．北京：化学工业出版社，2004.