

陆海统筹生态保护修复的生态学基础、 难点问题与对策建议

陈雪初^{1,2}, 孙彦伟^{2,3}, 温 泉⁴, 王 军⁵, 叶属峰⁶

(1. 华东师范大学生态与环境科学学院, 上海 200241; 2. 自然资源部大都市区国土空间生态修复工程技术创新中心, 上海 200062; 3. 上海市建设用地和土地整理事务中心, 上海 200003; 4. 国家海洋环境监测中心, 辽宁 大连 116203; 5. 自然资源部土地整治重点实验室, 北京 100035; 6. 自然资源部东海发展研究院, 上海 200136)

摘要: 如何实现陆海和谐与统筹发展已经成为当前我国生态文明建设中面临的重大问题, 沿海城市社会经济发展过程中应当统筹好陆海空间, 确保生态安全已经逐渐成为共识。本文从陆海空间生态耦联关系出发, 探讨了陆海生态系统连续体和海陆生态交错带的结构与功能, 为陆海统筹生态保护修复提供理论基础; 分析认为陆海二元结构所导致的生态系统连续体断裂与生态交错带丧失, 是亟待解决的难点问题; 进一步提出了保护修复生态系统连续体, 恢复陆海生态廊道连通, 构建多生境生态缓冲空间, 并促进陆海空间协同增效的对策建议, 为我国推进面向陆海统筹生态保护修复提供基础参考。

关键词: 陆海统筹; 生态保护修复; 生态系统连续体; 生态交错带; 生态廊道

DOI: 10.3969/J.ISSN.2095-4972.20231231002

中图分类号: P748

文献标识码: A

文章编号: 2095-4972(2025)-01-0021-08

如何实现陆海和谐与统筹发展已经成为当前我国生态文明建设中面临的重大问题^[1]。我国近海海域生态系统相对封闭, 外部洄游性生物资源补充量少, 不少物种的繁育生长以及洄游都高度依赖于沿岸原始生境条件。对于近岸生境的开发利用, 有可能造成关键物种缺失, 导致原有生态系统结构失衡, 并迅速退化为低质种群, 使得生物资源价值与生态系统服务功能大大降低。许多沿海城市在向海发展过程中常常面临着空间资源开发利用与生态系统保护的矛盾冲突, 一些地区甚至出现了涉及自然资源破坏、生态环境损害的违规违法事件^[2]。沿海城市社会经济发展过程中应当统筹好陆海空间, 确保生态安全成为共识。2018年《中共中央国务院关于建立更加有效的区域协调发展新机制的意见》明确指出“推动陆海统筹发展, 促进海岸地区陆海一体化生态保护和整治修复”。如果能在陆海统筹发展中利用好生态保护修复这一抓手, 将有可能促进化解陆海矛盾冲突。然而值得思考的是, 迄今为止, 面向陆海统筹的生态保护修复实践案例还不多, 近期厦门

五缘湾等生态修复项目开始得到关注^[3]。因此, 亟待从理论和制度设计层面加强探索与研究, 以推动进一步的应用实践。本文拟从陆海生态关系出发, 应用生态系统生态学理论方法, 探讨陆海统筹生态保护修复的生态学理论基础, 分析亟待生态保护修复解决的陆海统筹难点问题, 进一步提出面向陆海统筹的生态保护修复策略。

1 陆海统筹生态保护修复的生态学基础

陆域与海域虽然在空间上可以视为相互分离的单元, 但是从生态系统角度来看, 却存在极为密切的耦联关系, 集中体现在由“流域-河口-近岸海域”组成的陆海生态系统连续体^[4-5], 和海陆之间的过渡区域——生态交错带 (ecotone) 之上^[6]。如图 1 所示, 生态系统连续体是连接陆域空间与海域空间的纽带, 为物质流、能量流、基因流提供快速通道; 而陆域空间与海域空间的交汇之处为生态交错带, 这是一个海陆相互作用最为普遍且剧烈, 而生境条件却呈现极端梯度变化的复合界面, 具有很高的生物多样性

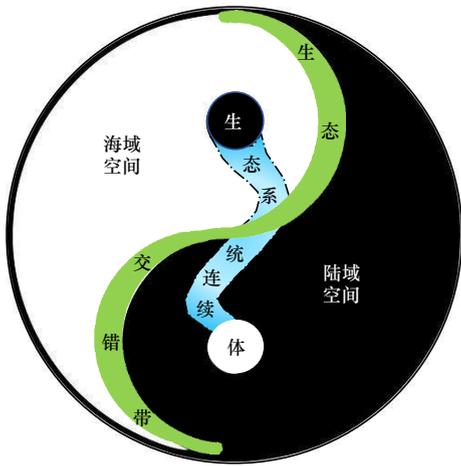


图 1 陆海空间生态耦联概念图

Fig. 1 Diagram of ecological coupling between land and sea

性和重要的生态系统服务功能。

1.1 陆海生态系统连续体

生态系统连续体的观点最早来自于河流生态学研究, Vannote 等观察到生物群落随河流水流方向呈现出连续性的分布特征, 提出的河流连续体概念, 描述了从源头到河口水温、流速、流量、生源要素等理化因子梯度的连续性, 和相应的生物物种与生物生产力的变化, 及其对食物网和生物多样性的影响等^[7]; 本世纪初 Paerl 研究有害蓝藻从上游湖泊向河口区迁移的问题时, 提出了淡水-海洋生态系统连续体这一概念(本文简称陆海生态系统连续体)^[8]。

陆海生态系统连续体的正常运作有赖于结构完整性、水文连通性、功能多样性的维持^[9-10]。陆海生态系统连续体最为显著的结构特征是河海之间相互连通没有闸坝拦阻, 因此涨潮时咸水可以上溯至河口以内, 退潮后淡水则可能包络河口(图 2); 另一方面, 陆海生态系统连续体在其河口及其附近区域会形成明显的盐度梯度, 其场域范围受潮汐和上游来水影响呈现周期性游荡变化, 规律性变化的水文条件和盐度梯度场域形成了可供不同物种进出河口的连通生境, 并将河口湿地、半咸水潟湖、通海河流、通江湖泊等相互连接在一起, 为生物在连续体之间取食、繁育提供了有利条件。陆海生态系统连续体往往是生物种群迁移和营养物质流动的关键通道, 如洄游鱼类自近岸海域通过河口上溯至上游淡水区域繁育后代^[11]; 流域产生的营养物质输送至河口和近岸海域促进初级生产, 但如果营养过量又会对河口海湾造成富营养化危害^[5,12]; 上游持续来沙保障河口盐沼湿地稳定发育进而为近岸生物提供栖息地等^[13]。陆海生态系统连续体在功能上具有高度复合的特征, 它既是承载城市人类活动的国土空间, 也是维系区域生物多样性的地表关键带, 更是满足人民美好生活需求增进民生福祉的生态服务基元, 识别出连续体的结构特征, 并且保护好重要生境、水文规律和生态功能是陆海统筹生态保护修复的核心工作任务之一。

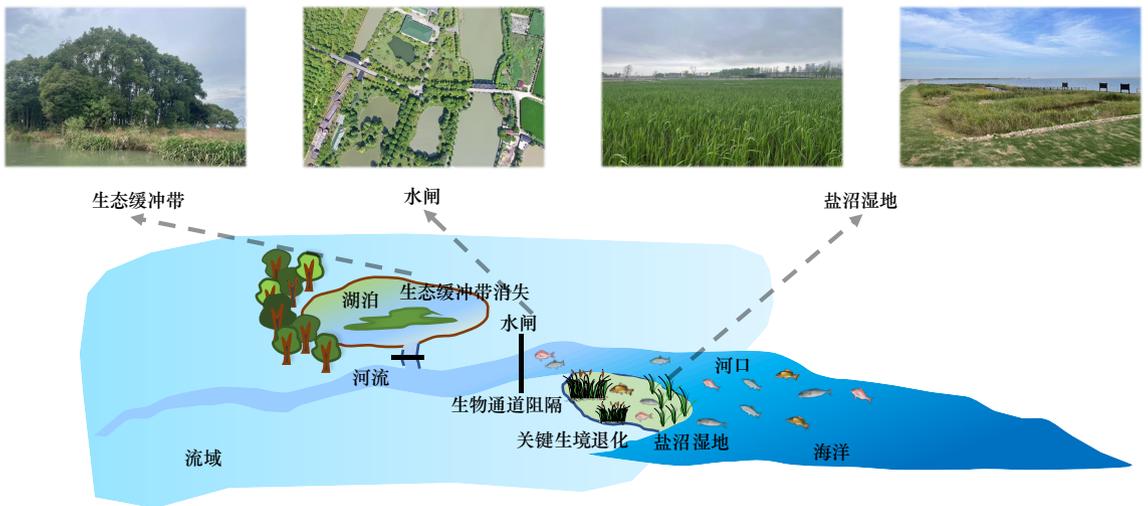


图 2 陆海生态系统连续体示意图

Fig. 2 Diagram of land-sea ecosystem continuum

1.2 海陆生态交错带

海岸带是陆域人类活动空间与海域自然生态空间的交汇融合区域。以海堤岸线为界, 内侧陆域是生产生活空间, 往往工农业用地、居民生活用地、绿

林地交错分布, 岸线外侧则是由滩涂、盐沼等组成的自然生态空间(图 3)。值得注意的是, 陆域空间与海域空间的分离大都是人为造成的, 在人类干扰很少的自然状态下, 这一介于海洋生态系统与陆地生态

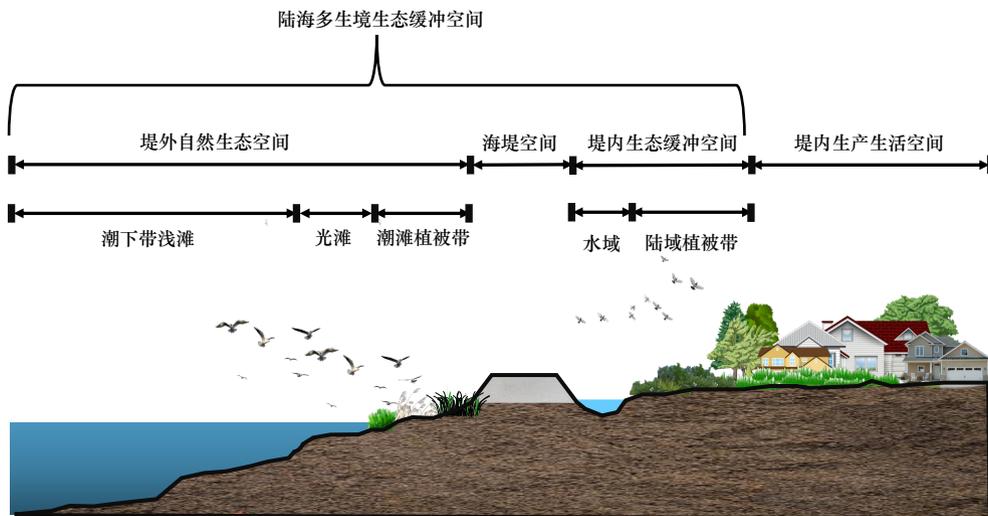


图 3 受海堤阻隔的海陆生态交错带及生态缓冲空间示意图

Fig. 3 Diagram of land-sea ecotone and ecological buffer zone obstructed by seawall

系统之间的过渡区域是一类具有海陆复合特征的生态交错带, 包括了潮下带浅滩、光滩、中低潮植被带、中高潮植被带、潮上带乔灌草植被带, 形成了具有连续性的生境梯度与生物群落结构^[14]。“生态交错带”这一术语最早于 20 世纪初由 Clements 提出, 意指两个相互连接的植物群落之间的应力区, 在这一区域内植物群落随着空间梯度发生明显变化^[7]; 著名野生动物学家 Leopold 观察到生态交错带生物物种种类和数量往往较周边区域高, 进一步提出了“边缘效应”的观点^[15]; 大量生态学研究证实了生态交错带往往表现出高物种多样性的特征, 同时也是物种流动和基因交流极为频繁的区域, 具有丰富的特有种和大量的外来种, 也因此更为敏感与脆弱^[16]。

对于人类而言, 海陆生态交错带具有重要的生态系统服务功能, 是实现人海共生的关键载体。在受人类干扰较少, 生态交错带完整的海岸带区域, 如盐沼、红树林等形成的近岸植被带起到消浪减灾、稳定岸线的作用, 当地居民在维持好自然岸线及其多样化的生境的同时, 通过发展渔业、旅游业、畜牧业等受益, 进而形成独特的海洋文化并逐渐建立海洋归属感^[17]; 在许多沿海城市, 虽然通过海堤人工分隔了城市空间与海域空间, 导致海陆生态交错带断裂, 但是残存的海陆生境仍然可以提供生态系统服务, 形成海陆多生境生态缓冲空间 (图 3), 堤外自然生态空间吸引候鸟停驻, 往往成为当地居民亲海游憩的热点区域, 而堤内的稻田、林地、水域既是人类生产空间, 又是鸟类栖息之地^[18]。因此, 海岸带空间具有多重属性, 它既可以是以海陆生态交错带为核心的自然生态空间, 又可能因为人类开发利用而转变为生产生活空间, 还有可能成为拓展城市发展空间的

后备土地资源。如何基于自然禀赋统筹规划海岸带空间资源, 发挥出生态保护修复的调控作用, 是沿海城市走好生态优先、绿色发展之路的关键所在。

2 陆海统筹发展中亟待解决的生态安全难点问题

虽然陆海统筹发展的观点由来已久, 但是从现状来看, 大多数沿海地区陆海关系仍处于相互割裂, 甚至对立的状态。陆海二元结构的形成有其深刻的历史背景与文化因素, 但也与条块分割的区域治理模式密不可分。陆海二元结构在现实中的突出表现是陆海生态系统连续体的断裂与海陆生态交错带的丧失, 这导致陆海空间的生态耦联关系消失, 反过来制约了沿海地区的可持续发展。

2.1 陆海生态系统连续体的断裂

我国“流域-河口-近岸海域”连续体大多处于发达地区, 正经历着规模空前的快速城市化过程, 高强度的空间开发利用活动驱动社会经济发展的同时, 也对“流域-河口-近岸海域”连续体的结构与功能造成了不同程度的损害, 突出表现为河口大量建设闸坝造成陆海生态系统连续体断裂, 导致生态连通性丧失, 如长江江阴以下 (如浏河口) 建闸使中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 的洄游通道受阻^[19], 姚江大闸阻断了鱼蟹溯江通道, 使河鳗、鲈鱼、黄鱼数量锐减^[20], 曹娥江大闸的建设也影响了河鳗、中华绒螯蟹等游泳生物的洄游通道^[21]; 此外河口建闸也会影响河口盐度、流速等水文情势破坏河口关键生物栖息地^[22]。陆海生态系统连续体断裂导致区域生物多样性下降和生态系统服务功能流失, 反过来又直接制约着沿海大都市的可持续发展^[11-12, 23-25]。陆海生态

系统连续体遭遇的困局是水-空间-生态相互耦合的系统性问题。如何立足陆海统筹发展,有效结合国土空间规划与用途管制手段,科学开展“流域-河口-近岸海域”一体化生态保护修复是破局解题的关键所在。

2.2 海陆生态交错带的丧失

城市化发展依赖于空间资源的持续供给,在沿海城市优先利用的区域大都位于陆海边缘的生态交错带。在人类开发利用海岸带的过程中,特别是建设海堤之后,海陆生态交错带的原生结构就会不可避免地受到影响,造成生境连续性降低与边缘效应减弱,进而导致生物多样性下降与本地物种丧失;如果无节制地开发陆海生态交错带,必然会造成海岸带生态系统的破坏和生态韧性的丧失,进而导致海洋灾害破坏能力增大,全球气候变化更增加了陆海边缘高强度开发区域的灾害风险。一项评估了环渤海、长三角和珠江三角洲三个城市群滨海湿地生态交错带的研究表明,区域经济发展驱动下沿海湿地转变为农业用地和城市用地等是导致滨海湿地丧失的主要原因;He 等对比了 1950—1978 年和 1978—2014 年的中国沿海生态系统变化,结果表明经济增长和环境污染、渔业活动等人类影响是加速人类对中国沿海生态系统破坏的原因;Gao 等研究指出,中国海岸带生态交错带存在因围海造田和发展浅滩养殖导致的浅滩和湿地退化、水质恶化,以及海岸带沉积物减少引起的海岸退化等一系列问题^[13,26-29]。

人类有向海发展的冲动,向海发展的强度越高,所面临的海洋灾害风险就可能越高,城市向海发展过程中不断强化陆海二元结构,必然导致人海矛盾的加剧。从我国海岸带空间的发展现状来看,亟需重新协调好人类生产生活空间与海陆生态交错带的关系,充分发挥海陆生态交错带的生态缓冲与生物多样性保护功能,并进一步理顺人海关系,发展人海共生经济,这就需要通过面向陆海统筹的生态保护修复来实现。

3 陆海统筹生态保护修复对策建议

要解决陆海生态系统连续体断裂与海陆生态交错带丧失问题,除了技术措施之外,还必须转变陆海二元结构,协调好自然生态空间与人类生产生活空间的关系。近年来,我国在制度设计层面将“国土空间用途管制”与“生态保护修复”相结合,提出了“国土空间生态保护修复”这一尚无国际先例的崭新模式^[30]。国土生态保护修复的优势在于可以将规划层面的空间用途管制与技术层面的生态保护修复工程

结合起来^[31],国土空间生态保护修复的实施,为在空间上统筹各类生态要素创造了政策条件,有力地推进了山水林田湖草沙系统治理,近年来的实践表明,国土空间生态保护修复是提升生态系统质量与功能,保障区域生态安全的有效手段,可为解决城乡发展中所面临的复杂生态环境问题提供重要抓手^[31-32]。另一方面,《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035年)》提出要实施海岸带生态保护和修复重大工程,推进“蓝色海湾”整治,开展退围还海还滩、岸线岸滩修复、河口海湾生态修复、红树林、珊瑚礁、怪柳(*Tamarix chinensis*)等典型海洋生态系统保护修复等工程建设。结合国土空间生态保护修复和海岸带生态保护修复重大工程,构建陆海统筹生态保护修复平台,支撑“重点海域综合治理攻坚战行动”,保护关键生态生境空间,修复陆海生态系统连续体,恢复陆海连通生态廊道,构建可替代生态交错带的海陆复合多生境生态缓冲空间,进一步促进海陆空间协同增效,可为解决陆海矛盾,实现陆海共生提供基于自然的解决方案(图4)。

3.1 保护修复陆海生态系统连续体,恢复陆海连通生态廊道

陆海生态系统连续体得以维系的关键在于结构完整性和生态连通性,生态保护修复可以起到关键性的调控与保障作用。在海陆空间用途管制层面,基于对陆海生态系统连续体结构特征的精准识别与深入研判,针对感潮河流与湖泊缓冲带、天然潟湖、盐沼湿地等关键生境区域,设立陆海统筹生态优先保护区,逐步修复陆海生态系统连续体的结构完整性,进一步结合陆域污染治理、植被缓冲带恢复、食物网络调控等措施保障关键生境区域水质健康与生态安全;识别重要物种的洄游时间、路径、距离等行为,分析现有工程设施对生物多样性和洄游物种种群数量变化的影响,针对生态阻力较大的困难节点重点恢复支持水生动物洄游的陆海连通生态廊道,实施基于自然的生态工程,构建生态鱼道、踏脚石湿地与半人工潟湖等,促进水文与生物连通,提升生态系统功能。

3.2 构建多生境生态缓冲空间,形成陆海联动生态廊道

沿海城市海岸带开发利用强度较大,由于海岸线保护需要建设海堤,不可避免地影响了陆海生态交错带的连续性,但是拆除海堤恢复陆海生态交错带则又可能对当地社会民生产生负面影响。以陆海统筹生态保护修复为抓手,可以在优化调整海岸带空间开发利用格局的基础上,降低局部生态敏感区

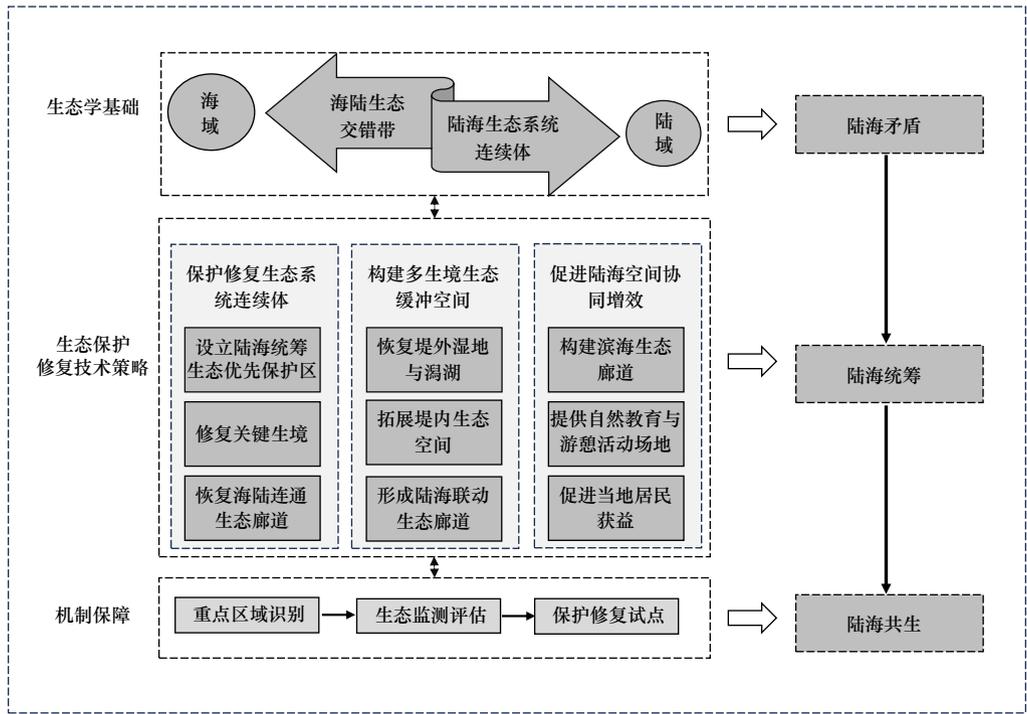


图4 陆海统筹生态保护修复对策框架图

Fig. 4 Diagram of integrated land-sea ecological protection and restoration

域利用强度,主动重构与修复堤内堤外生态空间,形成能够替代天然陆海生态交错带的陆海联动生态廊道。在堤外恢复本地盐沼湿地与潟湖等,以更积极的态度应对海岸带受损退化问题^[33-34];同时拓宽堤内生态空间,并采取硬质岸线生态化提升、基底修复、水文调控、植被恢复以及牡蛎礁保育等生态整治修复技术手段,同步提升堤内堤外生态质量^[35],构建由堤外潮下带水域、潮间带湿地与堤内水域、林地、湿地所共同组成的多生境生态缓冲空间,促进生态系统自组织演替,进而成为生物多样性的热点,协同提升海陆复合生态功能^[36]。

3.3 促进海陆空间协同增效

陆海生态系统连续体和海陆生态交错带的保护修复都涉及到人海关系的协调问题,不应简单地将生态保护修复等同于人退海进。吸收中国古代人“天人合一”的哲学思想,应通过陆海统筹管理促进海陆空间协同增效,推动形成海陆生命共同体。从国土空间资源的优化利用角度来看,通过生态保护修复所构建形成的生态优先保护区、生态缓冲空间等,虽然增强了自然生态属性,但是也不应忽视它们对于当地人类福祉的贡献作用。在保证生态保护修复空间结构功能稳定的基础上,适当导入人类用益活动如亲海旅游、生态环境友好的滩涂养殖等,通过人海持续互动建立海洋归属感,形成海陆共生空间,是实现国土空间可持续开发利用的关键。为实现协同增

效,可结合生态保护修复措施构建兼顾人类利用和生物多样性保护的城市滨海生态廊道^[37],在维护生态系统结构与功能的同时满足民众亲海游憩的需求,提升生态品质;预留堤内空间构建科普科研基地、生态驿站、旅游设施等,为自然教育与游憩活动提供场地;挖掘体现当地传统文化,符合人与自然和谐共生理念的渔业、农业模式,结合生态补偿引导当地居民从生态保护修复中获益。

3.4 加强机制保障

陆海统筹生态保护修复涉及到沿海地区城市发展空间的协调,和不同生态要素的匹配问题,难以从单一行政条线上推进,这也是陆海统筹难以落地的重要原因。建议结合《全国重要生态系统保护和修复重大工程规划(2021—2035年)》,在国家层面布局开展陆海统筹生态保护修复重点区域识别与监测评估工作;建立陆海统筹保护修复多部门协同机制,积极鼓励各省市以行政单元(镇级及其以上)为主体,开展以海陆复合关键物种保护、生态连通性提升等目标的陆海统筹生态修复保护试点,并将相关项目纳入地方生态空间规划、国土空间生态保护修复规划、重点海域综合治理攻坚战行动中^[38];另一方面,为解决陆海统筹生态保护修复资金筹措问题,可采取国家与地方财政资金先行,生态环境公益基金与社会资本积极参与的模式,有条件的地方还可利用生态环境损害赔偿金推进生态保护修复工作^[39]。

对于参与生态保护修复的企业,按照国务院《关于鼓励和支持社会资本参与生态保护修复的意见》,在确保生态保护修复空间结构功能稳定前提下,赋予其一定的用益权,以促进生态产品价值实现。

4 结语

长期以来,陆海统筹大多从发展战略角度提出要求,缺乏关键抓手,具体路径也不甚清晰。本文从陆海空间耦联关系的角度,系统阐述了陆海生态系统连续体和海陆生态交错带这两个概念的生态学内

涵,剖析了生态学视角的陆海统筹问题,从保护修复陆海生态系统连续体、构建海陆多生境生态缓冲空间、促进海陆空间协同增效、体制机制保障等方面凝练提出了陆海统筹生态保护修复策略。然而,对于陆海空间耦联关系及其生态学机制的研究在国内还刚刚起步,尚有待深入探索,这可为我国具体实施生态保护修复工程提供基础依据;另一方面,如何利用陆海统筹生态保护修复为陆海生态空间赋能增效也需要加强实践,这可为促成城市与海洋的和谐共生提供路径参考。

参考文献:

- [1] 李彦平, 刘大海, 罗添. 国土空间规划中陆海统筹的内在逻辑和深化方向: 基于复合系统论视角[J]. *地理研究*, 2021, 40(7): 1902-1916.
LI Y P, LIU D H, LUO T. The internal logic and developing direction of land-sea coordination in land space planning: from the perspective of complex system theory[J]. *Geographical Research*, 2021, 40(7): 1902-1916.
- [2] 王琪, 田莹莹. 我国围填海管控的政策演进、现实困境及优化措施[J]. *环境保护*, 2019(7): 7.
WANG Q, TIAN Y Y. Policy evolution, realistic dilemma and optimization measures for China's reclamation control[J]. *Environmental Protection*, 2019(7): 7.
- [3] 黄海萍, 陈彬, 俞炜炜, 等. 厦门五缘湾滨海湿地生态恢复成效评估[J]. *应用海洋学学报*, 2015, 34(4): 501-508.
HUANG H P, CHEN B, YU W W, et al. Evaluation of the coastal wetland restoration on Wuyuan Bay of Xiamen[J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2015, 34(4): 501-508.
- [4] ANDRADE H, SANTOS J, IXQUIAC M J. Ecological linkages in a Caribbean estuary bay[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2015, 533: 29-46.
- [5] PAERL H W, OTTEN T G, KUDELA R. Mitigating the expansion of harmful algal blooms across the freshwater-to-marine continuum[J]. *Environmental Science & Technology*, 2018, 52(10): 5519-5529.
- [6] CLEMENTS F E. *Research methods in ecology*[M]. Lincoln: The University Publishing Company, 1905.
- [7] VANNOTE R L, MINSHALL G W, CUMMINS K W, et al. The river continuum concept[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1980, 37(1): 130-137.
- [8] PAERL H W. Controlling eutrophication along the freshwater-marine continuum: dual nutrient (N and P) reductions are essential[J]. *Estuaries and Coasts*, 2009, 32(4): 593-601.
- [9] BOSTRÖM C, PITTMAN S J, SIMENSTAD C, et al. Seascape ecology of coastal biogenic habitats: advances, gaps, and challenges[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2011, 427: 191-217.
- [10] PAERL H W, VALDES L M, JOYNER A R, et al. Solving problems resulting from solutions: evolution of a dual nutrient management strategy for the eutrophying Neuse River Estuary, North Carolina[J]. *Environmental Science & Technology*, 2004, 38(11): 3068-3073.
- [11] BERKSTRÖM C, LINDBORG R, THYRESSON M, et al. Assessing connectivity in a tropical embayment: fish migrations and seascape ecology[J]. *Biological Conservation*, 2013, 166: 43-53.
- [12] 宋爽, 郭丽峰, 张辉, 等. 流域-河口-近岸海域污染防治机制研究[J]. *海洋环境科学*, 2021, 40(6): 838-842.
SONG S, GUO L F, ZHANG H, et al. Research on pollution control mechanism of watershed, estuary and coastal sea areas[J]. *Marine Environmental Science*, 2021, 40(6): 838-842.
- [13] KIRWAN M L, MEGONIGAL J P. Tidal wetland stability in the face of human impacts and sea-level rise[J]. *Nature*, 2013, 504: 53-60.
- [14] TEMMERMAN S, MEIRE P, BOUMA T J, et al. Ecosystem-based coastal defence in the face of global change[J]. *Nature*, 2013, 504: 79-83.
- [15] LEOPOLD A. *Game management*[M]. Madison: University of Wisconsin Press, 1986.
- [16] 朱芬萌, 安树青, 关保华, 等. 生态交错带及其研究进展[J]. *生态学报*, 2007, 27(7): 3032-3042.
ZHU F M, AN S Q, GUAN B H, et al. A review of ecotone: concepts, attributes, theories and research advances[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 3032-3042.
- [17] BARBIER E B, HACKER S D, KENNEDY C, et al. The value of estuarine and coastal ecosystem services[J]. *Ecological Monographs*, 2011, 81(2): 169-193.
- [18] 谢汉宾, 莫英敏, 张姚, 等. 以水鸟保育为目标的水稻田构建技术及效果评估[J]. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(11): 1919-1927.
XIE H B, MO Y M, ZHANG Y, et al. A new construction technology of rice fields for waterbird conservation and its effects[J]. *Resources and*

- Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(11): 1919-1927.
- [19] 张列士, 朱传龙, 杨杰, 等. 长江口中华绒螯蟹及蟹苗资源变动的研究[M]//上海市水产研究所. 上海市水产研究所研究报告第三集. 上海: 上海科学技术出版社, 1989: 1-14.
- [20] 冯利华, 鲍毅新. 甬江建闸的环境影响分析[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(6): 88-91.
FENG L H, BAO Y X. On environmental effect of constructing tidal gate of the Yongjiang River[J]. Journal of Natural Disasters, 2004, 13(6): 88-91.
- [21] 廖琦琛, 丁明明, 傅菁菁, 等. 入海河口建闸对水生生态的影响及保护对策[J]. 工程建设与设计, 2007(2): 76-80.
LIAO Q C, DING M M, FU J J, et al. The effect on aquatic ecosystem and its protection measure of the estuarine gate[J]. Construction & Design for Engineering, 2007(2): 76-80.
- [22] VENGADESAN P, SANNASIRAJ S A, MURTY BHALLAMUDI S. Assessment of optimal dam release for anadromous fish migration in estuary[J]. *Ecological Indicators*, 2023, 157: 111270.
- [23] 叶属峰. 大型工程对长江河口近岸海域生态系统的影响及机理研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2005.
YE S F. Studies on the impacts and mechanism of the large-scale engineering on the coastal marine ecosystem in the Yangtze River Estuary[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2005.
- [24] CHI S Y, WEI C Z, ZHENG J X, et al. Distribution patterns of macroinvertebrate communities in a Chinese floodgate-regulated river and their relationships with river longitudinal connectivity[J]. *The Science of the Total Environment*, 2018, 631/632: 765-777.
- [25] LI Y F, XIANG Z Y, CHEN K L, et al. An improved spatial subsidy approach for ecological compensation in coastal seascapes for resilient land-sea management[J]. *Journal of Environmental Management*, 2020, 276: 111305.
- [26] 冯爱青, 高江波, 吴绍洪, 等. 气候变化背景下中国风暴潮灾害风险及适应对策研究进展[J]. *地理科学进展*, 2016, 35(11): 1411-1419.
FENG A Q, GAO J B, WU S H, et al. A review of storm surge disaster risk research and adaptation in China under climate change[J]. *Progress in Geography*, 2016, 35(11): 1411-1419.
- [27] GAO J X, LV S H, ZHENG Z R, et al. Typical ecotones in China[J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2012, 3(4): 297-307.
- [28] HE Q, BERTNESS M D, BRUNO J F, et al. Economic development and coastal ecosystem change in China[J]. *Scientific Reports*, 2014, 4: 5995.
- [29] LIN Q Y, YU S. Losses of natural coastal wetlands by land conversion and ecological degradation in the urbanizing Chinese coast[J]. *Scientific Reports*, 2018, 8: 15046.
- [30] 王军, 应凌霄, 钟莉娜. 新时代国土整治与生态修复转型思考[J]. *自然资源学报*, 2020, 35(1): 26-36.
WANG J, YING L X, ZHONG L N. Thinking for the transformation of land consolidation and ecological restoration in the new era[J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(1): 26-36.
- [31] 彭建, 李冰, 董建权, 等. 论国土空间生态修复基本逻辑[J]. *中国土地科学*, 2020, 34(5): 18-26.
PENG J, LI B, DONG J Q, et al. Basic logic of territorial ecological restoration[J]. *China Land Science*, 2020, 34(5): 18-26.
- [32] 王军, 钟莉娜. 生态系统服务理论与山水林田湖草生态保护修复的应用[J]. *生态学报*, 2019, 39(23): 8702-8708.
WANG J, ZHONG L N. Application of ecosystem service theory for ecological protection and restoration of mountain-river-forest-field-lake-grassland[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(23): 8702-8708.
- [33] 曹宇, 王嘉怡, 李国焯. 国土空间生态修复: 概念思辨与理论认知[J]. *中国土地科学*, 2019, 33(7): 1-10.
CAO Y, WANG J Y, LI G Y. Ecological restoration for territorial space: basic concepts and foundations[J]. *China Land Science*, 2019, 33(7): 1-10.
- [34] FRENCH P W. Managed realignment: the developing story of a comparatively new approach to soft engineering[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2006, 67(3): 409-423.
- [35] CHEN X C, HUANG Y Y, YANG H L, et al. Restoring wetlands outside of the seawalls and to provide clean water habitat[J]. *The Science of the Total Environment*, 2020, 721: 137788.
- [36] 陈雪初, 戴禹杭, 孙彦伟, 等. 大都市海岸带生态整治修复技术研究进展与展望[J]. *海洋环境科学*, 2021, 40(3): 477-484.
CHEN X C, DAI Y H, SUN Y W, et al. Research progress and prospect of eco-realignment and restoration technologies for metropolitan coastal zone[J]. *Marine Environmental Science*, 2021, 40(3): 477-484.
- [37] 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[J]. *湿地科学与管理*, 2021, 17(1): 56-60.
ZHANG Y M, HUANG Z J, LI Y, et al. Integrated sea-land restoration in coastal area based on the habitat requirements of ardeidae[J]. *Wetland Science & Management*, 2021, 17(1): 56-60.
- [38] 王静, 方莹, 翟天林, 等. 国土空间生态保护和修复研究路径: 科学到决策[J]. *中国土地科学*, 2021, 35(6): 1-10.
WANG J, FANG Y, ZHAI T L, et al. Research framework for territorial ecological conservation and restoration: from scientific research to decision making[J]. *China Land Science*, 2021, 35(6): 1-10.
- [39] 高如峰, 彭琳, 温泉, 等. 以生态修复为导向的海洋生态补偿模式研究[J]. *海洋开发与管理*, 2019, 36(1): 53-56.
GAO R F, PENG L, WEN Q, et al. The ecological restoration aimed marine ecological compensation mode[J]. *Ocean Development and Management*, 2019, 36(1): 53-56.

Ecological basis, difficulties and countermeasures for integrated land-sea ecological protection and restoration

CHEN Xuechu^{1,2}, SUN Yanwei^{2,3}, WEN Quan⁴, WANG Jun⁵, YE Shufeng⁶

(1. School of Ecological and Environmental Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China; 2. Technology Innovation Center for Land Spatial Eco-restoration in Metropolitan Area, MNR, Shanghai 200062, China; 3. Shanghai Land Consolidation and Rehabilitation Center, Shanghai 200003, China; 4. National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116203, China; 5. Key Laboratory of Land Consolidation and Rehabilitation, MNR, Beijing 100035, China; 6. East China Sea Institute for Development Research, MNR, Shanghai 200136, China)

Abstract: Achieving the harmony between land and sea and promoting coordinated development has become one of the key issues for the construction of China's ecological civilization. A consensus has gradually been formed that a coastal city should integrate its land and sea space and ensure ecological safety, accompanying with its social and economic development. Here, we discussed the structure and function of land-sea ecosystem continuum and ecotone based on the ecological coupling between land and sea. These two terms originated from ecology and can provide a theoretical basis for integrated land-sea ecological protection and restoration. The rupture of ecosystem continuum and the loss of ecotone, resulted from the dual structure of land and sea management, are ecologically the critical security problems that need to be addressed urgently. Countermeasures and suggestions were put forward, including protection and restoration of the ecosystem continuum and ecological corridor, construction of multi-habitat ecological buffer zone and promotion of the synergy of land and sea. This study can provide a basic reference for promoting the integrated land-sea ecological protection and restoration in China.

Key words: integrated land-sea management; ecological protection and restoration; ecological continuum; ecotone; ecological corridor

DOI: [10.3969/J.ISSN.2095-4972.20231231002](https://doi.org/10.3969/J.ISSN.2095-4972.20231231002)

Corresponding author (E-mail: xcchen@des.ecnu.edu.cn)

(责任编辑: 王 静)