

黄河三角洲滨海湿地生态问题及其修复对策研究

张希涛, 毕正刚, 车纯广, 谭海涛, 路海英 (山东省黄河三角洲国家级自然保护区 黄河口管理站, 山东东营 257500)

摘要 黄河三角洲是我国温带地区重要的河口海岸带湿地生态系统, 是最具生态保护价值的关键区域之一。分析黄河三角洲滨海湿地生态特征及退化趋势, 识别黄河三角洲面临的关键生态问题, 明确各种湿地类型的重要修复目标, 提出针对不同类型退化湿地的生态修复技术。通过生物组分修复技术、水体修复技术、土壤改良技术和综合生境修复等技术措施, 改善环境质量, 恢复生物多样性。最后, 针对湿地保护与修复提出建议, 为区域自然与社会复合系统的可持续发展提供科学支撑。

关键词 黄河三角洲; 滨海湿地; 生态退化; 生态修复

中图分类号 S181 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)05-0084-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.05.023



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research on Ecological Issues and Restoration Strategies of Degraded Coastal Wetlands in the Yellow River Delta

ZHANG Xi-tao, BI Zheng-gang, CHE Chun-guang et al (Yellow River Estuary Management Station, The Yellow River Delta National Nature Reserve of Shandong Province, Dongying, Shandong 257500)

Abstract The Yellow River Delta, the most important wetland ecosystem conserved in the warm temperate zone of China, is the most valuable among the largest river deltas in China. On the basis of analyzing ecological characteristics, degradation trend and the key ecological issues facing the Yellow River Delta, wetland ecological restoration goals were identified and restoration strategies for various types of degraded coastal wetlands were proposed. These strategies could improve environmental quality and enhance biodiversity through biological restoration, water restoration, soil improvement and comprehensive habitat restoration. Finally, a framework for protection and restoration of degraded coastal wetlands was put forward to provide support for sustainable development of natural and social complex systems in the Yellow River Delta.

Key words Yellow River Delta; Coastal wetlands; Ecological degradation; Ecological restoration

滨海湿地主要包括盐沼、红树林、光滩、河口和浅海水域等, 为人类社会提供渔业资源、污染物过滤等关键生态系统服务功能。近年来, 由于气候变化及人为活动干扰的加剧, 滨海湿地生物多样性丧失, 生态系统功能衰减严重。滨海湿地生态系统的退化不仅影响系统自身结构与生态功能, 同时也会威胁经济、社会的可持续发展^[1-2]。

黄河三角洲滨海湿地是我国温带地区最典型的海岸湿地生态系统之一, 具有突出的保护和科学研究价值。此外, 黄河三角洲滨海湿地也是世界上极具代表性河口湿地生态系统之一, 自20世纪90年代以来便成为国内外研究的热点^[3-4]。其生态价值在国际上受到广泛认可, 并于2013年入选国际重要湿地名录。近年来, 因各方面因素干扰, 黄河三角洲滨海湿地出现了植被大面积萎缩、生境破碎化、生物多样性降低、污染加剧、外来生物入侵以及关键生物栖息地丧失等一系列生态环境问题, 严重影响湿地生态系统的健康和稳定性。

1 研究区概况

黄河三角洲位于山东省东营市黄河三角洲国家级自然保护区, 地理坐标范围为37°35'~38°12'N, 118°33'~119°20'E。四季分明, 雨热同期, 具有典型的温带大陆性季风气候特征。按照不同类型, 可将其分为盐沼、光滩、浅海水域等自然湿地及养殖场、盐田等人工湿地两大类。为保护该地区新生湿地生态系统和珍稀濒危鸟类, 1992年黄河三角洲国家级自然保护区(以下简称“保护区”)成立, 总面积为

15.3万hm², 其中核心区7.9万hm², 缓冲区1.1万hm², 实验区6.3万hm²。保护区下设3个管理站(图1)。

黄河三角洲现有的生态恢复工程主要为2003年由保护区实施的淡水湿地生态恢复保护工程。通过引灌淡水、增加淡水储量、修筑沿海防潮堤等措施, 修复生态系统的自我调节能力, 使其生物群落逐步向健康的顶级群落转变, 改善鸟类生存环境。目前工程已经竣工, 共修筑围坝8km、引水渠30km, 修建扬水站1处, 恢复湿地4238hm², 淡水湿地恢复区内植被生长旺盛, 湿地面积显著增加。此外, 淡水湿地恢复区内有候鸟筑巢产卵。因此, 该工程产生了明显的生态和经济效益。

2 黄河三角洲主要生态问题

黄河三角洲滨海湿地生态系统位于海陆交互区域, 复杂性高, 脆弱性强, 同时要面临来自陆、海2个方面的压力。不同类型的湿地存在的退化问题各有不同, 并且退化的强度也存在强烈的空间异质性。从表1可以看出, 1985—2014年间自然滨海湿地面积骤减, 而人工湿地面积快速扩大。全球变化及高强度人类开发活动共同作用, 如油田开发、堤坝建设以及海岸侵蚀、海平面上升等, 引起黄河三角洲区域生物多样性急剧下降以及动植物栖息地功能丧失等诸多方面的生态环境问题。

2.1 淡水湿地生态问题 滨海淡水湿地是位于潮上带、以芦苇等淡水植物为优势种的淡水沼泽。其退化的主要诱因是淡水资源的短缺。黄河三角洲的淡水资源主要来源于上游黄河来水和降水, 但该地区年均降水量为542mm, 集中于夏秋季节, 年均蒸发量1962mm, 年蒸降比为3.6:1.0^[6]。因此, 黄河上游来水是该地区唯一具有开发利用价值的淡水资源。自20世纪70年代黄河开始出现断流, 90年代后, 断流

基金项目 国家重点基础研究发展规划(973)资助项目(2006CB403303)。

作者简介 张希涛(1967—), 男, 山东东营人, 工程师, 从事林业生态与管理工。

收稿日期 2019-01-08

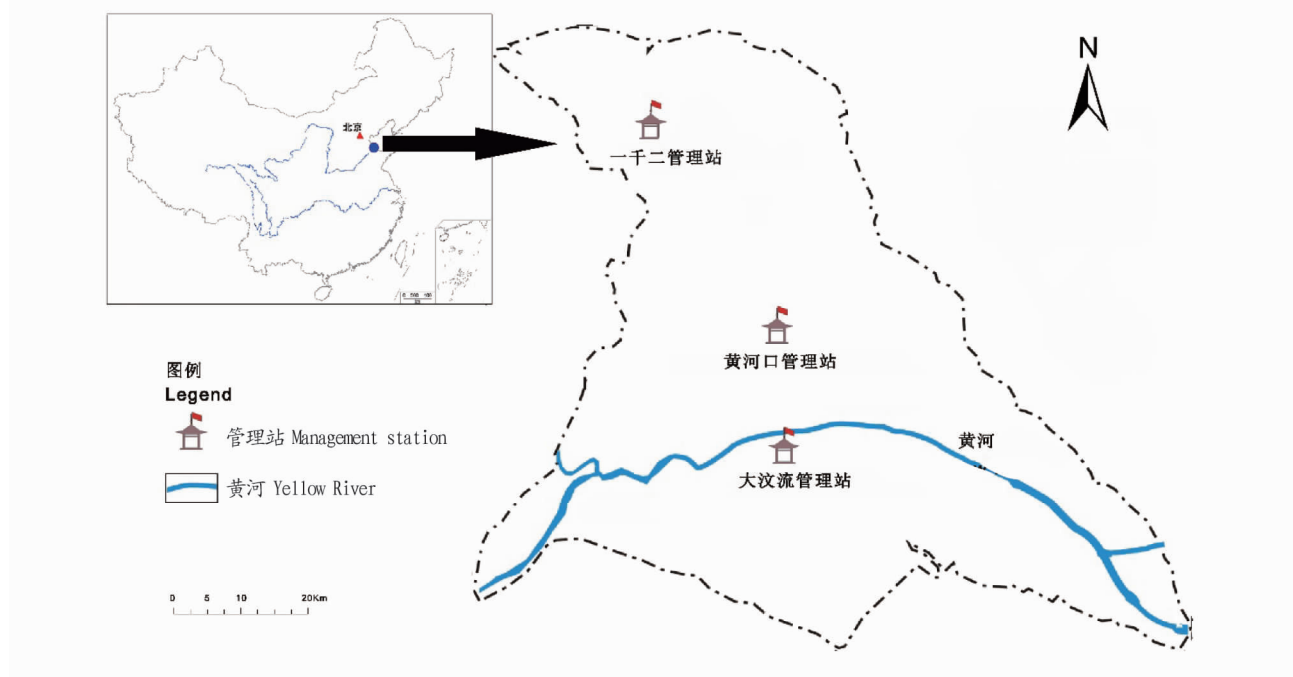


图1 黄河三角洲国家级自然保护区位置

Fig. 1 Location of the Yellow River Delta National Nature Reserve

时间不断延长,范围不断扩大,造成该地区淡水湿地严重萎缩和退化^[7]。

表1 黄河三角洲滨海湿地类型及面积变化^[5]

Table 1 Types and area change of coastal wetlands in the Yellow River Delta

湿地类型 Wetland type		面积 Area/hm ²		比例 Proportion %	变化面积 Variable- area hm ²
		1985年	2014年		
自然湿地	浅海水域	77 967.61	74 038.30	48.41	-3 929.31
Natural	滩涂湿地	33 581.62	24 594.59	16.08	-8 987.03
wetland	淡水湿地	80 93.53	4 039.31	2.64	-4 054.22
	盐沼湿地	14 340.94	9 585.64	6.27	-4 755.30
	小计	133 983.70	112 257.84	73.40	-21 725.86
人工湿地	水库坑塘湿地	782.47	7 155.49	4.68	6 373.02
Constructed	养殖场及盐田	602.17	33 519.32	21.92	32 917.15
Wetland	湿地				
	小计	1 384.64	40 674.81	26.60	39 290.17
总计 Total		135 368.34	152 932.65	100.00	17 564.31

注:比例为2014年各种湿地类型面积占总湿地面积的百分比;变化面积表示2014与1985年湿地面积的差值

Note: Proportion is percentage of different wetland types in the total wetland area; variable-area is the difference of wetland area between 2014 and 1985

2.2 盐沼湿地生态问题 盐沼湿地是滨海重要的生态系统,其植被类型是滨海盐沼湿地的主要分类依据之一。黄河三角洲的盐沼湿地包括芦苇、盐地碱蓬、怪柳等本土植物和互花米草等外来入侵植物等四大主要植被类型。其存在的主要生态问题在于:围垦养殖、农业、城市、旅游、工业用地的侵占造成盐沼面积大幅减少;过度渔业养殖,使得盐沼生态系统中的特定物种迅速增加,破坏了自然的食物链结构;围垦、大坝建设等改变水文过程、阻断潮汐,导致营养不足以及

高度盐渍化,盐沼特有的植被群落消失,该地区原生植被遭到破坏,自然演替序列发生中断,使得湿地生态系统发生快速陆向演替,物种组成和非生物环境因素等都变得与陆地生态系统更为接近。同时潮沟的阻断也断绝了生物迁徙、鱼类洄游、营养交换、淡水水交换、泥沙运输的通道,鸟类、甲壳类的栖息地遭到破坏,生物多样性降低。外来植物互花米草入侵也对盐沼湿地的生物群落和生态功能造成不同程度的影响。此外,工厂、生活废水、医疗、石油开发等造成盐沼水体的污染。

2.3 滩涂湿地生态问题 黄河三角洲的滩涂湿地为淤泥质、无植被覆盖或盖度极低的海洋滩涂。主要面临的问题为:滨海滩涂养殖、盐田开发、工业设施扩张、娱乐设施建设等侵占了大量的滨海滩涂湿地。防护堤坝的建设直接阻断滩涂潮沟系统,带来大面积的地表硬化,造成滩涂水文特征改变,包括改变地表径流、干扰地表水系下渗以及阻断海陆连通性等,进而造成滩涂湿地的结构破坏或功能丧失。工业、生活废水、油污、养殖废水等直接造成滩涂水、土环境的污染破坏。海水上升、风暴潮等气候也会加剧对滩涂的海水侵蚀,破坏地表结构,引起地质结构崩塌,造成滩涂紧缩、下陷等严重损害。

2.4 浅海水域生态问题 浅海水域主要指低潮时水深在0~6 m之间的永久性海域。由于黄河入海水量的下降,以及油田堤坝的建设对陆海的生态交互作用产生了重要影响,导致一些依赖浅海水域的水生生物大量衰退。例如,由于失去了泥沙夹带的重要饵料,浅海鱼类无法正常繁衍,进而造成浅海水域食物链断裂,浅海水域生态系统渔业功能严重丧失^[8]。另外,渔业不合理捕捞也是浅海生物资源退化的重要原因之一^[9]。

3 黄河三角洲生态修复目标

明确生态修复的目标是制定生态修复方案的依据,是评价生态修复成效的基础。具体到个案的修复目标需要因地制宜,但它们具有一些共性,如修复生态系统的完整性、恢复生态系统健康和保证生态系统的可持续发展等。生态修复目标需要揭示修复的终点(如退化之前的某一状态)和轨迹。当退化或受损不严重时,一些生态系统具有明确的可修复到历史某一时期状态的终点。由于现状的约束,另外一些情况下的修复可能没有适合的历史模型或参照,也无法确定更早的某一历史状态,需要根据选定的修复指标体系来确定修复目标。

3.1 淡水湿地生态修复目标 滨海退化淡水湿地的主要修复目标包括调节生态需水,维持一定的淡水湿地面积、水位和植被盖度,保证淡水沼泽湿地的完整性和正常功能发挥,消除水体污染。

3.2 盐沼湿地生态修复目标 滨海退化盐沼湿地的修复目标主要包括去除外来入侵种,恢复滨海盐沼湿地植被,调节滨海盐沼湿地水文条件,提升滨海盐沼湿地生物多样性,消除滨海盐沼湿地环境污染以及恢复滨海盐沼湿地栖息地功能。

3.3 滩涂湿地生态修复目标 滨海退化滩涂湿地的主要修复目标包括防止风浪作用下滩涂的蚀退,恢复潮沟连通性、消除污染、恢复湿地栖息地功能。

3.4 浅海水域生态修复目标 浅海水域主要修复目标包括维持一定的河流径流量和泥沙量,保证河口湿地的规模;维持河口湿地中浮游动植物的生物多样性;维护鱼类栖息地;消除各类水体污染。

4 黄河三角洲生态修复技术

湿地生态修复就是根据自然性、可行性等原则,制定生态修复目标,选取生态修复策略,恢复湿地原本的结构、功能,尽量使之达到稳定状态^[10]。生态修复一般是指人工修复,这不同于自然恢复。自然恢复过程是指去除外界压力或者干扰之后,湿地经过长期的自然过程恢复成为较为理想的生态系统,这种模式一般是针对湿地受损但没有超过一定阈值且具有可逆性的湿地生态系统。人工修复是指去除外界压力或者干扰后,单独依靠自然过程很难或者不能恢复到理想的状态,必须依靠人为干扰措施才能达到修复的目的,这种模式一般针对湿地受损超过一定阈值不具有可逆性的湿地生态系统^[11]。黄河三角洲湿地生态系统的受损空间异质性很大,修复过程应考虑自然恢复和人工修复相结合的模式,在实行严格的保护措施时,根据自我设计和自然演替理论,结合一系列的人工修复技术,对各种生物进行生态修复,达到设定的修复目标。

黄河三角洲退化滨海湿地生态修复技术根据修复目标的不同可分为以下几种类型:生物组分修复、水体修复、土壤改良和综合生境复原等技术(表2)。

4.1 生物组分修复技术 先锋物种引入技术,针对滨海退化盐沼湿地和淡水湿地,通过主要植被类型碱蓬、盐地碱蓬、

芦苇的移植、移栽,使其起到保护滩涂堤岸、提高初级生产力、改良盐碱地、缓解污染和丰富生物多样性等重要生态作用^[12]。

土壤种子库引入技术,主要包括滨海退化盐沼湿地和淡水湿地生态修复中盐地碱蓬种子库的加强、促萌发技术,柽柳、芦苇群落种子库重建技术。

入侵生物控制技术:通过物、化、生等措施,削除入侵植物的影响,控制其再次入侵。物理措施主要包括围堰、刈割、淹水、晒地和调水等;化学措施主要是“滩涂米草除剂”的使用^[13];生物替代措施主要是物理措施和化学措施实施之后通过移栽本地植物,达到控制外来物种的目的^[14-15]。

增殖放流技术:用于修复黄河三角洲水生动物种群及其多样性的主要措施之一。在渔业资源出现衰退的浅海水域中,根据水体中的渔业种类构成,释放不同种类、数量的鱼、虾、蟹、螺、贝等水生生物,使得水生生物群落结构得到合理配置,自然种群得以恢复。这种方法有助于改善种群结构、增加物种多样性、维持生态系统完整、维护渔业水域生态平衡^[16]。

4.2 水体修复技术 生态补水技术,主要通过修筑堤坝,将黄河丰水期和雨季淡水储存起来,用于旱季的淡水补充,以冲淡海水盐碱度,进而增加芦苇面积,为原生湿地生物的生存、繁衍提供场所^[17]。湿地生态补水技术通过对历史径流的大量模拟和生态水文过程分析,计算其生态需水量与补水量。此外,还需要对湿地生态补水方式、补水时间进行调试,寻找最优组合,建立长效补水机制。

水系连通技术主要包括疏通潮沟、涵洞改造和拆除堤坝。盐沼水体盐度受潮汐影响,增加水体流动性,有助于恢复岸边动植物群落。涵洞改造、拆除堤坝、恢复潮汐对盐沼的影响^[18-19],这些措施都可以方便快捷地恢复盐沼。拦海大堤促使地势快速升高,导致翅碱蓬受潮汐影响减小,从而引起群落退化。潮汐能够确保植物不因盐分结晶成盐鞘而死亡^[20],可有效防止翅碱蓬群落退化。通过水系连通技术,可以对潮间带的翅碱蓬群落进行人工恢复^[21]。

水体富营养化控制技术是通过物理方法(吸附、过滤等)、化学方法(氧化法、混凝沉淀法等)及生物方法(人工浮床法、种植水生植物法、微生物修复法、水生动物操纵法),控制水体营养物的含量,改善水体质量,预防富营养化发生。

4.3 土壤改良技术 石油污染土壤控制技术,中国第二大油田——胜利油田的产油区位于黄河三角洲内部,石油污染已直接或间接造成该地区湿地生态系统严重退化^[22]。通过传统的物理、化学方法以及较为洁净、有效且成本相对较低的植物修复技术,可以有效降低盐碱土中石油烃的含量。国内有关翅碱蓬、芦苇等盐沼植物修复石油污染的研究均发现当地植物可以在受污染的土壤中生长良好,并且降低盐碱土中的石油烃含量,达到改善土壤质量的目的^[23-26]。

盐渍土改良技术,是通过采取相应的物理、化学或生物技术,优化土壤性状。主要方法有淡水引入方式改善土壤水分状况,降低盐碱度;改善土壤的水分和透气条件,如物理翻

耕措施和微地形设置;选育推广种植耐盐碱植物;筛选土壤改良剂以及布设暗管排水系统等。

疏浚沉积物技术包括河道疏浚和改道技术。通过人工或机械方式对堵塞河道进行清淤、扩挖或者截弯取直河槽,拆除河道违章建筑设施、平整滩面,增加河道径流量,以疏通顺畅河道局部流路。

4.4 综合生境修复技术 综合生境修复技术主要包括鸟类栖息地模拟技术和人工鱼礁建设技术,通过综合上述措施,为鸟类以及鱼类提供良好的栖息、繁殖、生长发育的场所,达到恢复生物多样性的目的。

4.4.1 鸟类栖息地模拟技术。 针对受损的鸟类栖息地,根据鸟类的的生活习性,人工营造栖息环境,招引鸟类的定居与繁殖,恢复和提高鸟类的多样性。主要技术有生境岛隔离、微地形修饰、生态补水、矮围蓄水、人工鸟巢、设置鸟食投放区以及干扰隔离等^[27]。

4.4.2 人工鱼礁建设技术。 人工鱼礁是在水体中设置构造物(如混凝土构件、废旧船体、塑料或竹木结构等),改善水体质量,为鱼类生存提供良好环境^[28],更好的保护渔业资源,维持水生生物多样性,达到保持渔业资源的稳定和增殖的目的^[29]。

表 2 黄河三角洲滨海湿地修复关键技术

Table 2 Key techniques of coastal wetland restoration in the Yellow River Delta

类型 Type	关键技术 Key techniques	湿地类型 Wetland type	针对问题 Problem	修复目标 Remediation goal
生物修复技术 Biological restoration technique	先锋物种引入技术	盐沼湿地 淡水湿地	植被退化 海岸侵蚀	恢复湿地物种多样性
	土壤种子库引入技术	盐沼湿地	植被退化 海岸侵蚀	恢复湿地物种多样性
水体修复技术 Water restoration technique	入侵种控制技术	盐沼湿地	生物入侵	恢复湿地物种多样性
	增殖放流技术	浅海水域	动物多样性受损	恢复湿地动物多样性
	生态补水技术	淡水湿地	黄河断流 干旱少雨	恢复湿地水量供应
	水系连通技术	盐沼湿地 滩涂湿地	堤坝建设	恢复湿地水文条件
土壤改良技术 Soil improvement technique	富营养化控制技术	淡水湿地 浅海水域	水体污染	改善湿地水环境质量
	油污土壤控制技术	滩涂湿地 盐沼湿地	石油污染	恢复与改善湿地土壤环境质量
	盐碱地改良技术	盐沼湿地 滩涂湿地	土壤盐渍化	恢复与改善湿地土壤环境质量
综合生境修复技术 Comprehensive habitat restoration technique	疏浚沉积物技术	盐沼湿地 滩涂湿地	湿地淤积 泥沙沉积	维持基质稳定性,改造湿地微地形
	鸟类栖息地模拟技术	盐沼湿地 滩涂湿地 淡水湿地	栖息地退化	修复和改善栖息地环境
	人工鱼礁技术	浅海水域	动物多样性受损	恢复湿地动物多样性

5 黄河三角洲滨海湿地保护与修复建议

5.1 加强湿地科学研究,开展国际合作交流 目前,虽然对黄河三角洲滨海生态系统退化总体原因已有所了解,但对滨海湿地生态系统中各组分之间的相互关系及其相互作用机理了解仍不够深入。因此,应重点加强生态系统结构、功能、内在过程以及互作机制等领域的研究,减少方法上的不准确性^[30]。另外,与国内外相关机构进行深度合作,互相交流、学习先进的修复技术和管理经验,实现黄河三角洲的可持续发展。

5.2 建立生态修复技术示范区,编制修复技术规程 以黄河三角洲滨海湿地为依托,以盐沼、滩涂等典型滨海湿地的综合修复技术为主导,建设涵盖植被修复、地表径流控制、海陆水文作用调节、滩涂微地形修饰、土壤改良、水盐调节、水环境净化、土壤修复、生境重建、生物多样性恢复等多种技术的综合生态修复技术示范区。此外,开发滨海湿地生态修复的新技术,同时学习国内外典型的生态修复案例,总结其经验,编制修复技术规程,为我国其他区域滨海湿地生态修复工程的设计及施工提供技术支持。

5.3 加强湿地宣传与教育工作,实现公众参与 公众是参与湿地保护的主要群体,我国湿地保护与修复工作起步较晚,并且该地区的大多数群众参与湿地保护与修复不积极,所以现阶段急需加强宣传,增强公众保护意识,发动全民参与到湿地保护与修复工作中来,实现黄河三角洲滨海湿地的可持续发展。

参考文献

- [1] HE Q, BERTNESS M D, BRUNO J F, et al. Economic development and coastal ecosystem change in China[J]. Scientific reports, 2015, 4(1): 1-9.
- [2] BARBIER E B, KOCH E W, SILLIMAN B R, et al. Coastal ecosystem-based management with nonlinear ecological functions and values[J]. Science, 2008, 319(5861): 321-323.
- [3] 吴志芬, 赵善伦, 张学雷. 黄河三角洲盐生植被与土壤盐分的相关性研究[J]. 植物生态学报, 1994, 18(2): 184-193.
- [4] VAN GELDEL A, VAN DEN BERG J H, CHENG G D, et al. Overbank and channelfill deposits of the modern Yellow River delta[J]. Sedimentary geology, 1994, 90(3/4): 293-305.
- [5] 刘伟, 常军, 李涛. 现代黄河三角洲湿地时空变化及其保护对策[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(8): 216-217, 222.
- [6] 崔广州, 张绪良, 张朝晖, 等. 黄河三角洲滨海湿地生态系统的变化及保护对策[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(25): 12599-12600, 12687.

(下转第 91 页)

收集处理旱季混排污水,保障河道水质稳定达标。

4.3 河道生态空间保障 水陆交错缓冲带是指水面两边向岸坡爬升的由陆生和水生植被交错组成的,防止或转移由坡地地表径流、废水排放、地下径流所带来的营养盐、沉积物、有机质、农药及其他污染物进入河道的缓冲区域。预留或保护河道水陆交错缓冲带是河道生态空间保障的重要组成部分^[7]。①在四里河流域的城市建设和改造进程中,应对河道两岸实行生态坡岸建设或改造,并划定水陆交接线两侧 50 m 范围水陆交错缓冲带空间;②对目标水体水陆交错带范围进行保护,设置禁填区和设立保护标志牌,查处填占和侵害水陆交接带的行为;③建立水陆交接带监管机制,对水陆交错带进行监测、维护等综合管理。

4.4 河道生态修复 控制河道点源、面源污染,切断外源性营养物质的输入,是城市河道水体生态修复的重要前提。利用四里河河道开阔水面建设人工湿地,实施植物修复工程,可以进一步深度净化旱流污水。根据河道水体特征,人为构建沉水-挺水水生植物群落,能有效提高水体透明度,补充溶解氧,降解水体中氮磷营养物质,从而达到净化水质的效果^[8]。通过种植水生植物,既可以美化水域景观,又可以收获植物的方式将营养盐移出水体,从而达到净化水质、修复河道生态系统的目的。但实施生态修复过程中,应避免水生植物凋落腐烂分解引起的二次污染,做好适时适度收割调控

管理。

4.5 河道生态基流保障 生态基流是维持河流生态系统运转的基本流量^[9]。四里河基本没有生态基流,已不能简单称之为河流,径流被高度人工控制,枯水季节往往一潭死水;洪水季节污水倾泻,水质稳定达标得不到保障。为维护四里河生态系统稳定,应科学确定其生态流量,加强上游大房郢水库及其河湖水系的水量调度管理,维持四里河生态基流,特别是重点保障枯水期生态基流。

参考文献

- [1] 纪岚. 南淝河环境容量与水质模拟研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2004.
- [2] 许甘芸,陈骏. 城市河流生态环境修复探讨[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(20): 12323-12324.
- [3] 张彦辉,朱慧雯,吴蕾,等. 南淝河污水污染综合治理对策[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(24): 49-52.
- [4] 合肥市人民政府. 合肥市水污染防治目标责任书[Z]. 2016.
- [5] 潘宝,王晓辉,王秀,等. 南淝河主要水体污染物空间分布特征与污染源解析[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(13): 41-43, 75.
- [6] 尹澄清. 城市面源污染问题:我国城市化进程的新挑战[J]. 环境科学学报, 2006, 26(7): 1053-1056.
- [7] 邓红兵,王青春,王庆礼,等. 河岸植被缓冲带与河岸带管理[J]. 应用生态学报, 2001, 12(6): 951-954.
- [8] 伍亮,成水平. 城市景观河道生态修复研究进展[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(34): 16790-16792, 16814.
- [9] 穆文彬,于福亮,李传哲,等. 河流生态基流概念与评价方法的差异性及其影响[J]. 中国农村水利水电, 2015(1): 90-94.

(上接第 87 页)

- [7] 孙志高,牟晓杰,陈小兵,等. 黄河三角洲湿地保护与恢复的现状、问题与建议[J]. 湿地科学, 2011, 9(2): 107-115.
- [8] 崔树强. 黄河断流对黄河三角洲生态环境的影响[J]. 海洋科学, 2002, 26(7): 42-46. [9] SHEN G M, HEINO M. An overview of marine fisheries management in China[J]. Marine policy, 2014, 44: 265-272.
- [10] 崔保山,刘兴士. 湿地恢复研究综述[J]. 地球科学进展, 1999, 14(4): 358-364.
- [11] ELLIOTT M, BURDON D, HEMINGWAY K L, et al. Estuarine, coastal and marine ecosystem restoration: Confusing management and science: A revision of concepts[J]. Estuarine coastal and shelf science, 2007, 74(3): 349-366.
- [12] 管博,于君宝,陆兆华,等. 黄河三角洲重度退化滨海湿地盐地碱蓬的生态修复效果[J]. 生态学报, 2011, 31(17): 4835-4840.
- [13] 刘建,杜文琴,马丽娜,等. 大米草防除剂——米草净的试验研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(2): 410-411.
- [14] WANG G, QIN P, WAN S W, et al. Ecological control and integral utilization of *Spartina alterniflora*[J]. Ecological engineering, 2008, 32(3): 249-255.
- [15] 丁丽,徐建益,陈家宽,等. 崇明东滩互花米草生态控制与鸟类栖息地优化[J]. 人民长江, 2011, 42(S2): 122-124, 162.
- [16] 刘莉莉,万荣,段媛媛,等. 山东省海洋渔业资源增殖放流及其渔业效益[J]. 海洋湖沼通报, 2008(4): 91-98.
- [17] CUI B S, YANG Q C, YANG Z F, et al. Evaluating the ecological performance of wetland restoration in the Yellow River Delta, China[J]. Ecological engineering, 2009, 35(7): 1090-1103.
- [18] BELLI S S, ZEDLER J B. Handbook for restoring tidal wetlands[M]. Boca Raton: CRC Press, 2000.
- [19] 马春. 基于生态恢复的天津滨海地区湿地可持续管理研究[D]. 天津:南开大学, 2011.
- [20] 台培东,苏丹,刘延斌,等. 双台子河口国家自然保护区红海滩景观退化机制研究[J]. 环境污染与防治, 2009, 31(1): 17-20.
- [21] WANG Y, LIU R H, GAO H W, et al. Degeneration mechanism research of *Suaeda heteroptera* wetland of the shuangtaizi estuary national nature reserve in China[J]. Procedia environmental sciences, 2010, 2: 1157-1162.
- [22] 傅晓文. 盐渍化石油污染土壤中重金属的污染特征、分布和来源解析[D]. 济南:山东大学, 2014.
- [23] 于君宝,阙兴艳,王雪宏,等. 黄河三角洲石油污染对湿地芦苇和碱蓬幼苗生长影响的模拟研究[J]. 地理科学, 2012, 32(10): 1254-1261.
- [24] 许崇彦,刘宪斌,刘占广,等. 翅碱蓬对石油烃污染的海岸带修复的初步研究[J]. 安全与环境学报, 2007, 7(1): 37-39.
- [25] 张丽,王毅霖,周平,等. 石油烃降解菌-盐生植物联合修复石油污染盐碱土壤研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2018, 48(S1): 57-63.
- [26] 杜澄鑫. 大庆盐碱地石油污染地区植物根际土壤微生物的多样性研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨师范大学, 2014.
- [27] 舒莹,胡远满,郭笃发,等. 黄河三角洲丹顶鹤适宜生境变化分析[J]. 动物学杂志, 2004, 39(3): 33-41, 121.
- [28] 于海婷. 山东近海典型海湾河口渔业资源调查与生物群落结构分析[D]. 青岛:中国海洋大学, 2013.
- [29] 杨宝清,王树田,王熙杰,等. 山东省人工鱼礁建设情况调查报告[J]. 齐鲁渔业, 2007, 24(5): 19-22.
- [30] 蒋舜尧,朱建强,李子新,等. 国内外湿地保护与利用的经验与启示[J]. 长江大学学报(自科版), 2013, 10(11): 67-71, 113.