

湿地恢复研究现状及前瞻*

崔丽娟 张曼胤 张岩 赵欣胜 王义飞 李伟 李胜男

(中国林业科学研究院湿地研究所, 北京 100091)

摘要: 从湿地基质恢复、水文恢复、水环境恢复、湿地生物和生境恢复 4 个方面综述了目前国内外湿地恢复研究现状, 并提出应加强对动态监测与实地调查的结合、湿地恢复的长期定位研究以及基于生态水文的湿地生境恢复等方面的研究。

关键词: 湿地恢复, 水环境, 生态水文

中图分类号: P941.78 X171.4

文献标识码: A

文章编号: 1001-4241(2011)02-0005-05

Status and Outlook of Wetland Restoration Research

Cui Lijuan Zhang Manyin Zhang Yan Zhao Xinsheng Wang Yifei Li Wei Li Shengnan

(Research Institute of Wetland, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract National and international research progresses of wetland restoration were reviewed in terms of wetland matrix restoration, wetland hydrology restoration, water quality purification and the habitat recovery of wetlands. And it was suggested that the research on the combination of dynamic monitoring and field survey, long-term location study and ecological-hydrology-based habitat recovery should be enhanced.

Key words wetland restoration, water environment, ecological hydrology

湿地是位于水域和陆地之间的生态交错区, 可以控制水域对陆地的侵蚀, 对化学物质具有高效的处理与净化能力, 还能够提供滨海咸水、河口或淡水栖息地。湿地是一道天然屏障, 也是多种生物的避风港, 其价值远远高于人们最初的认识。然而, 由于自然因素和人为干扰的影响, 当今世界各地的湿地处于不断退化或即将退化的过程中。湿地恢复研究是当今恢复生态学研究的主要内容之一^[1]。保护湿地以及湿地生态的恢复, 对于维护生态平衡, 改善生态状况, 实现人与自然和谐, 促进经济社会可持续发展, 具有十分重要的意义^[2]。以下从湿地基质恢复、水文过程恢复、水环境恢复、湿地生物与生境恢复等 4 个方面对国内外湿地恢复研究现状进行综述。

1 湿地基质恢复

基质营养盐含量过高, 易导致水体中氮、磷等营

养元素的富集。研究证实, 即使在无外源污染物输入的情况下, 基质仍然会释放出大量的氮、磷, 导致水体富营养化^[4]。Chen 等研究表明, 用含镉、铜、铅等重金属污染的废水长时间浇灌人工湿地, 其流出液中重金属的含量远远低于 WHO 饮用水标准, 且主要集中于基底表层土壤^[5]。微生物在分解基质的过程中会消耗大量的氧, 从而抑制耗氧微生物对氮、磷等营养元素的降解^[6]。基质的清除有助于湿地水环境的恢复^[7]。涂建峰等^[8]认为, 湿地水体的直接净化目标在于抑制基质对氮、磷等营养元素的洗脱过程。加拿大、美国及荷兰等国家和地区从 20 世纪七八十年代开始, 对湖泊湿地进行了综合整治, 并开展了一系列研究和实践, 制订了污染基质的评判标准及生物毒性指标, 然而由于自身特点或目的不同, 污染指标控制差异较大^[9]。

目前, 较成熟的基质恢复技术有基质地形改造、

* 收稿日期: 2011-03-08

基金项目: 北京市科技计划重大项目北京市湿地生态系统保护与恢复关键技术研究示范 (D08040600580000); 国家十一五科技支撑计划项目湿地生态系统保护与恢复技术试验示范 (2006BAD03A19)

作者简介: 崔丽娟 (1968-), 女, 吉林白城人, 研究员, 主要从事湿地生态研究, 电话: 010-62824151, E-mail: lkycl@126.com, 地址: 100091 北京市颐和园后中国林业科学研究院湿地研究所

客土和清淤技术等。其中,地形改造和客土技术属于物理性恢复模式,技术简单,可借助机械实现;而基质清淤技术不仅要清除游离状淤泥,还应保证湿地生物正常的生理活动和湿地水文过程。刘小梅^[10]通过对滇池入湖河道治理的研究发现,在保留 10~20 cm 植物生长所需的软基质基础上,采用精确薄层环保清淤技术清除表层淤泥,可取得较好的治理效果。李旭东等^[11]提出,对于湖沼等受污染湿地的基质恢复,可考虑通过引进外部水源,或利用汛期充沛的雨量进行开堤清淤。不同的基质类型应采用不同的恢复技术。对于有机质含量过高的基质,需降低营养元素含量,同时增加矿质土壤,在恢复实践中可采用基质清淤、客土覆盖等技术;对于石驳岸、陡坡以及不适合湿地植物生长的浅滩,可通过地形改造、客土覆盖等技术,以矿质土营造浅滩基质,同时添加改土添加剂;而对于只有矿质土的区域,需要添加还原性土壤^[12]。

2 湿地水文恢复

水是维系湿地生态系统稳定和健康的决定性因子^[13]。湿地是敏感的水文系统,湿地水文条件在维护湿地结构和功能以及确定物种组成等方面是需要考虑的重要因素^[14]。在恢复工程中,对湿地进行水文控制的部分包括堤坝和土地工事、沟渠和水道、水流和水位控制设施等。这些设施的建设有利于创造良好的土壤和水环境,为持续发展湿地植物和吸引野生动物创造条件。

2.1 堤坝和土地工事

为了在恢复区内达到最大程度的土地漫灌,修筑堤坝以建立大块浸水区域是常用的措施,但由于没有考虑其内部的水位梯度,常因深度问题使得湿地植物无法繁殖、鸟类无法觅食和栖息。王国平等^[15]通过分析水利工程对向海湿地水文和生态的影响认为,霍林河上游筑坝蓄水致使河边洪泛湿地逐渐萎缩、破碎,各类野生生物的生境被大量压缩,食物链中断,生态平衡失调。此外,堤坝的位置应纳入土地的自然轮廓,所形成的浸水区域应能够使开放水域和湿地的效用最大化。为了保持堤坝的长期稳定性,选用合适的土壤、斜率和压缩度非常重要。有些土壤类型不适合修筑堤坝,如粗糙的沙土容易流失和被水侵蚀,有机土会逐渐分解致使堤坝缩小甚至溃塌。Kelley等^[16]研究发现,黏土、淤泥土和壤土有高压缩度、低缩水肿胀率,最适合作为堤坝材质。

2.2 沟渠和水道

通过修建沟渠或铺设专门的给水管道进行湿地直接输水,可作为缺水型湿地初期的有效恢复措施。美国的DTC新月公园通过修建砾石洼地将开发区的水沿陡坡输送到暴雨湿地。杨光俊等对银川宝湖研究表明,湖内的水生植物较丰富,为水禽鱼类提供了良好的栖息和繁殖地,其水源主要来自唐徕渠补水及地下水^[17]。除了从其他流域调集水源外,也可以利用雨水进行补给。雨水输水可以通过引力作用实现,如梯田式的阶梯补水、排水管网或泵。研究表明,利用泵排水可能导致水溶性物质增加^[18]。Holland等^[19]认为,雨水中含有较高浓度的氮和磷,容易引起水体的富营养化。因此,通过雨水补给,还应考虑沟渠铺建的材质,选择铺设对氮、磷等污染物具有较高净化能力的材料。

玛曲沼泽湿地的水文恢复实践表明,通过麻袋筑坝的方式分段填堵排水沟,并通过引水将汇聚在排水沟的水流以“扇型”形状逐级辐射至周边草场,从根本上缓解了因缺水导致的草场退化^[20]。该方法既保护了湿地周边植被,同时麻袋混装的草籽形成了新的植被层,加快了排水沟内及周边湿地植被的恢复。

2.3 水流控制设施

湿地需要相关设施和建筑以向湿地内提供水源、控制水位和减小洪涝灾害,如果正确设置和使用水流控制设施,就能够最大限度地类比自然水文系统,充分发挥其生态功能。水依靠重力自然流入优于用水泵送水,因此,在恢复实践中应尽可能通过上游拦坝分流等形式来营造形成重力自然水流的良好环境。

目前,湿地恢复工程有多种水流控制方法,其中大多数都包括调节水位、排水以及区域内小区块之间的截断或导向水流。常见的水流控制设施有槽堰、水闸等,其中槽堰的设计和建造简单,并能测量水流量等水力学参数,因此,在湿地恢复中应用较广。在由地势差异形成的湿地中,通过构建槽堰,可保持湿地较高的水位,改变水的供给机制,有效缓解干旱缺水问题。然而,在高污染负荷条件下,高水位容易造成淤塞,导致湿地水力传导系数降低,处理效果下降^[21]。此外,由于湿地常会因湿地植物的枯落和死亡而产生很多有机碎屑,有时在洪涝时,整株植物会被连根拔起,并随水冲向下游。因此,水流控制设施应同时使用碎屑栅等,以防止水管、水口堵塞。

3 湿地水环境恢复

湿地水环境恢复是通过控制污染源去除污染物,并结合换水、补水等措施改善湿地水体,以提高自净能力。目前,湿地水质恶化的主要形式为水体富营养化^[22],其消除的关键在于削减水体中的氮、磷污染负荷,以消除水体中藻类疯长的基础,降低藻类生物量,提高水体的透明度。主要恢复技术包括湿地植物修复技术、微生物修复技术、水生动物修复技术以及人工湿地净化技术等。

3.1 湿地植物修复技术

以湿地植物为主的富营养化水体修复系统是通过植物的吸附、过滤和沉淀以及根区微生物的降解作用来实现的^[23]。大型挺水植物能够通过自身的生长代谢大量吸收氮、磷等水体中的营养物质,其中一些种类还可以富集不同类型的重金属或吸收降解某些有机污染物,而通过人工收获将其固定的污染物带出水体,与藻类相比,更易于人工操控。周启星等^[24]认为,水生植物的根能够释放出多种有利于降解有机物或吸附固定有毒金属的有机化学物质,如低分子单糖、氨基酸、脂肪酸等,而且这些物质能够促进污染物向植物脱落组织的转移,并能够通过形态转化减少向地下水的迁移或淋溶。李秀珍等的研究表明,辽河三角洲 8 万 hm^2 芦苇人工湿地每年灌期大约可以去除 3 200~4 000 t 总氮和 80 t 活性磷,但这仅相当于其潜力的 $1/10$ ^[25]。朱鸣鹤等^[26]研究潮滩植物翅碱蓬对重金属的累计效应时发现,铜、锌、铅、镉 4 种重金属在不同潮滩均有比较明显的累积效应,且累积量在植物不同部位存在着明显的差异。

通过湿地植物改善水环境,在考虑湿地植物的环境适应能力和水质净化效果的同时,还应重视湿地植物自身对营养元素的吸收规律。植物对营养元素的吸收随季节不同而存在着差异,且不同植物器官对营养元素的累积特征也存在着显著的季节变化^[27],因此,收割植物应选择适宜的时期。然而,阳承胜等^[28]认为,用收割法去除重金属的策略在湿地恢复实践中取得的效果是有限的,植物修复应考虑选用生长迅速、生物量较大,且富集能力较强的植物。

3.2 湿地微生物和动物修复技术

微生物对氮、磷等污染物具有较强的降解和吸附累积能力,其中,根际微生物的生理活动可有效地促

进植物的结实和分裂^[29]。目前,以微生物进行湿地水环境修复的研究较多,其技术研发也取得了一定的成果。中国科学院南京地理与湖泊研究所利用固定化增殖氮循环细菌群 SBR 法净化富营养化湖水,经固定化细菌群 SBR 工艺净化后,湖水总氮下降了 75%,氨氮下降了 91.5%,COD 下降了 75%,水质得到明显的改善^[30]。研究发现,利用真菌生产生物菌肥,既可以增加农作物产量,又可减少农业面源污染对水体的污染^[31]。

部分鱼类以藻类等浮游植物为食,通过放养鱼类等水生动物,可以在一定程度上减缓水体的富营养化进程。李锦秀等^[32]认为,水体富营养化的防治除了减少藻类等浮游植物外,对浮游动物的防治也不能忽视。目前,较成熟的水生动物修复技术为鲢鳙混养技术,其技术关键是对放养数量的控制,在湿地水环境修复过程中,根据不同生物所占据的生态位空间差异,合理配置不同组分,充分利用其净化功能,从而既能够治理富营养化水体,又能够提高经济效益。

3.3 人工湿地修复技术

人工湿地能够通过物理、化学和生物的协调作用有效去除包括有机物、氮、磷、悬浮物、微量元素、病原体等在内的污染物,从而实现污水的高效净化。目前,较常见的人工湿地类型包括表流湿地和潜流湿地。表流湿地通常用于处理各种已初步处理的工业和生活废水以及雨水等,潜流湿地较适合于净化低污染物浓度的大量废水。

不同的人工湿地类型在污染物去除能力上不同,但是它们都能很好地去除氮、磷等营养元素,以及 BOD、COD、石油类、油脂类等多种污染物。其中,物理沉降过程、植物的还原过程和过滤作用是最重要的去除过程,能有效去除 90%~98% 的悬浮物质、颗粒有机物和重金属离子,而通过围隔、光降解和微生物过程能有效去除 95%~99% 的油脂^[33]。同样,通过沉降和过滤、自然死亡和 UV 降解等过程,人工湿地对病原体的去除率可达到 70%~95%^[34]。

目前,表流湿地在北美应用较多,约有 2/3 的人工湿地属于表流湿地类型,其处理场地面积维持在 10~100 hm^2 ,系统水深范围在 30~40 cm;而潜流湿地在欧洲发展较快,特别是德国等西欧国家已经开展了商业化运营,并取得了较好的经济效益,其技术体系也日趋成熟,如丹麦、德国、英国等国家都保持约

200个潜流湿地系统在正常运行^[35]。我国自“七五”期间开始对人工湿地进行研究,并于1990年7月在深圳建立了我国第一个人工湿地污水处理工程——白泥坑人工湿地处理系统^[36]。其工艺流程为原污水通过格栅进入到集水井、沉淀池,然后依次经过芦苇和香蒲碎石床后流出,最终排入天然河道,其出水水质符合国家地表水景观用水标准。

4 湿地生物与生境恢复

湿地生物是湿地生态系统保持健康稳定的关键组分^[37]。目前,适合湿地生物恢复的主要技术有物种选育和培植技术、物种引入和保护技术、种群动态调控技术、种群行为控制技术、群落结构优化配置与组建技术、群落演替控制与恢复技术等。随着生物技术的长足进步,又涌现出一批高效、可靠的分子生物技术,如基于微卫星 DNA 物种保护技术、基于随机扩增多态性 DNA 物种保护技术、基于扩增片段长度多态性物种保护技术以及基因重组技术等^[38]。但这些技术目前还局限于室内试验阶段,在湿地恢复实践中尚需进一步完善。

湿地生境恢复技术旨在通过各类工程技术措施提高生境的异质性和稳定性,维持物种适宜的栖息环境,包括湿地基质和地形恢复技术、湿地水文恢复技术和湿地岸带恢复技术^[39]。在恢复实践中,应根据恢复区物种生活习性和对环境适应能力的大小,改善湿地生境和物种栖息地。例如,在湿地核心地带营造生境岛,并在周边种植植物和放养鱼虾,为鸟类营造良好的栖息和觅食环境。有些鸟类常选择缓坡地带筑巢,通过地形改造、基质恢复等措施为鸟类提供可选择的栖息地,能够有效地改善其种群动态和群落组成^[40]。

5 结论与展望

近年来,国内在湿地恢复方面开展了许多研究和实践,也取得了不少成果,但与国际上同类研究相比仍存在一定不足,对于湿地恢复的研究多表现在时间上大尺度、低分辨率,在空间上宏观论述,研究成果尚需进一步更为详实的数据基础。湿地恢复与重建技术多采用见效快、作用期短的工程措施,而对于作用期长、效果稳定的生物恢复措施的研究多集中于定性研究,量化数据缺乏。

基于当前研究现状,今后应进一步加强以下几方

面研究:

1)动态监测与实地调查的结合。利用3S技术开展湿地资源调查工作,对湿地恢复的具体进程安排做整体规划,结合野外实践,提高数据精度和调查成果质量,建立湿地资源和湿地恢复基础数据库和相关专题图。2)湿地恢复的长期定位研究。湿地恢复是一项艰巨的工程,生物恢复技术可有效提高湿地生态系统的稳定性,提高系统自我维持能力,通过与工程措施的综合,采用定性定量相结合的方式,可以更好地完成退化湿地的恢复或重建过程。3)基于生态水文的湿地生境恢复研究。目前,尽管对湿地生境恢复进行了大量研究,但多集中在食物、郁闭度和地形整治等方面的恢复,而对于水深或水位与湿地生境,特别是鸟类栖息地之间的关系研究较少,结合水文过程的湿地生境恢复系统研究也极为缺乏。水文过程调控是湿地恢复的关键,在土地对湿地的支持作用中,地形和水文状况发挥了非常大的作用。基于生态水文的湿地生境恢复研究,有助于我们通过地形改造和水量调控等技术手段,改造湿地关键物种的栖息地,提高湿地生态系统结构和功能的稳定性。

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] 林炳挑. 湿地保护与湿地生态恢复技术 [J]. 资源与环境科学, 2010(6): 314-315.
- [3] 张明祥, 刘国强, 唐小平. 湿地恢复的技术与方法研究 [J]. 湿地科学与管理, 2009, 5(3): 12-15.
- [4] 董志龙, 刘娟. 富营养化浅水湖泊修复探讨: 以巢湖水环境修复为例 [J]. 甘肃科技, 2008, 24(21): 102-104.
- [5] Chen L Q, Liu Y, Yang Z F, et al. Ecological succession and sustainable development in Taihu Lake [J]. Journal of East China Normal University: Natural Science, 2003(4): 99-106.
- [6] Weber K P, Gehder M, Legge R L. Assessment of changes in the microbial community of constructed wetland mesocosms in response to acidic mine drainage exposure [J]. Water Research, 2008, 42(1/2): 180-188.
- [7] Brinson M M, Malvarez A L. Temperate freshwater wetlands: types, status and threats [J]. Environmental Conservation, 2002, 29(2): 115-133.
- [8] 涂建峰, 郑丰, 穆宏强. 湖泊富营养化的产生机制及主要影响 [J]. 水利水电快报, 2007, 28(11): 1-4.
- [9] 石正宝, 卢永金, 程松明. 苏州河底泥污染物控制指标的研究与应用 [J]. 上海水务, 2009, 25(2): 1-4.
- [10] 刘小梅. 河流污染治理技术在滇池河道水环境整治中的集成应用 [J]. 城市道桥与防洪, 2010(9): 185-187.

