

三峡库区消落带生态修复策略研究与实践

赵琴, 陈教斌* (西南大学园艺园林学院, 重庆 400715)

摘要 消落带因其环境特殊性所带来的环境与生态问题一直是国内外研究的难题。该研究以三峡库区为例, 在分析消落带的特点和生态环境问题的基础上, 综述了消落带生态修复策略的研究现状及其实践进展, 并展望了今后三峡库区消落带的环境治理和生态修复策略研究的方向及重点。

关键词 三峡库区; 消落带; 生态修复

中图分类号 X 171.4 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)34-0005-03

Study and Practice on Ecological Restoration Strategy of the Hydro-fluctuation Belt in the Three Gorges Reservoir Area

ZHAO Qin, CHEN Jiao-bin (College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwestern University, Chongqing 400715)

Abstract The environmental and ecological problems caused by the environmental particularity of the hydro-fluctuation belt have always been a difficult problem at home and abroad. Taking the Three Gorges reservoir area as an example, based on the analysis of characteristics and ecological environment problems in the hydro-fluctuation belt, the paper summarized the research status quo of ecological restoration strategy and progress in practice, and prospects the research direction and focus of environmental management and ecological restoration strategy in the hydro-fluctuation belt of the Three Gorges reservoir area.

Key words Three Gorges reservoir area; Hydro-fluctuation belt; Ecological restoration

为了满足水利工程、防洪发电和排淤等需求, 我国在全国各地修建了多处大型水库, 在水库运行时, 由于库区水位周期性消涨使得周围库岸在最高和最低水位线之间形成了季节性淹没和出露的消落带^[1]。三峡水库作为世界上最大的水利枢纽工程, 是一处典型的人工消落带, 建成完工后采用“蓄清排浊”的运行方案, 使得三峡库区每年形成高达 30m 高差的消落带, 由此而带来的一系列环境和生态问题日益明显和突出。

1 三峡库区消落带的主要特征

1.1 反自然枯洪规律 三峡工程完全建成后, 冬季蓄水发电, 夏季泄水防洪, 库区水岸由原来的冬陆夏水变为冬水夏陆, 建库前后库区的生态环境发生极大的变化^[2]。

1.2 消落幅度大 水库运行以来, 夏季的汛期水位降到 145 m, 冬季蓄水至 175 m, 每年形成高达 30 m 高差的消落带, 给库区植被的生存带来极大的考验^[3]。

1.3 生态类型复杂多样 由于消落带水位周期性消涨, 库岸不同高程的消落程度不同, 加上土壤基质、坡度、湿度等方面的差异以及人类频繁活动的干扰, 消落区域物种关系和生态类型复杂多样。

2 三峡库区消落带的生态问题

2.1 岸边环境污染 消落带是物质能量输送与转化的活跃地带, 库岸的生活及工业垃圾、农作物残留化肥农药等污染物直接进入水体, 导致水体污染和富营养化, 加上消落区域缺乏固有植被的拦截过滤, 自净能力低下, 极容易形成岸边水陆交叉污染带。

2.2 水土流失、地质灾害 水位的周期性涨落对库岸的侵蚀、冲击和浪淘极大地破坏了土壤的结构和稳定性, 可能引起泥石流、滑坡、崩塌等地质灾害, 加上雨径流的冲刷, 使得

表层土壤水土流失严重。

2.3 生物多样性降低及生态系统受损 三峡水库运行以来, 库岸原有陆生植被难以适应水位消涨的恶劣环境, 逐渐消亡或变异, 生物多样性降低, 同时生态系统类型减少, 结构脆弱、功能退化。

2.4 疾病隐患 岸边水陆交叉污染带容易滋生各种病菌和病原体, 加上消落区域泥沙淤积, 使得病菌难以扩散, 容易诱发各类流行疾病, 危害动植物的健康和生长。

3 生态修复策略研究与实践

针对库区消落带所引发的一系列生态环境问题, 大量专家和学者对三峡库区消落带的环境治理以及生态修复进行研究和实践尝试。植被作为生态功能的主体, 在消落带生态修复中至关重要, 目前消落带生态修复的问题主要是在两个方面: 一是适合消落环境植被筛选; 二是提供适应植被生长的环境, 对三峡库区消落带生态修复的研究也大多集中在适合水淹植物物种的筛选以及适宜植物生长的生境构筑两方面。

3.1 植被筛选研究 植物的筛选是消落带生态重建需要解决的关键问题之一, 消落带因其特殊的生态环境对植被的生存有着极高的考验, 作为消落带生态修复的物种必须具有好的耐淹性能、发达的根系和良好的固土效果以及减污截污的能力。已有许多研究者对三峡库区消落带植被的群落结构和耐淹性进行了大量调查研究, 开展了消落带适生植物的筛选, 并通过大量淹水模拟试验对植物的耐淹耐旱程度进行了测试, 初步研究成果表明: 池杉、落羽杉、水松、枫杨、秋华柳、南川柳、地果、新银合欢、水紫树、桑树、疏花水柏枝、枸杞等木本植物, 狗牙根、牛鞭草、喜旱莲子草、香附子、芦苇、藨草、双穗雀稗、羊茅、香根草、铺地黍、菖蒲、水蓼等草本植物能耐一定程度水淹, 可以考虑列为消落带植被恢复物种^[4]。

其中池杉、水松和落羽杉在生理学上具有喜水和耐水淹的特征, 适宜栽植在水分饱和的土壤环境中^[5-6]。秋华柳和

作者简介 赵琴(1995—), 女, 四川广元人, 硕士研究生, 研究方向: 风景园林规划与设计。* 通讯作者, 副教授, 硕士, 从事风景园林规划与设计研究。

收稿日期 2018-07-12

地果的淹水试验表明,在淹水深度为5 m和10 m时,二者的植株露水后均可以恢复正常生长,在淹水深度为15 m、20 m和25 m时,植株出水后难以恢复正常生长^[7]。桑树能够较强适应干旱和水淹交替的环境^[8]。在短期全淹和半淹环境下,枸杞均表现出一定程度的耐受性^[9]。枫杨在淹水试验过程中,其叶片的各项生理指标均表现出多种积极的适应性特征;对疏花水柏枝的生理生化特性研究表明,它是一种对水淹和干旱适应能力较强的物种^[10]。新银合欢幼苗适宜于土壤水分饱和或偏干旱环境下生长^[11]。

值得注意的是,虽然不同消落地区由于淹水强度带来的环境梯度效应基本一致,但原生植被的种类组成、地形、人为干扰强度及土地利用方式并不完全相同,土壤基质和消落程度的差异,适合消落带生态恢复的植被结构并没有统一的模式,必须因地制宜,根据不同消落区域的特殊情况选择适合生态修复的植被结构。

3.2 植被生境构筑的研究 库区水位周期性消涨过程中,水体对库岸的长期冲刷、侵蚀和浪淘使得土壤结构被破坏,植被生长基质极不稳定,植被难以扎根生存。因此,如何通过一定的工程辅助措施来构筑适合植被修复重建的生长环境十分重要。学者们对于适宜植物生长的生境构筑的研究大致可以归纳为对驳岸土壤基质进行加固的生态护坡技术研究,以及对驳岸进行形态上的改造使其适应水位消长的水位变动适应性的策略研究。

3.2.1 生态护坡技术的研究与实践。

(1)喷射绿化护坡技术。国内的喷射护坡绿化技术运用最广的主要有两种,由三峡大学开发的植被混凝土护坡绿化技术^[12]和由西南交通大学开发的厚层基材护坡绿化技术^[13]。二者的基本思路都是将有强度的混凝土材料和植被这两者的优点相结合,将植物种子和水泥、泥土、有机肥、保水剂、黏合剂、消毒剂等材料相混合,结合网和锚杆等支撑材料,在边坡岩土上喷射形成植物的生长层。这两种技术主要区别是所用黏合剂、有机质的类型和比例不同,所形成生长层的pH、抗侵蚀性能和强度等方面有一些区别,应结合不同消落区域的土壤情况选择性应用。裴得道等^[14]模拟了涌浪环境对30°和45°消落带边坡植被混凝土的侵蚀过程,实验结果表明,植被混凝土生态护坡技术能够极大地增强边坡的抗侵蚀能力。孙超等^[15]在植被混凝土生态护坡技术的基础上开发出适用于50°以下坡度护坡的防冲刷基材生态护坡技术(PEB),通过在河南燕山水库岩石岸坡上展开的实践表明,该技术具有良好的抗冲刷和使生态受损的岩石边坡较快恢复的性能,与植被混凝土生态护坡技术相比具有价格优势,在类似边坡的处理上可以广泛应用。

(2)混凝土构件护坡技术。鲍玉海等^[16]先后提出了自锁定消浪植生型生态护坡技术和串珠式柔性护岸技术。二者的原理都是通过一种自锁定植生型生态护坡构件相互串联形成柔性护坡结构,无需砂浆砼施工,仅依靠钢筋相互串联和构件体自嵌衔接,铰链式地覆盖在消落带坡面,在砖体种植穴中种植狗牙根、桑树、牛鞭草、香根草等耐水淹植被,

在消落区域形成连续的护坡缓冲带,减缓水位消涨对土壤冲击和浪蚀。相比之下,串珠式柔性护岸技术采用更加灵活的设计,能够克服单个构件体积太大、重量太重的缺点,更加便于材料的运输与施工^[17]。

(3)香根草双层加筋复合植被柔性板块技术。香根草双层加筋复合植被柔性板块技术的基本原理是通过植物群落进行加筋处理,使其茎部与根部相互连锁产生生物锚固作用,形成双层网状立体防护柔性板块结构,有效防止水流对库岸的浸蚀与冲刷破坏,在三峡库区长江北岸秭归县香溪河口的消落带生态防护的试验区,对香根草双层加筋复合植被柔性板块技术展开了应用并取得良好的效果^[18]。

3.2.2 水位变动适应性策略研究。在坡面地势较陡以及对于坡面地形比较复杂的地段,由于长期的涌浪冲刷,土壤流失严重,大量岩石裸露在外,普通固土护坡技术在此难以发挥作用,便可采取一定的水位变动适应性策略尽可能在消落区域蓄水,为植被提供稳定的水环境,使植被能够更好地适应水位变动,在高水位和低水位时均能够保持正常生长。

(1)燕窝植生穴。吴江涛等^[19]在湖北清江隔河岩库区消落带生态恢复实践中,构造燕窝植生穴用以种植耐水淹陆生灌木和挺水植物,并取得了良好的效果。

(2)分层蓄水策略。刘平等^[20]在太极湖湿地公园设计策略中提出了利用梯田式矮坝、反坡梯田、鱼鳞坑进行分层蓄水的策略,根据场地高程确定修筑高度2 m的小型坝体,以达到分层蓄水的目标。该策略的提出为消落带生态修复策略提供了新的思路。

(3)基塘系统。澎溪河湿地自然保护区的实验区的生态恢复中运用了多功能基塘系统,经过多年的淹没考验,如今基塘结构依旧稳定,植物生长情况良好,系统生态服务功能高效,生态效益良好^[21]。在三峡水库消落带实施的多功能基塘是应对季节性水位变化的一项生态工程尝试,它为消落带生态修复提供新途径的同时,也强调了生态系统结构和功能的整体性优化和生态系统服务功能持续性提升的思想。

(4)九宫格绿化种植盘技术。王加权等^[22]针对滨河消落带绿化,提出创新型九宫格绿化种植盘技术,该技术的优点在于水可以通过种植盘的圆柱形底盘形成物理绕流,使得种植盘能在水面漂浮并保持相对稳定,实现陆生植物向水面移植,减小水体消落对植被种类的限制,给三峡库区消落带的生态修复提供了新的思路和途径。

4 展望

消落带的环境治理和生态修复是一项系统而又复杂的工作,如何在保障河岸安全性与泄洪需求的前提下,尽可能增强河岸的渗透性,构建稳定的生态系统,实现消落带的自我调节和修复,还需要研究者们长期的探索和实践。

4.1 深入消落带适生植物筛选的研究 研究者已经通过消落带植物普查、基地种植实验、淹没模拟实验等方法对适合消落带植被恢复的植物进行筛选并取得了一定的成果,在此基础上进一步深入对消落带适生植物筛选的研究仍是消落带生态修复的重点。

4.2 加强工程辅助措施技术的研究 由于消落带驳岸基质的不稳定性,工程辅助护岸措施尤为重要,虽然已有大量学者和专家们提出各种工程辅助措施,但均对驳岸有一定的坡度限制以及仅停留在辅助草本植物和低矮灌木扎根生存,能够不受坡度限制,与乔木相结合的创新型工程辅助措施仍有待进一步研究。

4.3 因地制宜,分类治理 消落带类型多种多样,不同消落区域由于坡度、湿度、土壤类型、消落程度的区别而千差万别,同一区段不同高程的水淹环境和土壤基质也有一定区别,因此消落带的治理没有固定的模式,必须因地制宜,分类治理方能取得良好效果。

参考文献

- [1] 徐高福,卢刚,刘乐群,等.消落带研究现状与建设展望[J].绿色科技,2014(9):116-118.
- [2] 熊俊,袁喜,梅朋森,等.三峡库区消落带环境治理和生态恢复的研究现状与进展[J].三峡大学学报(自然科学版),2011,33(2):23-28.
- [3] 谢红勇,扈志洪.三峡库区消落带生态重建原则及模式研究三[J].开发研究,2004(3):36-39.
- [4] 卢刚,徐高福,刘乐群,等.中国水库消落带植被恢复研究进展[J].浙江林业科技,2016,36(1):72-80.
- [5] 李昌晓,钟章成.模拟三峡库区消落带土壤水分变化条件下落羽杉与池杉幼苗的光合特性比较[J].林业科学,2005,41(6):28-34.
- [6] 李昌晓,钟章成.模拟三峡库区消落带土壤水分变化条件下水松幼苗的光合生理响应[J].北京林业大学学报,2007,29(3):23-28.
- [7] 秦洪文,刘云峰,刘正学,等.三峡水库消落区模拟水淹对2种木本植物秋华柳 *Salix varietata* 和地果 *Ficus tikoua* 生长的影响[J].西南师范大学学报(自然科学版),2012,37(10):77-81.

- [8] 李佳杏,黄小辉,刘芸,等.模拟三峡库区消落带土壤水分条件下的桑树幼苗生长状况[J].蚕业科学,2012,38(2):210-215.
- [9] 秦洪文,刘正学,钟彦,等.三峡库区岸生植物枸杞对短期水淹的恢复响应[J].福建林学院学报,2013,33(1):43-47.
- [10] 陈芳清,谢宗强.三峡库区濒危植物疏花水柏枝的生理生化特性研究[J].广西植物,2008,28(3):367-372.
- [11] 李铭怡,刘刚,许文年,等.新银合欢在不同土壤水分条件下的适生性研究[J].水土保持研究,2013,20(2):259-262,266.
- [12] 许文年,叶建军,周明涛,等.植被混凝土护坡绿化技术若干问题探讨[J].水利水电技术,2004,35(10):50-52.
- [13] 杜永柏,郭奔,尤先兵.喷射厚层基材植被护坡适应性应用研究[J].交通科技,2006(3):70-72.
- [14] 裴得道,许文年,郑江英,等.水库消落带植被混凝土抗侵蚀性能研究[J].三峡大学学报(自然科学版),2008,30(6):45-47.
- [15] 孙超,许文年,周明涛,等.防冲刷基材生态护坡技术的研究与应用[J].水利水电技术,2009,40(1):37-40.
- [16] 鲍玉海,唐强,高银超.水库消落带消浪植生型生态护坡技术应用[J].中国水土保持,2010(10):37-39.
- [17] 钟荣华,鲍玉海,贺秀斌,等.水库消落带串珠式柔性护岸技术及其应用[J].世界科技研究与发展,2015,37(1):1-4.
- [18] 邓斌,陈邦群,郑巍伟,等.香根草双层加筋复合植被柔性板块技术在三峡库区消落带防护工程中的应用[J].交通科技,2013(4):144-146.
- [19] 吴江涛,许文年,陈芳清,等.库区消落带植被生境构筑技术初探[J].中国水土保持,2007(1):27-30.
- [20] 刘平,冯潇.人工水库消落带景观设计策略探索:以太极湖湿地公园景观概念设计为例[J].建筑与文化,2016(12):190-193.
- [21] 袁兴中,杜春兰,袁嘉.适应水位变化的多功能基塘系统:塘生态智慧在三峡水库消落带生态恢复中的运用[J].景观设计学,2017,5(1):8-21.
- [22] 王加权,陈文德.滨河消落带绿化种植盘设计[J].资源开发与市场,2014,30(10):1156-1157,1263,封4.

(上接第4页)

参考文献

- [1] 孙政华,邵晶,郭政.党参化学成分及药理作用研究进展[J].安徽农业科学,2015,43(33):174-176.
- [2] 冯佩佩,李忠祥,原忠.党参属药用植物化学成分和药理研究进展[J].沈阳药科大学学报,2012,29(4):307-311.
- [3] 聂松柳,徐先祥,夏伦悦.党参总皂苷对实验性高脂血症大鼠血脂和NO含量的影响[J].安徽中学院学报,2002,21(4):40-42.
- [4] 龚其海,谭丹枫,李菲,等.党参总皂苷对大鼠局灶性脑缺血性损伤的保护作用[J].中国新药与临床杂志,2011,30(5):339-342.
- [5] 韩春姬,韩龙哲,叶萌,等.轮叶党参总皂苷抗突变作用的实验研究[J].环境与职业医学,2004,21(5):397-400.
- [6] 张淑君,李明,王震寰,等.轮叶党参的化学成分及药理作用研究进展概述[J].中国药师,2016,19(2):347-350.
- [7] MAVERAKIS E, CORNELIUS L A, BOWEN G M, et al. Metastatic melanoma: A review of current and future treatment options[J]. Acta derm venereol, 2015, 95(5):516-524.
- [8] AQIL M, KAMRAN M, AHAD A, et al. Development of clove oil based nanoemulsion of olmesartan for transdermal delivery: Box-Behnken design optimization and pharmacokinetic evaluation[J]. Journal of molecular liquids, 2016, 214:238-248.
- [9] AHMAD N, AHMAD R, ALAM M, et al. Quantification and evaluation of thymoquinone loaded mucoadhesive nanoemulsion for treatment of cerebral ischemia[J]. International journal of biological macromolecules, 2016, 88:320-332.
- [10] SHU G F, KHALID N, CHEN Z, et al. Formulation and characterization of astaxanthin-enriched nanoemulsions stabilized using ginseng saponins as natural emulsifiers[J]. Food chemistry, 2018, 255:67-74.
- [11] 曹发昊,欧阳五庆,王艳萍,等.复方人参皂甙纳米乳的制备及其免疫增强作用的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2012.

- [12] 曹发昊,欧阳五庆,王艳萍,等.苦参碱纳米乳的研制及其对小鼠抗氧化作用的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(3):61-64.
- [13] CHEN Z, SHU G F, TAARJI N, et al. Gypenosides as natural emulsifiers for oil-in-water nanoemulsions loaded with astaxanthin: Insights of formulation, stability and release properties[J]. Food chemistry, 2018, 261:322-328.
- [14] ALKILANI A Z, HAMED R, AL-MARABEH S, et al. Nanoemulsion-based film formulation for transdermal delivery of carvedilol[J]. Journal of drug delivery science and technology, 2018, 46:122-128.
- [15] TAARJI N, DA SILVA C A R, KHALID N, et al. Formulation and stabilization of oil-in-water nanoemulsions using a saponins-rich extract from argan oil press-cake[J]. Food chemistry, 2018, 246:457-463.
- [16] AHAD A, AL-SALEH A A, AKHTAR N, et al. Transdermal delivery of antidiabetic drugs: Formulation and delivery strategies[J]. Drug discovery today, 2015, 20(10):1217-1227.
- [17] RAI V K, MISHARA N, YADAV K S, et al. Nanoemulsion as pharmaceutical carrier for dermal and transdermal drug delivery: Formulation development, stability issues, basic considerations and applications[J]. Journal of controlled release, 2018, 270:203-225.
- [18] MOSTAFA D M, KASSEM A A, ASFOUR M H, et al. Transdermal cumin essential oil nanoemulsions with potent antioxidant and hepatoprotective activities: *In-vitro* and *in-vivo* evaluation[J]. Journal of molecular liquids, 2015, 212:6-15.
- [19] MOSTAFA D M, EL-ALIM S H A, ASFOUR M H, et al. Transdermal nanoemulsions of *Foeniculum vulgare* Mill. essential oil: Preparation, characterization and evaluation of antidiabetic potential[J]. Journal of drug delivery science & technology, 2015, 29:99-106.
- [20] HEUSCHKEL S, GOEBEL A, NEUBERT R. Microemulsions-modern colloidal carrier for dermal and transdermal drug delivery[J]. Journal of pharmaceutical sciences, 2008, 97(2):603-631.

本刊提示 文稿题名下写清作者及其工作单位名称、邮政编码;第一页地脚注明第一作者简介,格式如下:“作者简介:姓名(出生年—),性别,籍贯,学历,职称或职务,研究方向”。