

三峡库区消涨带植被恢复策略*

卢志军^{1,2}, 江明喜^{1,2}

(1. 中国科学院水生植物与流域生态重点实验室; 2. 中国科学院武汉植物园, 武汉 430074)

摘要:三峡工程全面运行之后,水文条件发生巨大变化,新形成的消涨带(海拔145~175 m)原有植被大部分可能逐渐消亡。如何重建该地段植被成为科研人员和管理部门关注的热点问题。在文献综合分析的基础上,结合在三峡消涨带植被重建方面的前期工作,建议如下:首先对库区消涨带植被进行长期定位监测,了解新的水文条件下原有植被动态及命运,同时为消涨带植被人工重建提供备选物种;其次,评价土壤种子库恢复地上植被的潜力,结合地上植被监测结果,评价消涨带植被的自我恢复(更新)能力。在此基础上,综合生理生态学和生活史特征,筛选植被重建适宜物种。人工重建植被过程中,原有水田可以应用水生植物构建湿地植被;地势平缓,土壤条件较好的地段可以利用筛选的乔木、灌木和草本垂直配置构建人工植被。此后,至少需要5年监测和评估植被重建效果。

关键词:消涨带;植被重建;恢复生态学;三峡库区

中图分类号:Q948

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2012)03-0027-04

在完成第一阶段蓄水到135 m(2003年)和第二阶段蓄水到156 m(2006年)基础上,经过2008年(172.8 m)和2009年(171.4 m)实验性蓄水,2010年10月26日,三峡大坝首次达到设计最高蓄水水位175 m,标志着三峡工程开始全面运行。此后,库区水位将在145(丰水季节)~175 m(枯水季节)之间波动,库岸每年最高淹水位置和最低淹水位置之间形成一条面积约349 km²的消涨带^[1]。

三峡消涨带蓄水前大都是优质农田林地,或者是城镇、码头等人口稠密区,蓄水后由于周期性裸露而成为季节性淹没区或人工湿地,现有的陆生植物因不耐水淹而死亡。三峡消涨带面积大、生态环境问题突出,对水库的持久正常运行、长江水环境质量和库区群众的生产生活都将产生极大影响,已经成为当地政府和国家关注的重大环境问题。

库区消涨带植被能够提高库岸生产力,为野生动物栖息地提供物理结构和生物要素,并具有美学价值^[2]。三峡库区水淹季节反转、淹水时间延长,新形成的消涨带将显著改变河岸带环境条件^[3]。这可能对生物多样性、水质和人类的利用产生负面影响,而植被重建是提高消涨带生态系统适应能力的主要措施之一^[4]。开展消涨带植被重建研究对三峡库区

生态环境保护具有重要意义。本文通过分析研究有关水库消涨带植被重建文献,有针对性地提出三峡库区消涨带植被恢复策略,为该地段植被恢复提供参考。

1 三峡水库消涨带植被恢复思路

作为一种重要的生态过渡带类型,水库消涨带与自然河流的消涨带明显不同。自然河流的消涨带植被是植物长期的进化适应所形成的,而三峡水库消涨带才形成不久,植被自然恢复需要多长时间尚未有明确的定论,因此在研究工作开始前,提出了植被恢复的整体思路框架(图1)。

2 三峡库区消涨带植被动态

水文条件对水库消涨带植被的影响一直很受关注,因为成功恢复植被需要了解水位波动对原有植被多样性和功能的影响^[5],进而为水库管理者整合和开发提供具体的技术指导^[4]。对三峡库区而言,从1994年开始,陈伟烈等^[6]开始关注水库将来蓄水对库区原有植物和植被的影响,江明喜等^[7]首次对三峡地区河岸带植被群落进行了研究。随后,王勇等^[8-9]、白宝伟等^[10]基于自然消涨带植被数据,

* 收稿日期:2012-01-26 网络出版时间:2012-5-26 12:13

资助项目:国家科技支撑计划项目(No. 2006BAC10B01)

作者简介:卢志军,男,副研究员,博士,研究方向为植被生态学;通讯作者:江明喜,E-mail: mxjiang@wbcas.cn

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20120526.1213.201203.27_006.html

预测了大坝建成后 175 m 以下的植被。也有人认为蓄水到 175 m 以后,三峡库区消涨带将形成一个显著不同的植被带^[3]。

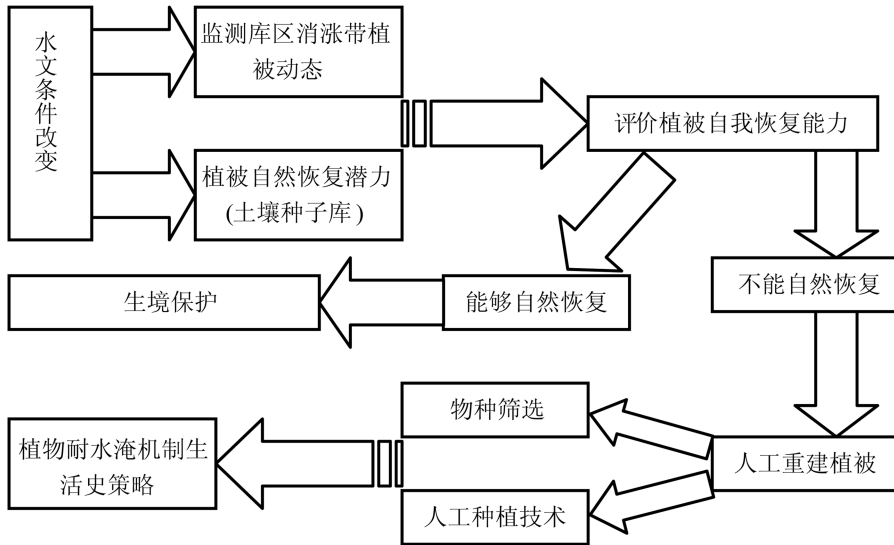


图 1 三峡库区消涨带植被重建策略

研究植被动态必须考虑地形、物种组成和人为干扰等因素^[11]。根据在三峡大坝上游长江干流从巴南到秭归 12 个监测点的研究发现,水淹显著改变了消涨带原有植被的物种组分和物种多样性,但一年生草本物种数和草本层生物量没有显著差异^[12]。未来 175 m 以下的植被中,草本种类尤其是一年生草本将占据优势。王强等^[13]、孙荣等^[14]、刘维暉等^[15]、王建超等^[16]的研究结果验证了这一结论。

三峡库区植被具有明显的空间差异,主要体现在沿长江的纵向差异(一般认为,奉节以东与奉节以西的植被显著不同)和沿海拔梯度的垂直差异。但对于消涨带内的植被,无论在纵向上(奉节以东与奉节以西)还是垂直方向上(145 ~ 156 m, 156 ~ 165 m, 165 ~ 175 m),都没有表现出显著差异^[12]。

在消涨带植被恢复选择适应水淹生境物种过程中,应分别从植物的生活史、生理学和形态学等角度进行筛选,尤其应重视生活史适应策略植物的应用。被水淹过的 156 m 以下现有优势草本和存活的灌木可以作为三峡库区未来消涨带植被恢复的备选物种^[12]。

3 三峡库区消涨带植被自然恢复潜力

土壤种子库是植被自然恢复的一个重要繁殖体来源,它在三峡库区消涨带植被恢复过程中可能具有重要意义。在三峡大坝上游 4 个研究地点(长寿、

忠县、巫山和秭归)共采集了 45 个土壤种子库样品,评估土壤种子库恢复三峡库区消涨带植被的潜力^[17]。研究发现,共有 45 个物种(20 个科)从土壤

种子库萌发,平均种子密度是 4 578 ind/m²(ind./m²),一年生植物在土壤种子库中占据优势,大部分地上植被中的木本植物和多年生草本植物没有在土壤种子库中出现,暗示一些非一年生植物通过土壤种子库恢复的可能性很小。王晓荣等^[18](2010 年)在秭归的研究结果与之类似。作为一个重要的繁殖体来源,在进行消涨带植被管理过程中,土壤种子库应该被考虑在内^[17]。

除了土壤种子库本身,消涨带上缘物种自然传播的种子也是该地段植被更新的重要种源之一^[19]。通过研究苍耳的土壤种子库,陈忠礼等^[20]认为水位周期性波动的影响下,种子在消涨带的分布趋于均质,但微生境异质性也会造成一些差异。

4 三峡库区消涨带植被重建植物筛选途径

4.1 生理生态适应

筛选适应长期、完全、深水淹没植物,是三峡库区消涨带植被重建物种筛选最容易想到的策略。消涨带植被恢复物种选择,目前多数研究集中在植物耐水淹的生理生态特性方面,如植物可以在水淹条件下进行光合作用^[21],其非结构性碳水化合物含量较高^[22]等;对消涨带常见多年生草本植物双穗雀稗(*Paspalum distichum*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*)和牛鞭草(*Hemarthria altissima*)进行模拟水淹实验发现,3 个物种都有很强的耐水淹能力,可应用于三峡库区消涨带植被的构建。但是,它们在长期完全水淹期间采取了不同的耐水淹策略^[23]。

4.2 生活史对策

相对生理学和形态学方面的植物筛选工作,生活史筛选工作较少,对能够在退水后蓄水前完成生活史的一年生草本的潜在作用重视不够^[12], Little 和 Jones^[24]曾建议在库区消涨带植被构建中采用草

本植物。根据储藏和水淹条件下种子的萌发特性,适宜三峡库区消涨带植被重建的物种包括:稗(*Echinochloa crusgalli*)、苍耳(*Xanthium sibiricum*)、繁穗苋(*Amaranthus paniculatus*)、合萌(*Aeschynomene indica*)、红刺果苋(*Amaranthus sp.*)、黄花蒿(*Artemisia annua*)、鳢肠(*Eclipta prostrata*)、婆婆针(*Bidens bipinnata*)、水蓼(*Polygonum hydropiper*)和皱果苋(*Amaranthus viridis*)^[25-28]。

5 三峡库区消涨带人工植被构建

在 Kinbasket 水库消涨带, Carr 和 Moody^[29] 发现, 植被重建最大的限制因子不是水库的运行(水位波动), 而是缺少起始的植被重建, 通过栽培目标物种可能实现这一过程。在消涨带植被构建的物种选择方面, 比较成功的例子有: Oregon 水库、Upper Arrow 湖、Ontofirvi 湖和 B. C. Hydro 的一些水库。结果发现: 落羽杉、柳树和苔草在消涨带表现最好, 说明这些植物适合种植在因水位波动产生强干扰的地段。一般认为, 消涨带植物重建计划至少需要 5 年, 以利于自我可持续维持地段植被覆盖恢复。

为了筛选适用于三峡库区消涨带植被重建的物种和人工种植模式, 在重庆忠县从 2007 年开始进行人工植被重建实验和示范基地建设。

5.1 利用水生植物构建湿地植被

在三峡水库蓄水前, 重庆库区消涨带区域内有大量的水稻田, 采取一定措施, 利用水生植物进行湿地植被恢复目前被证明是可行的。荷花(*Nelumbo nucifera*)物候特征与三峡库区水文节律吻合, 藕(根状茎)具有储藏养分的功能, 能够在夏季低水位季节充分生长, 开花结实, 美化景观, 完成生活史; 冬季高水位季节, 则依靠地下根状茎渡过。在美化景观的同时, 荷花具有一定的保持水土和消耗土壤养分功能, 能够降低营养元素向库区的释放; 此外, 莲子和藕都具有较高的经济价值, 能够给当地社区带来一定的经济收入。该模式适用于构建三峡水库消涨带湿地植被^[30-31]。

5.2 利用乔灌草垂直配置构建植被

鲍玉海等^[32] 建议通过应用自锁定消浪植生型生态护坡构件, 在构件中种植牛鞭草、狗牙根、野地瓜等, 从而保护水土并提高消涨带的生态功能。但在水淹深、水淹时间长的地段, 木本植物可能难于存活; 而在较高海拔, 草本植物可能又达不到预期的水土保持效果。因此, 可以利用乔灌草不同的生

活型、生活史和适应策略, 沿海拔梯度, 垂直配置, 构建消涨带植被。

目前的模式包括 3 种一年生草本, 狗尾草(*Setaria viridis*)、毛马唐(*Digitaria ciliaris*)和千金子(*Leptochloa chinensis*), 3 种多年生草本狗牙根、牛鞭草和双穗雀稗, 3 种灌木紫穗槐(*Araucaria cunninghamii*)、桑树(*Morus alba*)和秋华柳(*Salix variegata*), 3 种乔木河柳(*Salix chaenomeloides*)、池杉(*Taxodium ascendens*)、落羽杉(*Taxodium distichum*), 作为植物材料, 沿海拔梯度(145 ~ 175 m), 依次种植一年生草本、多年生草本、灌木和乔木^[33]。

6 展望

三峡水库消涨带植被恢复工作是一项十分艰巨的工作, 具有巨大的挑战性。来自国内外高等院校、科研机构等部门和系统都在三峡库区(包括支流)开展植被重建相关研究工作, 并取得了一定的科研成果, 但一般持续时间都较短, 应对所构建的人工植被进行长期定位监测(至少 5 年以上), 以评估物种选择和种植模式是否切实可行。在评估过程中, 除了生态效益和社会效益, 还应注意经济效益, 以实现可持续性发展。

致谢: 感谢忠县政府、石宝镇政府、新政村委会、社长和村民在项目执行过程中的大力协助。

参考文献:

- [1] 钟章成, 齐代华. 三峡库区消落带生物多样性与图谱[M]. 重庆: 西南师范大学出版社, 2008.
- [2] B C Hydro. CLBMON-33: Kinbasket and arrow Lakes Reservoir inventory of vegetation resources [EB/OL]. (2007-04-03) [2011-10-13]. http://www.bchydro.com/planning_regulatory/water_use_planning/southern_interior/columbia_river/kinbasket-revegetation.html.
- [3] New T, Xie Z Q. Impacts of large dams on riparian vegetation: applying global experience to the case of China's Three Gorges Dam [J]. Biodiversity and Conservation, 2008, 17: 469-493.
- [4] Abrahams C. Climate change and lakeshore conservation: a model and review of management techniques [J]. Hydrobiologia, 2008, 613: 33-43.
- [5] Geest van G J, Coops H, Roijackers R M M, et al. Succession of aquatic vegetation driven by reduced water-level fluctuations in floodplain lakes [J]. Journal of Applied Ecology, 2005, 42: 251-260.
- [6] 陈伟烈, 张喜群, 梁松筠, 等. 三峡库区的植物与复合

- 农业生态系统[M]. 北京:科学出版社,1994:1-2,18-20.
- [7] 江明喜,蔡庆华. 长江三峡干流河段河岸植物群落的初步研究[J]. 水生生物学报,2000,24(5):458-463.
- [8] 王勇,厉恩华,吴金清. 三峡库区消涨带维管植物区系的初步研究[J]. 武汉植物学研究,2002,20:265-274.
- [9] 王勇,吴金清,黄宏文,等. 三峡库区消涨带植物群落的数量分析[J]. 武汉植物学研究,2004,22:307-314.
- [10] 白宝伟,王海洋,李先源,等. 三峡库区淹没区与自然消落区现存植被的比较[J]. 西南农业大学学报:自然科学版,2005,27:684-687.
- [11] Amundsen C C. Reservoir riparian zone characteristics in the upper Tennessee River valley[J]. Water, Air and Soil Pollution, 1994, 77: 469-493.
- [12] 卢志军,李连发,黄汉东,等. 三峡水库蓄水对消涨带植被的初步影响[J]. 武汉植物学研究,2010,28:303-314.
- [13] 王强,刘红,袁兴中,等. 三峡水库蓄水后澎溪河消落带植物群落格局及多样性[J]. 重庆师范大学学报:自然科学版,2009,26:48-54.
- [14] 孙荣,袁兴中,丁佳佳. 三峡水库蓄水到 156 m 水位后白夹溪消落带植物群落生态学研究[J]. 湿地科学,2010,8:1-7.
- [15] 刘维璋,杨帆,王杰,等. 三峡水库干流和库湾消落区植被物种动态分布研究[J]. 植物科学学报,2011,29:296-306.
- [16] 王建超,朱波,汪涛. 三峡库区典型消落带淹水后草本植被的自然恢复特征[J]. 长江流域资源与环境,2011,5:603-610.
- [17] Lu Z J, Li L F, Jiang M X, et al. Can the soil seed bank contribute to revegetation of the drawdown zone in the Three Gorges Reservoir Region? [J]. Plant Ecology, 2010, 209: 153-165.
- [18] 王晓荣,程瑞梅,肖文发,等. 三峡库区消落带水淹初期地上植被与土壤种子库的关系[J]. 生态学报,2010,30:5821-5831.
- [19] Roelle J E, Gladwin D N. Establishment of woody riparian species from natural seedfall at a former gravel pit[J]. Restoration Ecology, 1999, 7: 183-192.
- [20] 陈忠礼,袁兴中,刘红,等. 消落带湿地土壤苍耳种子库研究[J]. 西南师范大学学报:自然科学版,2011,36:147-152.
- [21] 罗芳丽,曾波,陈婷,等. 三峡库区岸生植物秋华柳对水淹的光合和生长响应[J]. 植物生态学报,2007,31:910-918.
- [22] Tan S D, Zhu M Y, Zhang Q F. Physiological responses of Bermuda grass (*Cynodon dactylon*) to submergence[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2010, 32: 133-140.
- [23] Liao J X, Jiang M X, Li L F. Effects of simulated submergence on survival and recovery growth of three species in water fluctuation zone of the Three Gorges reservoir[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30: 216-220.
- [24] Little M G, Jones H R. Uses of herbaceous vegetation in the drawdown zone of reservoir margins[R]. Stevenage: Laboratory Water Research Centre, 1979.
- [25] 李连发,廖建雄,江明喜,等. 干藏和淹水对三峡库区 21 种草本植物种子萌发的影响[J]. 武汉植物学研究,2010,28:99-104.
- [26] 申建红,曾波,类淑桐,等. 三峡水库消落区 4 种一年生植物种子的水淹耐受性及水淹对其种子萌发的影响[J]. 植物生态学报,2011,35:237-246.
- [27] 申建红,曾波,施美芬,等. 储藏方式和时间对三峡水库消落区一年生植物种子萌发的影响[J]. 生态学报,2010,30:6571-6580.
- [28] 陶敏,鲍大川,江明喜. 三峡库区 9 种植物种子萌发特性及其在植被恢复中的意义[J]. 生态学报,2011,31:0906-0913.
- [29] Carr W W, Moody A I. Mica-Revelstoke-Keenleyside Water Use Plan: Potential Areas for Vegetation Establishment in the Kinbasket Reservoir [R]. Burnaby, B C: B C Hydro, 2003.
- [30] 江明喜,黄汉东,卢志军,等. 一种利用荷花构建三峡水库消落带湿地植被的方法:中国, ZL2009 1 0273270. 9 [P]. 2009-12-15.
- [31] Li B, Yuan X Z, Xiao H Y, et al. Design of the dike-pond system in the littoral zone of a tributary in the Three Gorges Reservoir, China [J]. Ecological Engineering, 2011, 37: 1718-1725.
- [32] 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.
- [33] 卢志军,江明喜,黄汉东,等. 利用乔灌草垂直配置构建三峡水库消涨带植被的方法:中国, ZL 2010 1 0111367. 2 [P]. 2010-02-05.

植物-生物绳组合生态浮床对富营养化水体的净化效果*

张亚娟¹, 刘存歧¹, 王军霞¹, 孙磊¹, 李洪波², 吴亦红²

(1. 河北大学 生命科学学院, 河北 保定 071002; 2. 河北省环境科学研究院, 石家庄 050001)

摘要:在白洋淀富营养化水体构筑薹菜(*Ipomoea aquatica*)浮床-生物绳组合系统一段时间后,带回实验室做静态分析,研究生物绳对微生物富集后对富营养化水体的改善效果。结果表明,薹菜浮床、薹菜-聚苯乙烯纤维绳组合浮床、薹菜-麻绳组合浮床对水中 TN、NH₄⁺-N、TP 和 DIP 均有较好的去除效果,薹菜浮床对水中 TN、NH₄⁺-N、TP 和 DIP 的去除率为 39.09%、44.55%、63.68% 和 53.70%,而薹菜-聚苯乙烯纤维绳组合浮床、薹菜-麻绳组合浮床的去除率分别为 49.46%、67.79%、54.72%、50.62% 和 60.43%、70.05%、71.70%、64.20%,可见组合式浮床比薹菜浮床的氮磷去除能力更强,而且以薹菜-麻绳组合浮床的净化效果最好。其中,薹菜浮床、薹菜-聚苯乙烯纤维绳组合浮床和薹菜-麻绳组合浮床的植物去氮贡献率分别为 36.13%、32.15% 和 27.11%,去磷贡献率分别为 71.85%、87.07% 和 74.34%,表明浮床中植物吸收只去除了系统中一部分 N,微生物的脱氮途径占主导作用;而对 P 的去除,本试验结果显示植物吸收起主要作用。可见,该组合生态浮床是改善富营养化水体的有效方法。

关键词:生态浮床;薹菜;富营养化;聚苯乙烯纤维绳;麻绳;氮;磷

中图分类号:X171;Q948.1

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2012)03-0031-06

随着全球湖泊富营养化程度的加剧,受污水体中氮、磷的去除成为备受关注的问题。诸多学者针对其治理开展了大量的研究工作,治理措施大概可以分为工程措施、化学措施和生物措施^[1],其中生物修复技术被认为是最科学有效和经济的水体修复技术^[2-4]。20世纪70年代以来,国内外对利用高等水生植物净化富营养水体进行了广泛的研究,应用了人工湿地、缓冲带、植物浮床系统等工程技术^[5],目前生态浮床技术以其能耗小、投资少、操作简便和处理效果好等优点正逐步成为水富营养化治理的关键技术^[6-8],所应用的浮床植物也包含了蔬菜^[9-12]、花卉^[13]、作物^[14]等。以往的研究多侧重于浮床系统对水体的净化效果。已有研究表明,水生植物组织中累积的氮仅占系统去除的一小部分,多数氮是微生物的硝化-反硝化途径去除的^[15-16],所以本试验利用“生物共生机制”原理,在浮床底部悬挂生物绳,试图通过该方法优化植物-微生物之间的协同作用,达到净化水体最佳效果。本文以传统浮床底部悬挂麻绳和聚苯乙烯纤维绳两种生物绳构成的组合浮床系统为对象,研究二种薹菜浮床对富营养水体氮磷

的去除效果,评价它们的生态优化效果,为优化生态浮床系统提供必要的理论依据。

1 材料与方法

1.1 植物材料

薹菜采用陆地育苗后,移栽到置于湖面上的浮床上培育至生长盛期备用,时间为60 d。

1.2 浮床框体和床体

浮床边框采用竹竿为材料,浮床大小为3 m×3 m,框体中间为纤维结成的网格作为床体以固定浮床植物。安装采用木桩固定法,使浮床固定成排。在网格下系有由麻绳和聚苯乙烯纤维绳,作为附着生物和细菌的附着基质,增强薹菜对营养盐的吸收速率。放置薹菜后浮床安装在白洋淀大田庄村附近一较封闭水域,水质指标为:TN 2.84 mg/L, NH₄⁺-N 2.61 mg/L, TP 0.217 mg/L, DIP 0.172 mg/L 和 CODMn 34 mg/L,参照 GB 3838—200,属于V类水。

将生长旺盛、大小一致的薹菜和浮床底部的生物绳分别带回实验室,在水族箱中做静态试验分析。试验用水为浮床周边水。水族箱为40 cm×40 cm×

* 收稿日期:2012-02-01 网络出版时间:2012-5-26 12:13

资助项目:国家水体污染控制与治理科技重大水专项(No. 2008ZX07209-007-06)

作者简介:张亚娟,女,硕士,讲师,研究方向为湿地生态学;通讯作者:刘存歧,E-mail:liucunqi@sina.com

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20120526.1213.201203.31_007.html