

# 三峡水库消落带植被重建途径及其固土护岸效应

鲍玉海<sup>1</sup>, 贺秀斌<sup>1</sup>, 钟荣华<sup>1,2</sup>, 高进长<sup>1,2</sup>, 唐强<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所 山地表生过程

与生态调控重点实验室, 成都 610041; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘 要:**三峡水库蓄水运行后将出现一个落差达 30 m 的消落带, 由于库水涨落和水文地质条件改变, 导致其植被破坏, 土壤裸露, 在降水、库水位周期性地涨落和波浪的作用下, 土壤侵蚀强烈, 如何重建消落带植被成为广泛关注的热点问题。通过系统总结三峡水库消落带植被重建的科研实践及经验, 提出了消落带植被重建的基本思路和途径, 并利用侵蚀钉定位观测方法, 对比分析了不同植被重建途径下的固土护岸效应。结果表明, 人工种植草地和自然恢复草地较其对照分别减少了土壤侵蚀 74% 和 55%, 显示出极显著的控制土壤侵蚀的效应。而表层土壤受人为扰动强烈的传统耕作耕地土壤侵蚀强度相较于对照高 11%。

**关键词:**三峡水库; 消落带; 土壤侵蚀; 植被重建; 固土护岸

**中图分类号:**X171.4; S157.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2014)06-0171-04

## Revegetation and Its Effects on Soil Reinforcement in the Riparian Zone of Three-Gorge Reservoir

BAO Yu-hai<sup>1</sup>, HE Xiu-bin<sup>1</sup>, ZHONG Rong-hua<sup>1,2</sup>, GAO Jin-chang<sup>1,2</sup>, TANG Qiang<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Mountain Surface Processes and Ecological Regulation, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Impoundment of the Three-gorge Reservoir (TGR) has formed 349 km<sup>2</sup> riparian zones with a 30 m annual water level fluctuating between 145 m and 175 m. Severe soil erosion has taken place within riparian landscape as the results of overlaid hydrological alternations, vegetation replacement and soil physic-chemical changes. How to restore the vegetation becomes a regional hot spot issue. Through the system summary on the scientific research practices and experiences of the vegetation reconstruction in Three-gorge Reservoir, the vegetation reconstruction basic strategy and ways are proposed in this study. Meanwhile, the soil erosion of different vegetation reconstruction was observed by erosion pins. The results show that the planted grass can reduce the soil erosion by 74%, followed by 55% in the natural grassland. The soil erosion intensity of traditional farmland is 11% higher than the control because of the intensive artificial disturbance in surface soil.

**Key words:** Three-Gorge Reservoir; riparian zone; soil erosion; revegetation; soil reinforcement

三峡水库消落带是人为调控水库水位形成的反季节变化的水、陆交错过渡区域, 落差 30 m, 岸线长度 5 578 km, 面积 349 km<sup>2</sup>, 是库区陆域与水域之间的生态缓冲带, 对水库、库岸带生态环境均有重大影响。三峡水库消落带幅度大、面积广及其长时间反季节性淹水等特性使其形成地球上特殊的地理、水文和生态单元, 备受广泛关注<sup>[1-4]</sup>。在长期反复淹水一出露和干—湿交替作用下, 消落带原有生境将发生剧烈

改变<sup>[5-9]</sup>, 许多植物不适应新生境而难以生存, 原有植被逐渐消亡, 植被与生物的多样性丧失, 生态系统结构简单化, 生态功能衰退, 进而造成库岸地质灾害发生的频率增加、土壤侵蚀异常强烈、库区景观质量下降等一系列生态问题, 已经成为当地政府和国家关注的重大环境问题。

消落带植被是其生态功能的主体, 不仅可以拦截入库泥沙和颗粒态污染物, 利用自身根系生长固土护

岸,还能极大改善景观效果,创造良好旅游条件<sup>[9]</sup>。因此,对植被的恢复和重建是消落带生态系统恢复和保护的重点,植被重建也是提高消落带生态系统适应能力的主要措施之一<sup>[10]</sup>。但水库型消落带植被恢复被认为是较困难的一项工作,虽有一些相关实验工作初见成效,如在我国华南地区的几个水库消落带已经筛选出几种适用于植被恢复的植物<sup>[11]</sup>。但这些研究都仅限于短时间或低水位的水淹。而三峡水库消落带淹水面积广、深度大、持续时间长,植被恢复的规模和难度要远大于这些工程。

科学地构建水库消落带的植被及其生态功能,无疑将会促进水利水电防洪与发电功能的高效发挥,对维护库岸带旅游环境,保持流域经济可持续健康发展都具有重要意义。本文通过 2007 年以来在三峡水库消落带开展植被重建的相关科研实践,介绍了在忠县库段消落带植被重建工作中的思路和技术途径,并对植被的固土护岸效应进行了观测分析,以期库区消落带的植被生态系统恢复提供参考。

## 1 研究区概况

研究区位于重庆忠县石宝镇(东经 108°07′—108°14′,北纬 30°23′—30°30′),濒临长江北岸,地处三峡库区腹地地带。属亚热带东南季风山地气候,降水充沛,无霜期长。年均温 18.2℃,最高气温 44.5℃,最低气温 -4.1℃,≥10℃ 的年积温 5 891.4℃,年均降水量 1 172.1 mm,降雨多集中在 6—8 月,占全年的 40%,最大年降雨量 1 614 mm,最小年降雨量 886.6 mm;年日照时数 1 327.5 h,太阳总辐射能 3.5×10<sup>5</sup> J/cm<sup>2</sup>,无霜期 341 d,雾日 47.3 d,相对湿度 80%。地层分布为第四系坡残积土层(Q<sub>4</sub><sup>dl+el</sup>)及侏罗系紫色岩中统沙溪庙组砂泥岩(J<sub>2</sub>s),岩性为泥岩和砂岩,呈互层结构,泥岩为紫红色,中厚层状,水平层理,砂岩呈黄色,裂隙发育,岩质较软,中等风化基岩体较完整,质硬;土壤为中性紫色土。土壤质地为中壤或轻壤,土层厚度一般为 0.5~2.0 m。研究区消落带高水位占比大,155 m 水位线上的消落带面积占 75%,主要集中在 155~165 m 水位线之间,其中 25°以下的消落带面积占总面积的 95%左右。消落带以土质为主,蓄水前多为水田、旱地,土质结构松散,力学强度低。

## 2 植被重建思路及途径

### 2.1 植被重建思路

三峡水库蓄水运行后,消落带原有陆生生态系统

演变为水陆交替控制的生态系统,原来适应陆生环境生长的植物物种逐步消亡演替,而植被演替过程需要多长时间尚未有明确定论。整个消落带的植物种类将较以前的陆生环境大为减少,生态系统结构和功能简化。因此,筛选适宜在消落带生长的物种和维持植物生长需要的基质环境是植被重建的基础。同时,植物耐淹、耐旱等生理特性差异造成其对水位变动的适应性不同,而且植被生态系统的构建要经过合理的物种搭配,正确的物种搭配构建的生态屏障所取得的环境效益要远超过单种植被<sup>[12]</sup>。因此,三峡水库消落带植被重建需根据消落带水位涨落节律、生境特点及其区位生态服务功能,突出不同海拔梯度的植被生长环境、人为干扰和抗干扰能力、生态服务功能需求等方面,以水陆两栖、根系发达、截污能力强、生物量可回收利用和景观效果优良的本地植物物种为主,因地制宜、合理配置、分区治理(图 1)。

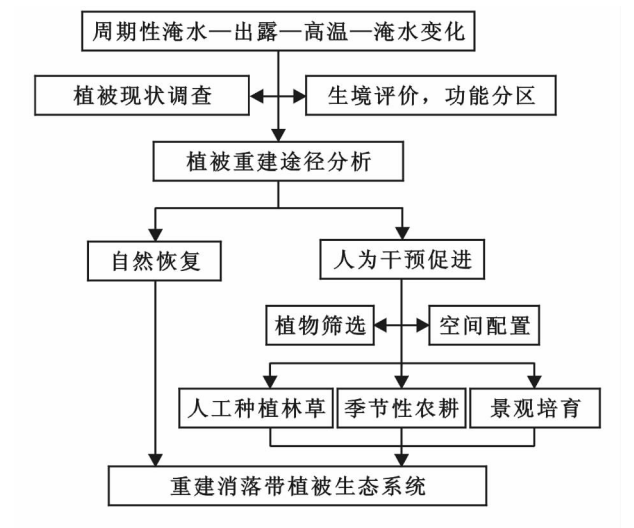


图 1 三峡水库消落带植被重建思路

### 2.2 植被重建途径

中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所联合中国科学院植物所、中国科学院武汉植物园,于 2007 年开始在忠县库段消落带开展了消落带适生植物筛选及生态系统重建的科学研究实践工作,进行了消落带多功能复合系统重建研究试验。目前已筛选出抗旱耐淹且具护坡效应的狗牙根(*Cynodon dactylon* (Linn.) Pers.)、双穗雀稗(*Paspalum paspaloides* (Michx.) Scribn.)、牛鞭草(*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf et C. E. Hubb.)、野古草(*Arundinella setosa* Trin.)、桑树(*Morus alba* L.)、旱柳(*Salix matsudana* Koidz.)、池杉(*Taxodium ascendens* Brongn.)、荷花(*Nelumbo nucifera* Gaertn.)等十余个耐淹植物品种,形成了一系列解决三峡水库消落带植被重建的技术途径(图 2)。

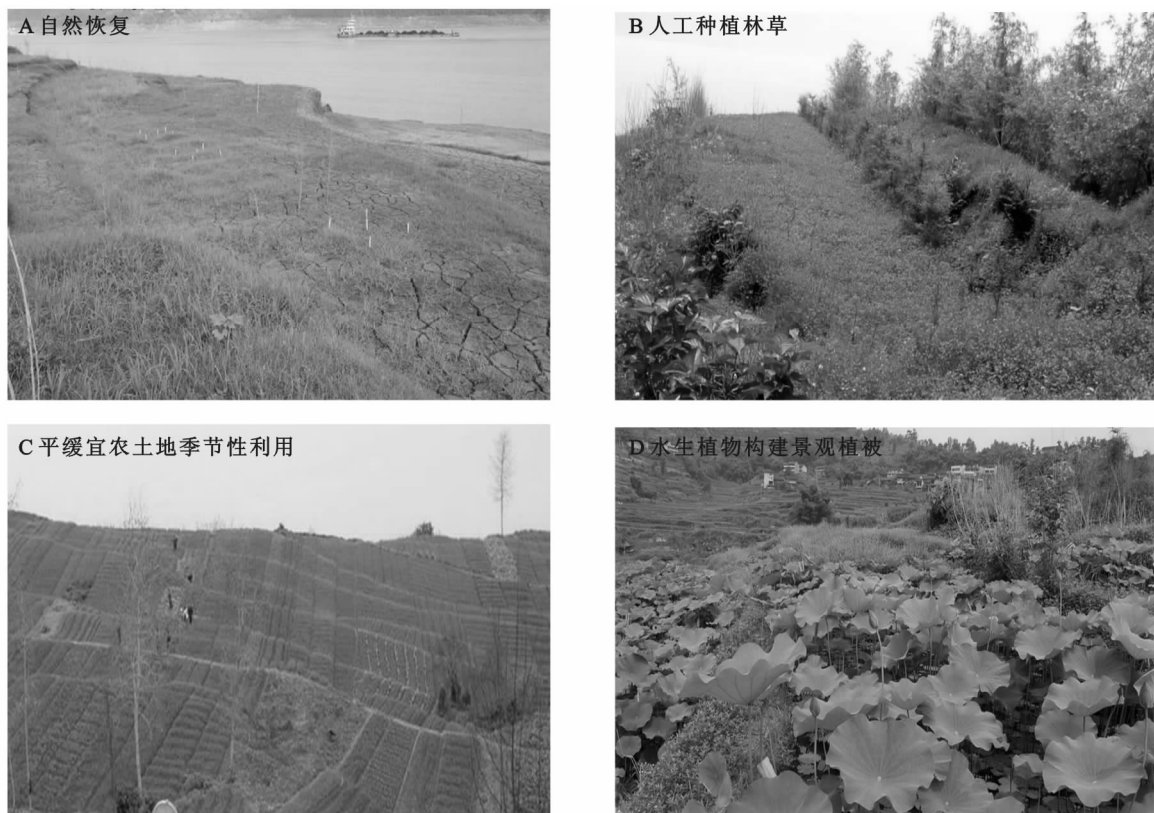


图2 三峡水库消落带植被重建主要途径

2.2.1 自然恢复 土壤种子库是植被自然恢复的一个重要繁殖体来源<sup>[13-14]</sup>。三峡水库消落带自然资源丰富,植物种类繁多。根据2006年156 m蓄水以后的调查,高等植物189种(56科),其中木本13种,草本176种(1 a生草本占绝大部分,多年生草本较少)。但由于三峡水库蓄水之后的人为清库,消落带内乔木和灌木已被人为清除,自然植被以草本为主。通过卢志军等<sup>[15]</sup>在三峡库区不同地理位置消落带开展的土壤种子库萌发试验表明,蓄水初期(2007—2008年)消落带的45个土壤种子库共萌发20科45种植物,萌发的幼苗总平均密度是4 578粒/m<sup>2</sup>。因此,作为一个重要的繁殖体来源,在消落带植被重建过程中,土壤种子库萌发驱动下的植被自然恢复应该被考虑在内。在人类活动较少、坡度5°以下、土层较深厚的消落带区域,可利用自然生物群落发展规律,使一些具有较强繁殖能力和适应能力较广的1 a生草本和多年生草本一方面从土壤种子库萌发,另一方面依靠消落带上缘物种自然传播,完成自然植被的恢复演替。

2.2.2 人工种植林草 三峡水库蓄水之前为旱生灌草地、森林采伐迹地或弃耕旱地的消落带,淹水之后一般植被覆盖率偏低,而且土壤浅薄、坡度多在5°以上。这些区域自然恢复难度大,恢复过程所需时间长,需要人为干预采取林草种植措施重建植被。人工植被重建首先以草先行,选择狗牙根、牛鞭草、双穗雀

稗、野古草等一些适合消落带气候和水文环境的草本植物。在草本植物生长的同时,进行桑树、旱柳、池杉等灌木及乔木的栽种。并沿海拔梯度(145~175 m),依据不同植被类型的生物学特性,依次进行1 a生或多年生草本种植(145~160 m)、乔灌草混交种植(160~175 m)。

2.2.3 平缓宜农土地季节性利用 消落带土地耕作利用主要是季节性开发利用,即在充分考虑消落带水位消涨规律、汛期洪水、当地农事活动等因素的基础上,以满足农作物生长期所要求的最短时间为前提,对消落带不同海拔高程的土地进行季节性利用。如生产周期较短的作物(玉米、短季节蔬菜等)布局在海拔较低的160~165 m的区域;生产周期较长的作物(油料作物、瓜果作物等)布局在海拔较高的165~175 m区域。海拔145~160 m间的消落带,每年有7~8个月的时间被水淹没,可利用时间相对较短,并且易受汛期洪水的短期淹没,该区域不宜大规模开发利用。同时为了最大程度地保护消落带的生态环境,对消落带土地资源的农业利用必须做到在生产的各个环节都实行无公害清洁生产、免耕技术和农业废弃物回收利用,实施合理轮作、套间混种、用养结合。农村居民点及移民新村附近消落带,优先安排就近后靠农村移民进行农业种植利用,禁止畜禽散放式养殖。

2.2.4 水生植物构建景观植被 旅游风景名胜区

(含游人视线范围)、农村开阔较平坦大面积消落带和生态景观结构关键区段消落带,按照景观塑造和生态缓冲净化要求进行植被生态系统培育建设。在三峡水库蓄水前,消落带区域内有大量的水稻田,采取一定措施利用荷花、睡莲(*Nymphaea tetragona Georgi*)、黄菖蒲(*Iris pseudacorus* Linn.)等水生植物进行湿地植被恢复,同时在坡度平缓的地段种植池杉、旱柳等植物。在美化景观的同时,这些水生植物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水库水体的释放,此外,部分水生植物果实如莲子和藕都具有较高的经济价值,能够给当地农民带来一定的经济收入。

### 3 植被重建的固土护岸效应

消落带土壤侵蚀受植被、波浪、降雨、地形、土壤

质地和结构等因素共同影响。为了分析植被重建的固土护岸效应,于 2008 年对研究区地形条件一致的自然恢复草地、人工种植草地、点播耕地和传统耕作耕地分别布设了侵蚀针样方,每个样方 3 m×3 m,侵蚀针长度为 60 cm,直径 0.6 cm,在样方内按 50 cm 距离呈 7 行×7 列的网格状、共 49 根侵蚀针垂直坡面钉入地表,侵蚀针上端与地表齐平,次年退水后用钢卷尺测量侵蚀针出露长度,获取土壤侵蚀厚度,共进行了连续 4 a 的定位观测,观测结果见表 1。通过与其对照(未种植任何植被)的对比表明,消落带植被可以显著降低土壤侵蚀强度,其中人工种植草地减蚀效应可达到 74%,其次为自然恢复草地,减蚀效应为 55%。但是传统耕作耕地由于每年均对表层土壤进行翻耕扰动,其侵蚀强度最为剧烈,土壤侵蚀模数达到 92 474 t/(km<sup>2</sup>·a)。

表 1 消落带不同植被重建条件下的土壤侵蚀情况

对比项目	人工种植草地	自然恢复草地	点播耕作耕地	传统耕作耕地	裸地
土壤类型	紫色土	紫色土	紫色土	紫色土	紫色土
样地所在海拔/m	160~162	160~162	160~162	160~162	160~162
土壤容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.38	1.41	1.53	1.56	1.63
坡度/(°)	15	15	15	15	15
植被组成	狗牙根	狗牙根+苍耳	玉米+红薯	玉米+红薯	裸露地表
植被盖度/%	95	77	50	50	0
年均土壤侵蚀厚度/cm	1.5	2.6	3.5	5.8	5.0
土壤侵蚀模数/(t·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	21340	37794	54418	92474	83180
减蚀效益/%	74	55	34	—	—

### 4 结论与讨论

在消落带植被重建过程中,利用土壤种子库进行自然恢复的方法应该被考虑在内。对临近城镇、居民点和重要景区等区位比较重要的重点部位消落带,可根据区位地形和海拔梯度条件,采取人工种植林草、平缓宜农土地季节性利用和水生植物构建景观植被等途径进行植被重建。

在三峡水库消落带进行植被重建固土护岸效应显著,无论是人工种植草地还是自然恢复草地均可减少土壤侵蚀强度。此外,人为扰动后的消落带土壤侵蚀加剧明显,因此应尽量避免对消落带土壤的人为扰动,季节性农耕利用只可在平缓土地上进行,同时大力推广免耕技术的应用,减少表层土壤结构和植被的破坏。总之,三峡水库消落带植被重建需深入分析消落带主要的生态环境问题,根据区位生态服务功能需求和地形条件因势利导提出不同的重建途径,同时对所构建的人工植被进行长期定位监测,以评估植物物种选择和重建方式是否切实可行。

#### 参考文献:

[1] New T, Xie Z. 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(13):3149-3163.

[2] 任雪梅,杨达源,徐永辉,等. 三峡库区消落带的植被生态工程[J]. 水土保持通报,2006,26(1):42-43.

[3] 周永娟,仇江啸,王姣,等. 三峡库区消落带生态环境脆弱性评价[J]. 生态学报,2010,30(24):6726-6733.

[4] 黄川,谢红勇,龙良碧. 三峡湖岸消落带生态系统重建模式的研究[J]. 重庆教育学院学报,2003,16(3):63-66.

[5] 戴方喜,许文年,陈芳清. 对三峡水库消落区生态系统与其生态修复的思考[J]. 中国水土保持,2007(12):6-8.

[6] 贺秀斌,谢宗强,南宏伟,等. 三峡库区消落带植被修复与蚕桑生态经济发展模式[J]. 科技导报,2008,25(23):59-63.

[7] 谢德体,范小华,魏朝富. 三峡水库消落区对库区水土环境的影响研究[J]. 西南大学学报:自然科学版,2007,29(1):39-47.

表 5 土壤颗粒分形维数与土壤理化指标的相关性

土样	有机质	容重	总孔隙	毛管孔隙	非毛管孔隙	>0.25 mm 团聚体含量	初渗率	稳渗率
崩积体	-0.10	0.22	-0.20	-0.17	-0.15	0.16	-0.14	-0.11
崩壁	0.86**	-0.76**	0.77**	-0.57**	0.67**	0.76**	0.63**	0.65**

注:表中\*表示关系达到极显著水平( $P<0.01$ );\*表示关系达到显著水平( $P<0.05$ )。

3 结论

通过对崩积体的颗粒组成及分形维数特征进行分析,并与崩壁土壤的性质相比较可知:

(1) 崩积体的砾石、砂粒、粉粒含量均较高,红土层主要以砂粒和粉粒为主,砂土层主要以砾石、砂粒及粉粒居多,碎屑层以砾石和砂粒含量为主;

(2) 崩积体及崩壁土体的颗粒分形维数值均相对集中,崩壁土体的颗粒分形维数可以表征花岗岩风化壳的风化强弱及抗蚀强度,而崩积体土壤的颗粒分形维数则一定程度上反映了细颗粒的损失。

(3) 通过多元线性逐步回归分析表明黏粒含量是影响崩积体及崩壁土壤颗粒分形维数的主要因素,均可通过黏粒含量建立土壤颗粒的分形维数方程。但由于崩积体土壤黏粒含量低,颗粒之间的粘结力小,土壤很难再形成与崩壁土壤相似的土壤结构,土质疏松,很容易被雨滴溅蚀及被径流的冲刷。

(4) 分形维数与土壤理化指标相关分析表明,崩壁土体的颗粒分形维数大小能够表征土壤的理化特征,而崩积体土壤颗粒分形维数无法真实反映崩积体的理化性质。

参考文献:

[1] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京:科学出版社,2004.

[2] 蒋芳市,黄炎和,林金石,等. 崩岗崩积体土壤渗透特性分析[J]. 水土保持学报,2013,27(3):49-54.

[3] 何腾兵. 贵州山区土壤物理性质对土壤侵蚀影响的研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1995,1(1):85-95.

[4] 陈子玉,顾祝军. 南方水蚀区不同侵蚀程度土壤粒径分形研究[J]. 水土保持研究,2013,20(4):13-16.

[5] 吴尧,姚健,吴永波,等. 岷江上游典型植被下土壤分形特征及对水分入渗的影响[J]. 水土保持通报,2012,32(2):12-16.

[6] 罗明达,杨吉华,房用,等. 沂源石灰岩山地不同植被类型土壤颗粒分形特征研究[J]. 水土保持研究,2010,17(3):17-21.

[7] 吴志峰. 华南花岗岩风化土体粒度成分的分形特征[J]. 中国水土保持,1997(5):17-19.

[8] 高君亮,李玉宝,虞毅,等. 毛乌素沙地不同土地利用类型土壤分形特征[J]. 水土保持研究,2010,17(6):220-223.

[9] 朱华,程先富,王世航,等. 基于 GIS 的安徽省表层土壤颗粒分形特征研究[J]. 水土保持研究,2009,16(4):146-149.

[10] 林敬兰,黄炎和. 崩岗侵蚀的成因机理研究与问题[J]. 水土保持研究,2010,17(2):41-44.

[11] 林敬兰,黄炎和,蒋芳市,等. 崩岗土体的渗透性能机理研究[J]. 水土保持学报,2013,27(2):53-56.

[12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.

[13] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定法[M]. 北京:科学出版社,1978.

[14] 刘目兴,聂艳,于婧. 不同初始含水率下粘质土壤的入渗过程[J]. 生态学报,2012,32(3):871-878.

[15] 杨培岭,罗远培,石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. 科学通报,1993,38(20):1896-1899.

[16] 郭中领,符素华,王向亮,等. 北京地区表层土壤分形特征研究[J]. 水土保持通报,2010,30(2):154-158.

(上接第 174 页)

[8] 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.

[9] 汤显强,吴敏,金峰. 三峡库区消落带植被恢复重建模式探讨[J]. 长江科学院院报,2012,29(3):13-17.

[10] Abrahams C. Climate change and lakeshore conservation: a model and review of management techniques [J]. Hydrobiologia, 2008,613(1):33-43.

[11] 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.

[12] 安树青. 湿地生态工程:湿地资源利用与保护的优化模式[M]. 北京:化学工业出版社环境科学与工程出版中心,2003.

[13] 卢志军,江明喜. 三峡库区消涨带植被恢复策略[J]. 重庆师范大学学报:自然科学版,2012,29(3):27-30.

[14] 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(21):5821-5831.

[15] 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(3):303-314.