

西南干旱河谷区水库消落带柳树造林效果评价

鲍玉海¹, 郭丰², 胡保生³, 王建华³, 贺秀斌¹, 张淑娟^{1,4}

(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. 四川省水土保持局, 成都 610041; 3. 凉山州大桥水电开发总公司, 四川 西昌 615000; 4. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 适宜耐淹抗旱植物的遴选是消落带植被恢复的关键。为探讨柳树在西南干旱河谷区消落带植被恢复中的可行性和实际效果, 以凉山州大桥水库消落带柳树栽植试验区为研究对象, 通过栽植当年和经历 1 个消落带淹水一出露过程的柳树林地每木调查, 定量评价了柳树栽植的成活率和保存率, 并对比分析了不同下垫面下的柳树树高、胸径、冠幅等生长表现。同时, 利用简易水土流失观测样方对土壤基质保育措施的水土保持效应进行了观测分析。结果表明: (1) 柳树能较好地适应大桥水库消落带环境, 当年成活率达到 98%, 第 2 年保存率为 96%。(2) 大桥水库消落带不同土壤条件的柳树生长表现为棕壤 > 黄棕壤 > 红壤。(3) 柳树生长表现随着淹水深度的增加而降低, 大桥水库消落带淹水深度低于 5 m 的区域柳树生长表现最好。(4) 石坎筑台较适宜大于 15° 的陡坡区造林使用, 可有效防止柳树栽植穴土壤基质的流失和破坏, 减蚀效益达到 75%。

关键词: 消落带; 植被恢复; 柳树; 生长表现

中图分类号: S727.26; S157.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)05-0216-04

Assessment on the Effect of the Afforestation With Willow Along the Reservoir Riparian Zone in the Dry Valley Area of Southwest China

BAO Yuhai¹, GUO Feng², HU Baosheng³, WANG Jianhua³, HE Xiubin¹, ZHANG Shujuan^{1,4}

(1. Key Laboratory of Mountain Surface Processes and Ecological Regulation, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 2. Soil and Water Conservation Bureau of Sichuan Province, Chengdu 610041, China; 3. Daqiao Hydropower Developing General Corporation of Liangshan Prefecture, Xichang, Sichuan 615000, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The selection of suitable plants is the key point to revegetation in the reservoir riparian zone. In order to assess the feasibility and effect of the afforestation with willow along the reservoir riparian zone in the dry valley area of southwest China, a case study was conducted on the revegetated land along the riparian zone of Daqiao reservoir in Liangshan prefecture by investigating the survival rate, preserving rate, and growth performance in the different site conditions. Meanwhile, the effect of soil conservation measures was monitored by the technique of erosion pins. The results showed that: (1) willow had a higher survival rate and preserving rate in the different site conditions of the Daqiao reservoir riparian zone, which were 98% and 96%, respectively; (2) the growth performance of the willow was affected by the soil conditions, which ranked brown soil, yellow-brown soil, and red soil; (3) the growth performance of willow decreased with the increase of submerge depth, and the willow had best growth in the area inundated less than 5 meters; (4) stone barricade was more suitable for the steep slope with more than 15 degrees. It prevented the soil loss from the planting hole, and had an erosion reduction efficiency of 75%.

Keywords: reservoir riparian zone; revegetation; willow; growth performance

水库消落带是水库水位调节形成的水陆交错、衔接和过渡带, 受水陆过程高强度交替反复作用形成生态脆弱带, 同时构成水库关键生态功能区^[1-4]。消落带是泥沙、污染物入库的最后一道屏障, 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^[5-7]。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

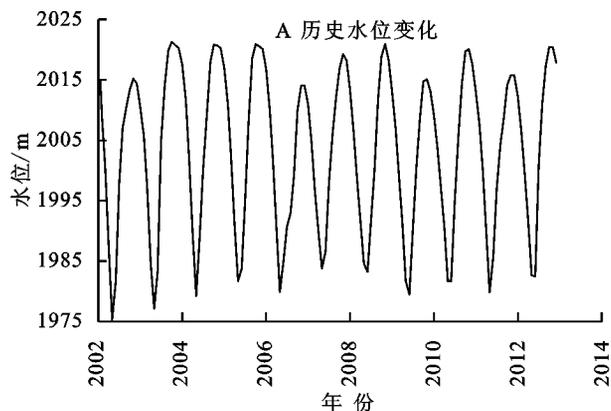
态系统适应能力的主要措施之一。

大桥水库是冕宁县城和西昌市城市供水重要水源地,同时也是重要的农业灌溉水源地。而大桥水库消落带与国内其他水电开发水库的消落带一样面临着生物多样性锐减、生态系统受损、库岸水土流失等生态环境问题,无法发挥其应有的生态服务功能,且上述问题具有隐蔽性、潜伏性、传递性、长期性、积累性的特征^[8],从而影响水库库岸稳定、生态景观与安全运行。亟需通过植被恢复固土护岸、重建水库消落带生态屏障。然而,受水库水位调节节律影响,消落带经受淹水—出露—淹水的周期性水陆交替控制,其生态修复是一个世界性难题,尤其是适宜耐淹抗旱植物的品种配置是消落带植被恢复的关键。柳属植物具有较强的耐淹耐旱能力、水土保持与景观效果^[9-11],柳树在三峡水库、刘家峡水库消落带治理中得到了良好应用^[12-14],在亚热带湿润区三峡水库消落带的研究表明柳树在全淹条件下生长被限制,出水后能够恢复生长,且半淹对柳树生长无明显抑制作用。但我国水库消落带生态修复研究还处于起步阶段,尤其是西南干旱河谷地区水库消落带的研究还十分缺乏,柳树在干旱河谷环境中的系统应用研究尚不多见,缺乏生长适应实证观测资料。因此,本文基于凉山州大桥水库近年已经实施的植被恢复工程,进行野外跟踪观测,评价分析柳树在大桥水库消落带的生长表现,探讨其主要影响因子及在消落带植被恢复中的可行性,以期今后西南干旱河谷区大中型水库消落带的植被重建提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

大桥水库位于凉山彝族自治州冕宁县大桥镇,属



于攀西干旱河谷区,水库上游控制流域面积 796 km²,总库容 6.58 亿 m³,有效库容 5.93 亿 m³,为年调节水库,历史水位调度情况见图 1A。水库功能以灌溉、工业和城镇生活用水为主,同时具有发电、防洪、水产养殖、旅游等功能。受大桥水库蓄水调度方式的影响,水库水位于每年汛期前(5 月末)降至防洪限制水位,历史最低水位为 1 975.35 m(水库水位以黄海平均海面作为基准面),根据上游来水及水库运行管理模式,6—10 月开始逐步蓄水至 2 020 m 以便蓄水发电,次年 1—6 月再次逐步回落,历史最高水位为 2 021.26 m,年度水位最大消落 44.11 m。根据大桥水库 10 a 的水库水位运行数据统计分析表明(图 1B),大桥水库消落带最大淹没时间可达 360 d(1 975 m—1 980 m),随海拔增高,年均淹没天数逐渐降低,大桥水库消落带岸线长度约 55 km,面积约 7.5 km²。水库周边涉及大桥镇 8 个村、43 个村民小组,总人口 14 303 人。凉山州大桥水电开发总公司 2014—2016 年实施了消落带生态修复工程,沿消落带 2 006~2 020 m 海拔区间栽植柳树(*S. matsudana*)1.62 hm²。

1.2 试验材料

柳树树苗的胸径>6 cm,苗高≥2.5 m,冠幅≥60 cm,一级分枝 3 枝以上。于 2 015 年 4 月初截干栽植,栽植穴按照 50 cm×50 cm×50 cm 的规格进行整地,采用品字型配置,株行距为 2 m×2 m。此外,在柳树栽植工程中,为了防止波浪、径流对栽植穴及柳树的冲刷侵蚀,特别在栽植穴的下沿设计了石坎筑台,即用块石垒砌了 1 个长 1.2 m,宽 20 cm,高 30 cm 的石坎。

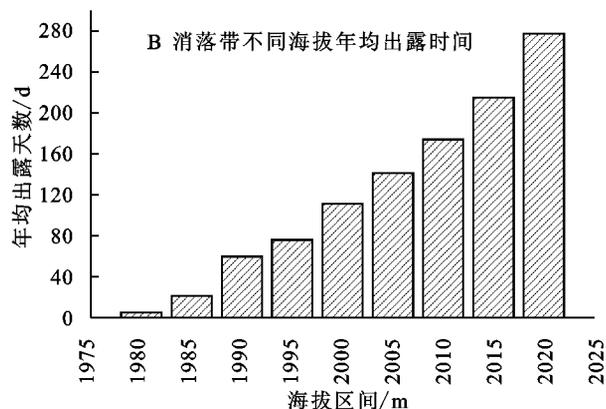


图 1 大桥水库消落带水位调节情况

1.3 研究方法

根据柳树种植的海拔区间、土壤、地形等下垫面情况的不同,将研究区柳树林地分为 A、B、C 三段进行调查观测(表 1),于 2015 年 8 月栽植 4 个月后进行分段逐株进行苗木当年成活率调查,经过一个淹水周期后,于 2016 年 8 月逐株进行第 2 年保存率的调

查。同时根据各段实际栽植范围,选择具有代表性、典型性、均一性的地段作样地,在 A、B 段林地分别设立 1 个 4 m×25 m 长方形调查样地,在 C 段按不同海拔设立 5 个 4 m×25 m 长方形调查样地,用测高杆、围尺和钢卷尺按照常规每木调查方法观测各段林地树高、胸径和冠幅。

表 1 大桥水库消落带柳树林地分段基本情况

区域	海拔/m	土壤类型	砾石含量	土壤质地	地形	原有植被
A段(码头)	2015~2020	砾石夹土(黄棕壤+红壤)	19%	壤土(黏粒 0.4%~1%, 粉粒 40%~44%, 沙粒 55%~59%)	陡坡(>12°)+缓坡(<5°)	草地(盖度 25%)
B段(码头—老堡子)	2018~2020	砾石夹土(红壤)	28%	砂质壤土(黏粒 0.4%, 粉粒 40%, 沙粒 59%)	陡坡(>15°)	裸地/草地(盖度 10%)
C段(老堡子)	2005~2020	棕壤	3%	壤土(黏粒 2%, 粉粒 43%, 沙粒 55%)	阶式平缓坡(<5°)	草地(盖度 45%)

同时,为了分析研究石坎筑台对柳树栽植穴土壤保护能力,待经历夏季数次降雨过程,于 2015 年蓄水前对各段林地栽植穴附近分别布设了侵蚀针样方,每个样方 1 m×1 m,侵蚀针长度为 15 cm,在样方内按 30 cm 距离呈 4 行×4 列的网格状、共 16 根侵蚀针垂直坡面钉入地表,侵蚀针上端出露坡地表面 5 cm,次年退水后 2016 年 8 月用钢卷尺再次测量侵蚀针出露长度,从而获取土壤侵蚀厚度。

2 结果与分析

2.1 柳树成活情况

试验库段消落带共栽植垂柳 4 050 株,据 2015 年 8 月蓄水前观测,各分段林地柳树当年成活均较好(表 2),区间无差异,成活率均达到 98%。经历 2015—2016 年一个蓄水周期后,通过 2016 年 8 月对柳树的成活情况的样地调查表明,试验区柳树平均保存率达到 96%,说明经历一个蓄水周期的淹水考验,第一年成活的柳树除 4%淹水枯死外,第二年大部分仍可以发芽成活,保存较好。其中,B段(Y口码头—老堡子)的柳树保存最好,保存率达到 97%,而 C 段(老堡子)柳树的保存率最低,为 95%。C 段(老堡子)保存率低的原因主要是底部水位较低,最大淹水深度为 15 m,栽植后柳树很快被淹没,可利用的生长时间较短,一部分长势弱的柳树根系未能良好发育,经受不住淹水考验。

表 2 柳树栽植成活情况

区域	海拔区间/m	成活率/%	保存率/%	折损率/%
A段(Y口码头)	2015~2020	98	96	4
B段(Y口码头—老堡子)	2018~2020	98	97	3
C段(老堡子)	2005~2020	98	95	5
平均/%		98%	96%	4%

2.2 柳树生长表现

2.2.1 不同基质条件柳树生长差异 经历一个消落带淹水—出露过程,A,B,C3个栽植区段的柳树均能重新萌芽生长,根据 2016 年 8 月的观测结果(表 3),试验区柳树的平均树高达到 3.10 m,胸径达到 15 cm。生长表现最好的为 C 段(老堡子)栽植的柳树,其平均树高达到 3.45 m,胸径 17 cm;其次为 A 段(码头),平均树高为 2.95 m,胸径 15 cm;B 段(码

头—老堡子)区域的柳树生长表现最差,平均树高仅为 2.90 m,胸径 14 cm。

表 3 试验区柳树生长表现

区域	树高/m	胸径/m	冠幅/m
A段(码头)	2.95±0.42a	0.15±0.02a	1.56±0.38a
B段(码头—老堡子)	2.90±0.45b	0.14±0.03b	1.50±0.57b
C段(老堡子)	3.45±0.29b	0.17±0.02b	2.14±0.49b
平均	3.10±0.46	0.15±0.03	1.73±0.56

注:同一行中的不同字母表示不同试验区段柳树的生长指标差异极显著($p<0.01$)。

通过对不同试验区段柳树树高、冠幅和胸径生长的数据分别进行单因素方差分析,结果表明,3个试验区段柳树的树高、冠幅和胸径生长方面均存在极显著差异($F_{\text{树高}}=29.832, p=0.000<0.01$; $F_{\text{冠幅}}=27.034, p=0.000<0.01$; $F_{\text{胸径}}=13.247, p=0.000<0.01$)。通过进一步对各试验区段生长表现指标进行多重比较发现,C段栽植的柳树树高、冠幅和胸径生长量表现出明显优势,A段、B段与C段栽植的柳树各生长指标之间达到差异极显著水平($p<0.01$),A段与B段栽植的柳树各生长指标之间差异不显著。这可能由于C段土壤条件较好,砾石含量低。而A,B两段基质均为砾石夹土,砾石含量高,黄棕壤和红壤黏重,易板结,透水性差,土壤肥力较弱,不利植被根系生长。

2.2.2 不同淹没深度柳树生长差异 为阐释不同淹没深度对柳树生长的影响,对C段试验区的柳树林地进行了垂直海拔分区调查。设置了高、中、低水位区间的调查样地。通过对不同水位区间调查数据进行单因素方差分析,结果表明,不同水位区间的柳树树高、冠幅和胸径生长方面均存在极显著差异($F_{\text{树高}}=7.711, p=0.000<0.01$; $F_{\text{冠幅}}=11.360, p=0.000<0.01$; $F_{\text{胸径}}=20.754, p=0.000<0.01$)。通过进一步对各水位区间的柳树生长表现指标进行多重比较发现,不同淹没深度消落带柳树生长存在显著差异。总体来看,海拔越高,淹没时间越少,柳树生长表现越好。2 020 m 水位处柳树树高可达 4.01 m,比 2 006 m 水位处的高 0.77 m;胸径可达 0.21 m,比 2 006 m 水位处的粗 0.07 m;冠幅可达 3.00 m,比 2 006 m 水位处的宽 1.53 m。

2.3 石坎筑台的土壤基质保护效应

土壤是消落带植被生长的最基本条件,柳树栽植过程中因整地开挖而造成地表扰动,在水库波浪淘蚀和出

露期降雨径流冲刷的作用下,易引发土壤侵蚀,不利用植被生长基质的保育。因此,大桥水库消落带柳树栽植时设计了石坎筑台的方式来进行栽植穴防护。通过对栽植穴旁有无石坎的柳树林地的土壤侵蚀样方观测表明,在 20° 左右的陡坡林地,有无石坎筑台的林地侵蚀差异极显著($F=118.537, p=0.000<0.01$),石坎筑台可以有效防止土壤侵蚀,与无石坎对比,减蚀效益达到75%。但是在 $<3^{\circ}$ 的平缓坡地,有无石坎林地土壤侵蚀对比无差异,均没有观测到发生土壤侵蚀。

表5 柳树栽植穴有无石坎筑台的土壤侵蚀情况

对比项目	样地海拔/m	坡度/($^{\circ}$)	植被盖度/%	年均侵蚀厚度/cm	减蚀效益/%
缓坡林地	有防护石坎	2006~2010	<3	0	—
	无防护石坎	2006~2010	<3	栽植穴内	—
陡坡林地	有防护石坎	2018~2020	21	无草本植物	75
	无防护石坎	2018~2020	20	0.8 \pm 0.2	—

3 结论

(1) 柳树具有很强的耐水淹性能,在大桥水库淹水深度0~15 m的消落带均能成活生长,柳树栽植当年成活率达到98%,经历一个蓄水过程,2016年消落带退水后栽植的柳树仍能存活,柳树保存率达到96%,初步说明柳树可应用于干旱河谷区大桥水库消落带的植被恢复。

(2) 水库消落带影响柳树生长表现的主要因素是土壤条件和淹水时间。不同基质条件和淹没深度的柳树生长表现观测结果表明,棕壤区柳树树高、胸径和冠幅表现均优于砾石含量较高的红壤和黄棕壤区;此外,随着淹没深度增加,柳树生长表现越来越差,低水位区域柳树树高、冠幅和胸径均显著低于高水位区域。

(3) 在坡度 $>15^{\circ}$ 的消落带坡面栽植柳树时栽植穴可采取石坎筑台措施,能显著降低造林整地开挖等地表扰动造成的土壤侵蚀。但在低于 5° 的平缓坡面,柳树栽植穴防护石坎作用不明显,今后此类地块施工可以不再设计,以降低植被恢复工程成本。

(4) 大桥水库消落带土壤类型多样且交叉分布,砾石夹土分布广泛,土壤结构差、肥力低,不易于植物快速定苗生长。因此,今后的消落带植被恢复建议沿等高线条带式或斑块配置客土植生措施,营造植物生长的有利基质条件,有效利用有限的消落带出露时间。

参考文献:

[1] Bao Y, Gao P, He X. The water-level fluctuation zone of three gorges reservoir: A unique geomorphological unit[J]. Earth-Science Reviews, 2015,150:14-24.

[2] Gregory S V, Swanson F J, McKee W A, et al. An ecosystem perspective of riparian zones[J]. Bioscience, 1991,

表4 不同淹没深度柳树生长表现

海拔/m	树高/m	冠幅/m	胸径/m
2006	3.24 \pm 0.22a	1.47 \pm 0.41a	0.14 \pm 0.02a
2008	3.23 \pm 0.29a	1.94 \pm 0.52ab	0.15 \pm 0.02ab
2012	3.37 \pm 0.44a	2.11 \pm 0.50b	0.17 \pm 0.01b
2015	3.40 \pm 0.29a	2.18 \pm 0.47b	0.17 \pm 0.01b
2020	4.01 \pm 0.38b	3.00 \pm 0.50c	0.21 \pm 0.03c
平均	3.45 \pm 0.43	2.14 \pm 0.69	0.17 \pm 0.03

注:同一列中的不同字母表示不同水位区间柳树的生长指标差异极显著($p<0.01$)。

41(8):540-551.

[3] Capon S J, Chambers L E, Mac Nally R, et al. Riparian ecosystems in the 21 st century: hotspots for climate change adaptation[J]. Ecosystems, 2013,16(3):359-381.

[4] Owers K A, Albanese B, Litts T. Using aerial photography to estimate riparian zone impacts in a rapidly developing river corridor[J]. Environmental Management, 2012,49(3):543-552.

[5] 鲍玉海,贺秀斌,钟荣华,等.三峡水库消落带植被重建途径及其固土护岸效应[J].水土保持研究,2014,21(6):171-174.

[6] 钟荣华,贺秀斌,鲍玉海,等.狗牙根和牛鞭草的消浪减蚀作用[J].农业工程学报,2015,31(2):133-140.

[7] Sarneel J M, Geurts J J M, Beltman B, et al. The effect of nutrient enrichment of either the bank or the surface water on shoreline vegetation and decomposition[J]. Ecosystems, 2010,13(8):1275-1286.

[8] 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.

[9] 陈芳清,郭成圆,王传华,等.水淹对秋华柳幼苗生理生态特征的影响[J].应用生态学报,2008,19(6):1229-1232.

[10] 程瑞梅,王晓荣,肖文发,等.消落带研究进展[J].林业科学,2010,46(4):111-119.

[11] 董德友.浅析长江防浪林特点与树种密度效应[J].防护林科技,2008(1):53-54.

[12] 钟彦,刘正学,秦洪文,等.冬季淹水对柳树生长及恢复生长的影响[J].南方农业学报,2013,44(2):275-279.

[13] 毛文韬,李堂中,辜夕容,等.三峡库区消落带不同高程柳树林地养分特征[J].西南大学学报:自然科学版,2016,38(3):1-7.

[14] 杨斌,石培贤.刘家峡水库柳树固岸林防护效应试验[J].水土保持通报,2006,26(4):44-47.