

三峡库区消落区几种两栖植物的适生性评价

马利民, 唐燕萍, 张 明, 滕衍行, 刘东燕, 赵建夫

(同济大学环境科学与工程学院, 长江水环境教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要: 根据三峡库区消落区的环境特征, 两年间通过在库区消落区山地实验基地的种植及实地淹没试验, 对几种备选用于生态修复的两栖植物进行适生性评价筛选研究。结果表明: 狗牙根 (*Cynodon dactylon*)、野地瓜藤 (*Ficus tikoua*)、尼泊尔蓼 (*Polygonum nepalense*)、水花生 (*Alternanthera philoxeroides*)、百喜草 (*Paspalum Notatum*)、香根草 (*Vetiveria zizanioides*)、苏丹草 (*Sorghum sudanense*) 在 100 ~ 150d 的低水位出露期内均可完成生长、发育成熟过程, 可作为消落区生态恢复的备选物种。其中, 苏丹草可作为速生物种, 能迅速恢复水位下降后消落区的植被覆盖率; 复合群落比单一群落提前 5 ~ 10d 完成对地表的覆盖, 群落的稳定性、耐淤积性及抗干扰性较强, 次年的萌发也更好, 有利于构建稳定的生态系统; 狗牙根、尼泊尔蓼和野地瓜藤根系生长良好, 其中狗牙根在一个生长季内根系最长可达 75cm, 有利于消落区控制水土流失; 在自然水淹最深为 15m, 淹没时间 6d 的情况下, 复合群落组植物、尼泊尔蓼、野地瓜藤、狗牙根和苏丹草的植物均能短期耐水淹和淤泥, 水花生则是在水淹较深处能够生长良好; 180d 水下 1.0 ~ 1.5m 的连续淹水实验结果表明, 狗牙根和野地瓜藤的耐淹性较强, 经过长达半年的淹水过程能够成活, 并在次年自然萌发; 同时 5 ~ 25m 的深部淹水实验表明, 随着深度增加, 狗牙根的落叶率逐步提高, 在 180d 的淹没后能够成活, 并在次年自然萌发, 可作为构建消落区生态系统的两栖植物物种。

关键词: 三峡库区; 消落带; 生态重建; 植物筛选

文章编号: 1000-0933(2009)04-1885-08 中图分类号: X171.3 文献标识码: A

Evaluation of adaptability of plants in Water-Fluctuation-Zone of the Three Gorges Reservoir

MA Li-Min, TANG Yan-Ping, ZHANG Ming, TENG Yan-Hang, LIU Dong-Yan, ZHAO Jian-Fu

Key Laboratory of Yangzi River Water Environment, Ministry of Education, Tongji University, Shanghai, 200092, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 1885 ~ 1892.

Abstract: Experiments were conducted for the purpose of choosing adaptable plants to restore and reconstruct the ecosystem in Water-Fluctuation-Zone (WFZ) of the Three Gorges Reservoir in Wenzhou, Chongqing. Nine species including *Cynodon dactylon*, *Ficus tikoua*, *Polygonum nepalense*, *Alternanthera philoxeroides*, *Vetiveria zizanioides*, *Trifolium repens*, *Lolium perrnne*, *Paspalum Notatum* and *Sorghum sudanense* were selected for in situ growth and submerging tests for 2 years according to the characteristics of local ecological conditions. Results indicated that *C. dactylon*, *F. tikoua*, *P. nepalense*, *A. philoxeroides*, *P. notatum*, *V. zizanioides* and *S. sudanense* could complete their growth during 100 — 120 days under low water level conditions in the WFZ of the Three Gorges Reservoir and were considered as the candidate species for ecosystem restoration. Among the candidate species, *S. sudanense* could quickly restore the vegetation cover ratio after flooding due to its rapid growth. The complex plant community was better than a single specie community for reconstructing a stable ecosystem, as the complex community could develop a complete vegetation cover during growth period 5 — 10 days ahead and could have a greater tolerance to siltation after flooding compared to the single specie community. *C. dactylon*, *F. tikoua* and *P. nepalense* developed a strong root system which benefited soil erosion control. The flooding experiment

基金项目: 国家“十一五”科技支撑资助项目(2008BAD98B04, 2006BAJ08B01); 中俄科技合作资助项目(2007DFR90050)

收稿日期: 2007-12-18; **修订日期:** 2008-06-23

致谢: 感谢重庆三峡研究院的梁方瑜、付兴振、梁娅、刘波、王其刚、张磊、姚依伍等同志在实验过程中的大量工作; 感谢美国 California State Polytechnic University Stephen Lyon 教授、哥伦布亚大学 Joshua cheng 博士对英文摘要的修改。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lmma@tongji.edu.cn

showed that the complex community plants, *C. dactylon*, *F. tikoua*, *P. nepalense*, and *S. sudanense* could survive and recover after being submerged under 15 m of water for 6 days, indicating their high tolerance for flooding and siltation. *C. dactylon* and *F. tikoua* survived under 1.0–1.5 m of water during the 180 day submerging experiment and matured under non-flooding conditions the following year. The ratio of shed leaves of *C. dactylon* increased with increase of water depth at the level from 5–25 m. Having survived for the 180 day submerged experiment and subsequent maturation under non-flooding conditions the following year, *C. dactylon* was considered a promising aquatic specie for re-vegetation in WFZ of the Three Gorges Reservoir.

Key Words: Three Gorges Reservoir; water-fluctuation-zone; restoration and reconstruction of ecosystems; adaptability of plants growth

三峡水库属特大型年调节水库,建成后将在库周形成水位落差达 30m、面积 440km² 的消落区^[1,2]。消落区是一种在人为干扰下的特殊生境,和自然的河岸带相比,淹没时间甚至可长达 6 个月,并且淹没时间由夏季汛期变为冬季的蓄水淹没。这种变化使区内的旧植被物生态系统受到毁灭性的破坏,新的植被生态系统很难在短时间内建立起来,如果处理不当,将会带来一系列生态环境问题如水土流失、地质灾害、面源污染、近岸水体水质富营养化以及对两岸自然景观破坏等,会加速整个库区生态环境的恶化^[3,4]。

对消落带和河岸带受损生态系统进行植物生态修复是国内外专家认为非常有效的治理途径之一^[6~10]。就三峡库区消落带而言,根据库区水体在消落带范围内的不同水位梯度变化规律,构建不同的植被物生态系统进行修复为一种值得研究的思路。其中,筛选出适生植物及构建稳定的植物群落,看似简单,实则是世界性难题。目前国内外正在探索中,特别是对水位回落时耐干旱、耐土壤瘦瘠,水位回升后能耐长期淹没的两栖植物的筛选^[11],成为关注的焦点之一。本文将通过在库区消落区山地实验基地的种植及淹没试验,评价几种备选生态修复植物的环境适应性。通过对适生两栖植物进行筛选研究,并对其研究的方法进行探讨,为三峡库区消落区的生态修复提供技术支撑。

1 材料和方法

1.1 研究地点

实验基地位于重庆市万州区五桥新田乡三峡研究院消落带研究实验区(N30°43'41.0", E108°25'42.0")。该基地具有典型的三峡库区消落带生境特点,占地 12 hm²,濒临长江,土地较平整,坡度 20~25°。该地区年平均气温 17.1~19.5℃,年活动积温 6500℃~7000℃,年降水量 1100mm,无霜期大于 320d。研究按照三峡工程完工后水库水位调度运行特征(图 1),来模拟水位变化的情况^[2,12]。

1.2 实验材料

1.2.1 试验用植物

在大量文献检索^[13]和野外样地调查的基础上,筛选几种分布较广、生长旺盛、抗水淹能力强、护坡及防水土流失效果好的植物用于研究,其中尽量以库区的本地种为主,避免生物入侵的发生。经过筛选,选定物种包括狗牙根(*Cynodon dactylon*)、野地瓜藤(*Ficus tikoua*)、尼泊尔蓼(*Polygonum nepalense*)、水花生(*Alternanthera philoxeroides*)、香根草(*Vetiveria zizanioides*)、白三叶(*Trifolium repens*)、黑麦草(*Lolium perrnne*)、百喜草(*Paspalum Notatum*)、苏丹草(*Sorghum sudanense*)等。

1.2.2 土壤

土壤样品取自试验基地三峡水库初期蓄水前河岸,取 0~20cm 地表土充分混合,土壤类型为紫色土。紫

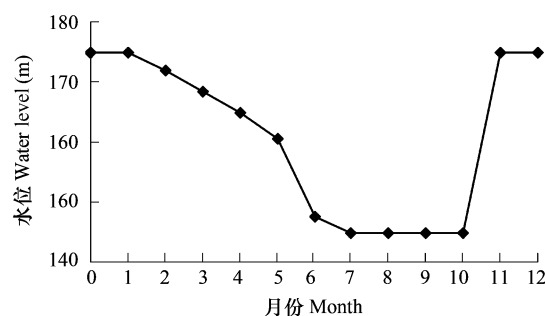


图 1 三峡工程完工后库区水位调度示意图

Fig. 1 Change of water level in the Three Gorges Reservoir

色土矿质养分含量高,土壤肥力高于黄壤,土壤呈紫色,粘粒较少。通过对土壤样品进行测试,土壤理化性质如表 1 所示。

表 1 供试土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of test soil

pH	有机质 ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	CaCO_3 ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	TN ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	TP ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Olsen - P ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Mehlich-P III ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Feox ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Alox ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	DPS (磷吸持饱和度%)
7.78	21.22	57.15	848.5	741	20.45	54.37	968.2	643.7	18.12

1.2.3 江水性质

试验基地位于长江万州江段新田镇断面,试验在江边进行。在淹没期间对江水的性质进行每月监测 1 次,江水基本性质如表 2 所示。

表 2 试验用江水基本性质

Table 2 Properties of river water in experimentation

Ca^{2+} ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	Mg^{2+} ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	Na^{+} ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	K^{+} ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	Cl^{-} ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	SO_4^{2-} ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	HCO_3^{-} ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)
0.697	0.435	0.241	0.079	0.152	0.118	2.197

1.3 实验设计

1.3.1 岸边试验

在试验基地垂直于江岸,自长江岸边至坡上方向构建 13 条平行样带,样带规格为 $50\text{m}\times 5\text{m}$,间隔 2m。各样带分别种植不同的物种以及构建它们的组合群落,以观察各种群、复合群落的生长情况、地表水土保持状况以及它们在自然水淹状态下的生长情况。其中各样带设计见表 3。

其中,大部分植物为通过整株移植或扦插方法在试验地点按 $40\text{cm}\times 40\text{cm}$ 的株行距整穴种植。复合群落以不同物种间隔种植,种植时不施肥。苏丹草和百喜草播种种植,播种量为 $15\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。种植 2 个星期后观测成活率;每星期观测 1 次,测定或观察株高(茎长)、分蘖数、物候期,及各样带植物的盖度,每两周挖取一定量植物测定根系生长情况。

1.3.2 盆栽淹没实验

选取百喜草、狗牙根、野地瓜藤和尼泊尔蓼做盆栽淹没实验。取盆中央内径为 25cm,高 20cm,从岸边样带带土移植植物到盆中,盆内土层厚度 15cm,各移取 20 盆。经 2 周的生长,各选取其中生长情况良好的 10 盆,用铁丝固定在江边木筏上,沉于水下 1.0~1.5m 处,从 2004 年 10 月 16 日起开始淹没,每两周提起 1 盆观察茎、叶、根的生长及落叶情况,直至 2005 年 3 月 8 日。出水后将盆置于岸边试验基地露天自然恢复,观察其生长情况。

1.3.2 深部淹水试验

将狗牙根和野地瓜藤从岸上样带连土移植于 $50\text{cm}\times 30\text{cm}\times 30\text{cm}$ 的塑料容器,各做 20 个处理。经过 2 周的培养,选取其中生长良好 15 盆做深部淹没实验。在基地附近河岸比较的岸边选好水域,用铁线的长度控制淹没深度。在 2004 年 11 月 4 日分别将植物一同沉于水下 5、10、15、20、25 m 处,每个深度 3 个重复,用铁丝固定在江中木筏上,至 2005 年 5 月 15 日,共计淹没 26 周。期间每两周提起观察其茎叶的生长情况。出水后将塑料容器置于岸边试验基地露天自然恢复,观察其生长情况。

1.4 样品分析方法

1.4.1 土壤样品的分析方法

(1) 总磷(TP) 硫酸-高氯酸消化法,过虑后钼锑抗比色法测定。

(2) Olsen P 用 0.5mol/L NaHCO_3 (pH 8.5),土液比 1:20,在 $(25\pm 1)^\circ\text{C}$ 下震荡 30min,过滤后钼锑抗比

色法测定溶液中磷的浓度为 Olsen P。

表 3 消落区试验植物的样带设计

Table 3 Design of plants planting experiment in Water-Fluctuation-Zone

样带编号 No. of plot	种植植物 Planting spices	缩写 Abbreviate
1	永久去植被(经常除草) Removing vegetation (always)	RV
2	去植被(一次性除草) Removing vegetation(once)	RVO
3	尼泊尔蓼 <i>Polygonum nepalense</i>	NBE
4	野地瓜藤 <i>Ficus tikoua</i>	YDG
5	狗牙根(大) <i>Cynodon dactylon</i> (big)	GYG1
6	狗牙根(小) <i>Cynodon dactylon</i> (small)	GYG2
7	百喜草 <i>Paspalum Notatum</i>	BXC
8	香根草 <i>Vetiveria zizanioides</i>	XGC
9	苏丹草 <i>Sorghum sudanense</i>	SDC
10	黑麦草 <i>Lolium perenne</i>	HMC
11	水花生 <i>Alternanthera philoxeroides</i> + 尼泊尔蓼 <i>P. nepalense</i> Meian + 狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i> + 野地瓜藤 <i>Ficus tikoua</i>	CU1 : (SHS + NBE + GYG1 + YDG)
12	香根草 <i>Vetiveria zizanioides</i> + 狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i> + 野地瓜藤 <i>Ficus tikoua</i>	CU2 : (XGC + GYG1 + YDG)
13	原始植被 Natural vegetation	NV

(3) 土样中 Fe_{ox} 、 Al_{ox} 和 P_{ox} 分析

用 40 ml 0.2 mol/L 酸性草酸-草酸铵缓冲溶液(pH3.0~3.2)为浸提剂与 1 g 沉积物在暗处振荡 2 h 而提取出来的铁、铝称为草酸盐提取的铁、铝(Fe_{ox} , Al_{ox}), 通常与活性的无定形氧化物/氢氧化物相关。酸性草酸铵溶液提取的铁和铝(Fe_{ox} , Al_{ox}) 浓度均用 ICP-AES 方法测定。用钼锑抗比色法测定的上清液中磷的浓度即为 P_{ox} 。

磷吸附饱和度(DPS, %) 可以表示为 P_{ox} 的物质的量浓度与 Al_{ox} 和 Fe_{ox} 的物质的量浓度之和的一半的百分比, 即 $\text{DPS}(\%) = 100\text{P}_{\text{ox}} / 0.5(\text{Al}_{\text{ox}} + \text{Fe}_{\text{ox}})$ 。

(4) 土壤 pH 值用电位法测定, 水土比为 2.5:1; 土壤有机质、碳酸盐含量等按土壤元素分析标准方法进行^[14]。

1.4.2 水质分析方法

江水中水样分析采用水水质分析的标准方法^[15]。

2 结果和讨论

2.1 消落区植物的适生性研究

2.1.1 单一群落植物的生长情况

观察试验样带中的植物, 发现大、小狗牙根、尼泊尔蓼、香根草在种植后两周成活率均在 90% 以上, 但野地瓜藤成活率很低, 种植两周后成活率不足 10%, 在补种后成活率约为 70%, 且种植初期需经常浇水才能成活。百喜草、苏丹草和黑麦草播种 1 周后开始发芽, 生长情况良好。图 2 为几种植物生长期内生长高度变化情况。

经过一个生长季的观察, 各种事物都能在消落带试验基地内生长, 除了个别事物移植初期需要养护外, 其余物种在自然条件下均可通过有性和无性繁殖建立种群。在三峡库区消落区每年低水位阶段 4~10 月份,

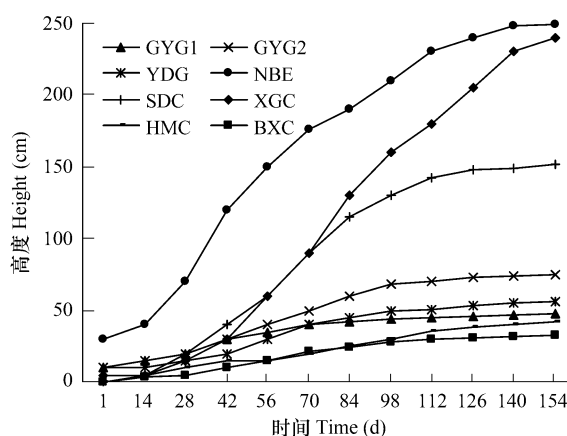


图 2 消落区几种植物生长期内生长高度变化情况(各植物名称简写见表 3)

Fig.2 Change of plant height during growth process in n Water-Fluctuation-Zone (Abbreviate of plant see Table 3)

大、小狗牙根、尼泊尔蓼、香根草、百喜草、苏丹草在 100 ~ 150d 的生长期均可完成生长、发育成熟过程,可作为消落区生态恢复的备选物种。特别是速生草种,最晚 6 月份播种也可以在 10 月份淹没期前完成结籽,可作为速生草种,迅速恢复水位下降后消落区的植被覆盖率。黑麦草开始生长良好,后期生长不佳,在干旱时死亡较多,且虫食严重,不太适宜消落带生境。次年,多年生植物大部分可自然萌发,1 年生物种发芽率较低,并且前一年的植株会影响来年的植物生长,因此在每年淹没前需要收割,也可以避免植物腐烂对库区水体的影响。

2.1.2 复合群落植物的生长情况

按照试验设计分别为构建符合群落 CU1 和 CU2(各物种组成见表 3),将各物种通过整株移植或扦插方法在试验地点按 40cm × 40cm 的株行距整穴种植,不同物种间隔种植,种植时不施肥,以考察复合群落的生长特点和在消落区环境下的稳定性。图 3 为水花生 + 尼泊尔蓼 + 狗牙根 + 野地瓜藤复合群落中各物种盖度变化。

从图 3 中可以看出,生长初期在没有竞争的情况下各种群均能正常生长。1 个月后,水花生和狗牙根逐步取得竞争优势。夏季水花生是狗牙根的主要竞争者,其盖度最高达 52%,随着天气的变冷,狗牙根最终成为为竞争生长的优势种群。其中复合群落中尼泊尔蓼远较单一群落中矮小,处于竞争劣势,野地瓜藤在竞争生长中也体现出劣势。在香根草 + 狗牙根 + 野地瓜藤复合群落中,狗牙根为也为优势种群。复合群落中香根草较单一群落中矮小,处于相对弱势,野地瓜藤在竞争生长中体现出劣势。观察发现复合群落在生长期比单一一种群提前 5 ~ 10d 完成对地表的覆盖,群落的稳定性及抗干扰性较强,次年的萌发也更好。

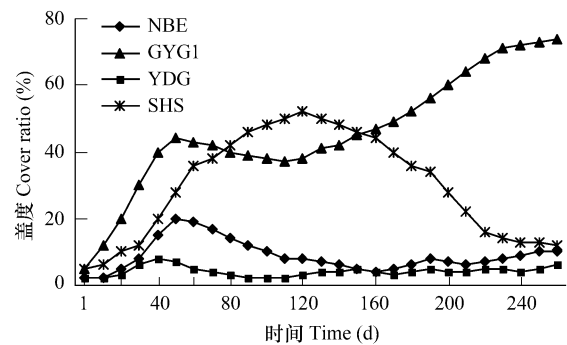


图 3 复合群落中各物种盖度变化(各植物名称简写见表 3)

Fig. 3 The cover ratio of plants in the complex community during growth process (Abbreviate of plant see Table 3)

这主要由于消落区环境因子比较复杂,即包括区域的自然环境特点,又具有强烈的人为干扰因素,对植物的适应性要求比较高,水花生和狗牙根的适应性较强,可作为优势种的候选植物。由于复合群落具有更强的抗干扰性,因此在消落带生态治理中,构建稳定的适生物种的组合群落将对整体修复效果具有重要的影响。

2.1.3 植物根部生长及固土效应

实验区植物种植后经过 2 个月的生长,各验样带种植的所有植物的植被覆盖率均接近 100%,这对消落带固坡、防水土流失具有积极则作用。其中,植物根系是其护坡能力的重要指标,图 4 为几种植物的根系生长情况。

其中多年生禾本科狗牙根根系发达,平均长 45cm,最长达 85cm。在种植 5 个月时每株可生出分蘖 140 条,根系深 90cm 以上。尼泊尔蓼次之,野地瓜藤虽然根系较浅,但是其大量的不定根对固土的作用也较大。通过对永久去植被(经常除草)、去植被(一次性除草)、原始植被样带和其他样带的水土流失情况对比发现,植被总盖度达到 80% 以上的样带,就能基本控制水土流失。原始植被的样带有一定的水土流失,去植被的样带(一次性除草)有较强的水土流失现象,永久去植被(经常除草)的裸露样带水土流失十分严重。

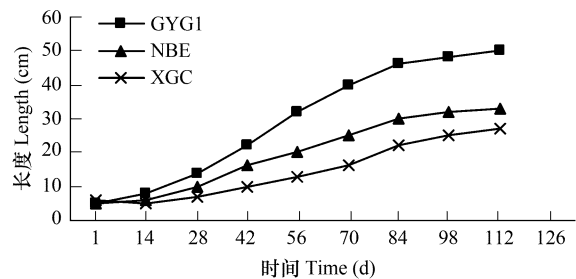


图 4 消落区几种植物的根系生长情况(各植物名称简写见表 3)

Fig. 4 Length of roots of plants in Water-Fluctuation-Zone(Abbreviate of plant see Table 3)

2.2 植物的耐淹性研究

2.2.1 自然淹没

实验区在实验过程中经历了数次自然水淹的状况。其中,长江水位在 2004 年 9 月 6 日晨涨至约 152m 水

位,至2004年9月12日晨水位退至约137m;淹没时间共计6d。最深淹没处垂直高度约15m,至12日出露。通过实地观察各样带的生长状况,来考察其在适生性。在本次淹水前各样带的植被全部生长良好,各样带淹没6d后出露,两周后的生长情况如下:

样带1,地表被淤泥淤积覆盖,无植物生长;样带2,被淤泥淤积覆盖,少部分植物成活,盖度低于10%;样带3,其茎较高,仅有少部分被淤,出露后生长良好;样带4,低处大部分被淤泥淤积,仅有较高处未被淤积,出露后迅速返青,生长良好;样带5,低洼处被淤泥淤积,坡度较大处在出露后迅速返青;样带6,低洼处被淤泥淤积,坡度较大处在出露后茎叶枯黄;样带7,均被淤泥压没,植物死亡;样带8,部分被淹没,生长良好;样带9,植株较高,未被淤泥覆盖,种子均被鱼食,茎叶在出露后生长良好;样带10,植物均被淤泥压没,死亡;样带11,低洼处完全被淤泥覆盖,坡度较大处只有水花生,茎叶已返青,盖度约30%;在淤积处有水花生和野地瓜藤从淤泥中伸出,生长良好;样带12,低洼处完全被淤泥覆盖,坡度较大处水花生和狗牙根成活,茎叶已返青,盖度约30%;在淤积处有水花生从淤泥中伸;样带13,植物被淤泥淤积覆盖,个别植物返青,盖度低于10%。

研究发现复合群落组中的植物、尼泊尔蓼、野地瓜藤、狗牙根和苏丹草的植物均能短期耐水淹。其中,苏丹草9月已经结籽,水淹没后种子均被鱼食,而茎叶在出露后仍然生长良好,可以选择消落区低水位的速生植物。水花生则是在水淹较深处能选用的植物。

研究发现在消落区淹没时水中沉积的淤泥也会对植物生长的影响因子。水退后淹没区域淤泥最厚处可达16cm。百喜草和黑麦草由于茎叶细软,全部被淤泥覆盖而死亡。野地瓜藤、水花生和苏丹草在坡度较大,淤泥较浅的地方生长良好。尼泊尔蓼植株较高(约210cm),基本不受影响。狗牙根显示较强的生存能力,整棵植株被完全被淤泥覆盖后,在水退去1周后有匍匐茎从土中露出,并迅速生出新孽。因此耐淤积能力,也是在消落区植物筛选中要考虑的因素。

2.2.1 长期淹没下的生长情况

为考察植物在消落区环境下的长时间耐淹能力,将狗牙根(*C. dactylon*)、地瓜藤(*F. tikoua*)、百喜草(*P. notatum*)和尼泊尔蓼(*P. nepalense*)4种植物进行实地耐淹试验,考察其在水下1.0~1.5m,从10月底到翌年4月份的生长情况。图4为几种植物长时间淹没过程中落叶率的变化情况。

由图中可以看出,随着淹没时间的增加,各种植物的落叶率也在不断升高,最后趋于稳定。百喜草和尼泊尔蓼最后全部落叶。

狗牙根在淹没两个月时部分叶子开始腐烂,至4月上旬时生出淡黄色的嫩芽,在5月11日从水中提出重新种入样带土壤后能迅速返青。野地瓜藤也能在淹水半年后成活,但由于茎的表皮和叶部分腐烂,其间也有嫩叶生长,重新种入样带后成活。百喜草在水中3个月时依然生长良好,在淹没4个月时植株有20%植株死亡,至5月11日提出时有近50%植株腐烂死亡,百喜草在种入样带后也未成活。而尼泊尔蓼在淹没3个月时全部死亡。

研究表明,在水淹条件下,植物在水下的生长能力和存活率决定了植株的水淹耐受能力。由于无氧呼吸产能量较少,植株只能维持存活的代谢要求,植物的光合能力有显著的下降,植株生长就会减缓^[16],主要表现在减慢地上部分和根的生长、降低整个植株的生物量的积累和促使老叶的凋落^[17]。在消落区的长时间淹没过程中,狗牙根和野地瓜藤的耐淹性较强,依然可以存活,并可以继续生长,可作为被选物种用于消落区生态重建。

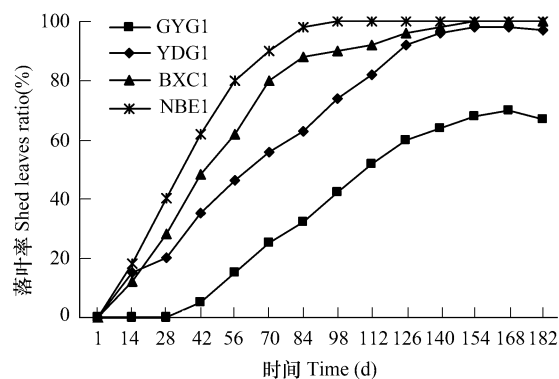


图5 几种植物长时间淹没过程中落叶率的变化(各植物名称缩写见表3)

Fig.5 ratio of shed leaves of plants during long period of flooding (Abbreviate of plant see Table 3)

2.2.1 深部淹没下的生长情况

由于消落区不仅植物要忍受长时间水淹,而且水淹的深度最大可达 30m。为了考察植物在深水条件下的生存情况,对狗牙根和野地瓜藤等植物进行了现场深水耐淹试验。图 6 为不同深度江水中狗牙根的落叶率的变化情况。

从图中可以看出,在深度淹水条件下,狗牙根还可以保持存活状态。随着淹水深度的增加,植物的落叶速度加快,落叶率也变高。在深度为 5m 的情况下,在前 30d 植物生长良好,期间明显可见狗牙根匍匐茎和地下茎持续有不定芽萌生,在翌年 3 月份已在水下开始生长。次年春天出水后,将狗牙根带容器植物露天培养,均能恢复自然生长。野地瓜藤在 5m 以下,3 个月后死亡。

随着淹没深度的增加,植物落叶率变高主要由于随着深度增加,水下阳光越少、压力越大水中的气体也越少,会较大的影响植物的新陈代谢,从而影响植物的生长。研究表明在受到水淹胁迫时,植物可以通过一些形态适应对策逃避缺氧环境,如茎的伸长、新叶的产生和不定根的产生对应水淹环境^[18]。淹没期间狗牙根匍匐茎和地下茎持续有不定芽的萌生就是植物这种适应性的表现。试验也说明狗牙根能够在较深水淹的环境中生存,可作为消落带植被构建的备选物种之一。

3 结论

通过在库区消落区山地实验基地的种植及淹没试验,评价几种备选的生态修复植物物种,对适生两栖植物进行筛选研究发现:

(1)、狗牙根、野地瓜藤、尼泊尔蓼、百喜草、香根草,苏丹草在 100 ~ 150d 的生长期均可完成生长、发育成熟过程,可作为消落区生态恢复的备选物种。苏丹草可做为速生草种,迅速恢复水位下降后消落区的植被覆盖率。

(2)复合群落在生长期比单一种群提前 5 ~ 10d 完成对地表的覆盖,群落的稳定性、耐淤积性及抗干扰性较强,次年的萌发也更好,有利于构建稳定的生态系统;

(3)狗牙根、尼泊尔蓼和野地瓜藤根系生长良好,有利于消落区控制水土流失;

(4)在自然水淹情况下,复合群落组植物、尼泊尔蓼、野地瓜藤、狗牙根和苏丹草均能短期耐水淹和淤积。水花生则是在水淹较深处可选用的植物;

(5)180d 水下 1.0 ~ 1.5m 的连续淹水实验结果表明,狗牙根和野地瓜藤在淹水过程能够成活,并在翌年自然萌发;在 5 ~ 25m 的深部淹水实验表明,随着深度增加,狗牙根的落叶率逐步提高,在 180d 的淹没后能够成活,并在次年自然萌发,可作为构建消落区生态系统的两栖植物物种。

Reference:.

- [1] Hydropathy Committee of Yangzi River. Research on environmental and ecological effect of Three Gorges Project. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1997. 65 — 102.
- [2] Li J W. Thought of water level regulation in the Water-Fluctuation-Zone of the Three Gorges Reservoir. Three Gorges Project-environmental and ecological monitoring and protection. Wuhan: Chinese Three Gorges Press, 2004. 67 — 72.
- [3] Zhou J X, Jin Y X. Effect of Three Gorges Project to plant and protection. Effect of environment and ecology of Three Gorges Project. Beijing: Press of Hydro Power, 1988. 511 — 520.
- [4] Teng Y X, Ma L M, Xia S Q. Research on vegetation restoration in the Water-Fluctuation-Zone of the Three Gorges Reservoir. 2005 China

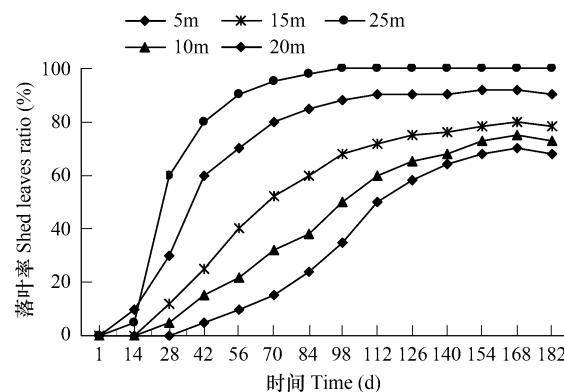


图 6 为不同深度条件下狗牙根的落叶率的变化

Fig.6 ratio of shed leaves of *Cynodon dactylon* during long period of flooding with different water depth

- Sustainable Development Forum(2). Shanghai: Tongji University Press, 2005. 196—200.
- [5] Dai F X, Xu W N, Liu D F, *et al.* Research on the restoration of ecosystems in Three Gorges Reservoir water-level-fluctuating zone, SWCC, 2006, 1:34—36.
- [6] Dennis F W. Ecological issues related to wetland preservation, restoration, creation and assessment. *The Science of the Total Environment*, 1999, (240):31—401.
- [7] Lowrance R, Hubbard R K, Williams R G. Effects of a managed three zone riparian buffer system on shallow groundwater quality in the Southeastern coastal plain. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, (21):212—219.
- [8] Naiman R J. Riparian areas; rain forests-North America, wetland management, biotic communities. *Bioscience*, 2000, 50(11):4—20.
- [9] Ravindra N C, Chen H J. From gene shuffling to the restoration of riparian ecosystems. *Trends Plant Science*, 1999(4):337—338.
- [10] Goodwin C, Hawkins C. Riparian restoration in the western United States; overview and perspective. USA. *Restoration Ecology*. 1997, 5: 4S, 4—14.
- [11] Luo FL, Zeng B, Hen T, *et al.* Response to simulated flooding of photosynthesis and growth of riparian plant *Salix Variegata* in Three Gorges Reservoir region of China. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(5):910—918.
- [12] Chen C Q, Ye Y T, Liu F G, *et al.* Fisheries of fluctuation zone in Three Gorges Reservoir. *Territory & Natural Resources Study*, 2000(1):51—54.
- [13] Wang Y, Li E H, Wu J Q. A preliminary study on the vascular plant of water-level-fluctuating zone in the Three Gorges Reservoir. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2002, 20(4):265—274.
- [14] Bao S D. Agrochemical soil analysis. Beijing: Chinese A Culturo Press, 2000.
- [15] State of Administration of China, Methods of analysis for water and waste water. Beijing: China Environmental Science Press, 2002. 243—250.
- [16] Wang W Q, Zhang F S. The physiological and molecular mechanism of adaptation in higher plants. *Plant Physiology Communications*, 2001, 37(1):63—70.
- [17] Mielke M S, de Almeida A F, Gomes F P, *et al.* Mangaberira growth responses of *Genipa americana* seedling to soil flooding. *Environmental and Experimental Botany*, 2003, 50, 221—231.
- [18] Gereneveld H W, Voeseek L A C J. Submergence-induced petiole elongation in *Rumex Palustris* is controlled by developmental stage and storage compounds. *Plant and Soil*, 2003, 253, 115—123.

参考文献:

- [1] 长江水利委员会编. 三峡工程生态环境影响研究. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1997. 65~102.
- [2] 李建文. 三峡水库水位消涨区的调节设想. 三峡工程——生态与环境监测和保护. 武汉: 中国三峡出版社, 2004. 67~72.
- [3] 邹家详, 金义欣. 长江三峡工程对植物的影响及其保护措施. 长江三峡工程生态与环境影响文集. 北京: 水利电力出版社, 1988. 511~520.
- [4] 滕衍行, 马利民, 夏四清. 三峡库区消落带植被生态系统重建研究. 环境与经济(下册), 上海: 同济大学出版社, 2005. 196~200.
- [5] 戴方喜, 许文年, 刘德富, 等. 对构建三峡库区消落带梯度生态修复模式的思考. 中国水土保持, 2006, 1:34~36.
- [11] 罗芳丽, 曾波, 陈婷叶, 等. 三峡库区岸生植物秋华柳对水淹的光合和生长响应. 植物生态学报, 2007, 31(5):910~918.
- [12] 陈昌齐, 叶元土, 刘方贵, 等. 三峡水库重庆库区消落带渔业利用初步研究. 国土与自然资源研究, 2000(1):51~54.
- [13] 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. 武汉植物学研究, 2002, 20(4):265~274.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [15] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法. 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 243~250.
- [16] 王文泉, 张福锁. 高等植物厌氧适应的生理及分子机制. 植物生理学通讯, 2001, 37(1):63~70.