

文章编号: 1004-8227(2011)05-0603-08

# 三峡库区典型消落带淹水后草本植被的自然恢复特征

王建超<sup>1,2</sup>, 朱波<sup>1\*</sup>, 汪涛<sup>1</sup>

(1. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 消落带是影响水库生态环境安全的关键区域。利用生物调查方法, 对三峡库区典型缓坡型消落带草本植被的自然恢复情况进行了初步研究。结果表明: (1) 研究区植被主要为一年生和多年生草本植物, 共有 29 种, 其中空心莲子草、狗牙根、稗草、苍耳、狗尾草、鬼针草和马唐是消落带的优势种类, 且空心莲子草和狗牙根是消落带成陆初期的建群种。消落带植物群落多呈斑块状集中分布, 沿 145~175 m 高程梯度从下往上大致可分为 4 条植物带: 空心莲子草-狗牙根带、稗草带、苍耳-马唐-狗尾草带和一年生杂草带。(2) 淹水后消落带草本植物群落在没有人为干预的情况下可自然恢复, 只是群落结构趋于简单, 植物物种多样性显著降低。(3) 植物群落的物种多样性、地上生物量和盖度均沿水位梯度带从下往上呈先增后减的抛物线状变化, 即消落带下部 < 消落带上部 < 消落带中部。三者的变化趋势有着高度的相关性, 并且都与淹水时间呈负相关。(4) 沿水位梯度带植物群落的均匀度指数差异不显著, 其他物种多样性指数以及地上生物量差异显著。

**关键词:** 三峡库区; 消落带; 物种多样性; 植被恢复

文献标识码: A

水库消落带又称消落区或涨落带, 是指由于水库调度引起水库水位周期性变动而在库区周围形成的周期性出露于水面的一段特殊区域, 通常指水库最低水位线至最高水位线之间的地貌单元, 是水陆生态系统的交错地带<sup>[1,2]</sup>。消落带具有河岸带和湿地的主要特征和基本功能<sup>[3]</sup>。植被是消落带湿地生态系统和河岸旅游景观的重要组成部分, 为许多动物提供栖息地和迁徙的廊道, 对水土流失、养分循环和非点源污染物有着强烈的缓冲和过滤作用, 并对维持较高的生物生产力和生物多样性等具有积极作用<sup>[4,5]</sup>。

三峡水库 2009 年全面建成, 根据“蓄清排浑”的运行方案, 将在库区形成垂直落差达 30 m 的水库消落带, 仅重庆库区 145~175 m 范围内的消落带面积就达 291.1 km<sup>2</sup><sup>[6]</sup>。三峡库区消落带的水位涨落节律与蓄水前的自然消落带完全相反。自然消落带冬春季低水位, 夏季高水位, 但三峡库区消落带却是冬水夏陆。而且, 相比其它水库, 三峡水库对消落带的淹水浸泡时间较长, 消落带下部(145 m 附近) 每年淹水长达 8 个多月; 三峡水库还具有水位落差大、库周城镇密集的特点, 这就使得消落带生态系统

干扰频繁, 十分脆弱<sup>[7]</sup>。三峡水库从 2003 年 6 月开始蓄水, 2006 年蓄水至 156 m, 2007 年也是 156 m, 2008 年蓄水至 172.5 m, 到 2009 年 9 月, 已经有 3 年的高水位涨落周期变化, 消落带的自然植被必然发生了巨大变化。目前国内对三峡水库消落带淹水后新生植物群落特征已有初步研究, 但主要是针对初期 156 m 淹水后消落带湿地植物群落的调查以及对将来高水位淹水后消落带植被分布情况的预测<sup>[8~11]</sup>, 对一些植物种类淹水后的生理生态学变化的研究<sup>[12~15]</sup>, 还有对消落带植被的人为恢复重建<sup>[3,16,17]</sup>以及耐淹植物品种的筛选研究等<sup>[18~20]</sup>。

消落带是影响三峡水库生态环境安全的关键区域<sup>[21]</sup>, 而植被更是消落带的重要组成部分, 对三峡库区的水土流失、非点源污染都有着至关重要的阻滞和净化作用, 是三峡水库水质安全的保障。三峡水库高位蓄水后消落带植被能否自然恢复, 恢复程度如何, 群落结构、生物多样性和空间分布格局等都需要实际数据的支持, 这对三峡水库的安全运行和管理有着重大意义。目前, 对高水位且多次淹水后消落带植被的恢复情况国内还少有报道。本文以地

收稿日期: 2010-10-8; 修回日期: 2010-12-14

基金项目: 国家“水体污染控制与治理”科技重大专项课题(2009ZX07104-002)和中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-07)资助。

作者简介: 王建超(1984~), 陕西省岐山人, 硕士研究生, 主要从事水体非点源污染控制与治理方面研究。E-mail: lion03@126.com

\* 通讯作者 E-mail: bzh@imde.ac.cn

处三峡库区腹地地带的忠县石宝镇为例,通过对不同水位消落带植被的地上生物量和物种多样性进行分析 and 对比,研究三峡库区消落带植被在三年的淹水周期变化后的群落特征,为三峡水库消落带的植被恢复和管理提供科学数据。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

忠县石宝镇(东经  $108^{\circ}06'$ , 北纬  $30^{\circ}36'$ )位于重庆市中部(如图 1),长江北岸。距离忠县县城

32 km,地处忠县、石柱、万州三县(区)交界处,森林覆盖率 28.6%。海拔高度 110~889 m,区内山丘起伏,田土错落,属坪状浅丘、深丘窄谷和中低山地貌。亚热带东南季风气候,温热寒凉,春夏秋冬四季分明。雨量充沛,多年平均降雨量 1150 mm,雨季多在 5~9 月。多年平均气温  $19.2^{\circ}\text{C}$ ,极端最高气温  $42.1^{\circ}\text{C}$ ,年最冷月平均气温  $4.7^{\circ}\text{C}$ 。该区岩层为侏罗系沙溪庙组砂岩、粉砂岩和泥岩,主要土壤类型有紫色土、黄壤、黄棕壤、石灰土和水稻土等,土地利用方式主要有旱地、水田、林地等。

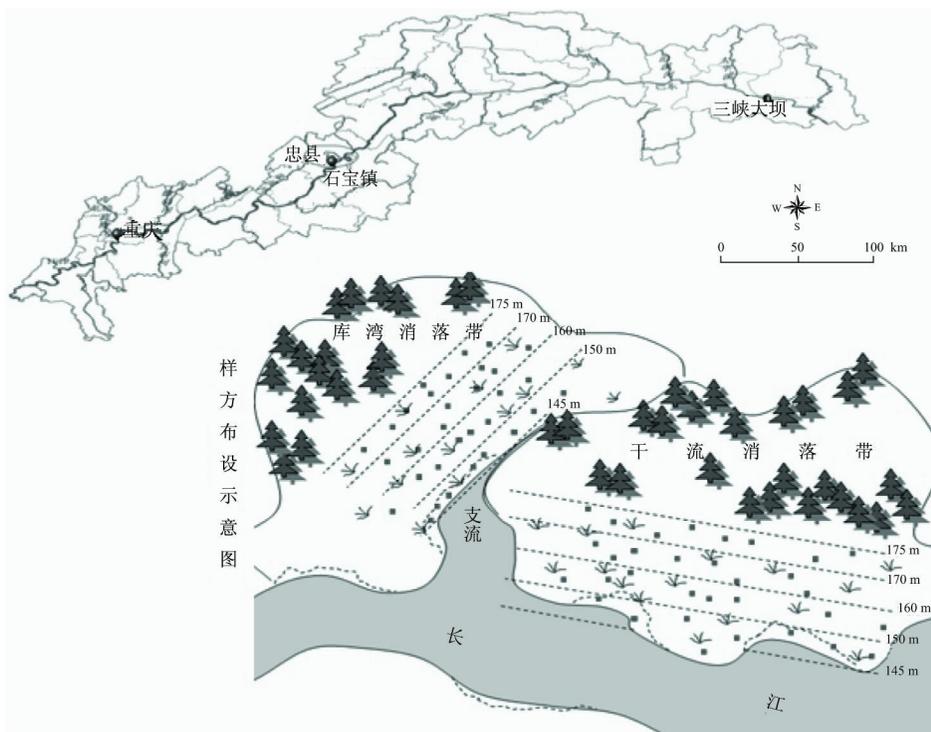


图 1 研究区域及水位梯度带划分和采样点布设(注:黑色方块为采样样方)

Fig. 1 Sketch Map of Study Area, Water-Level Zone and Sampling Positions  
(note: black square is sampling positions)

### 1.2 采样设计与调查方法

三峡水库在每年汛期(6~9月),水库水位降至最低的 145 m,汛期后(10月)开始蓄水,一般在 10 月底至 11 月上旬蓄水到最高水位 175 m,并保持到 12 月,然后水位又开始逐步回落,次年的 4 月降到 156 m,至 5 月底再次降到 145 m。

由于 2006 年的人为清库,消落带内乔木和灌木已经被人为清除,目前消落带内是以次生植被为主的植被类型,基本上均为草本植物。在全面踏勘的基础上,根据植被的生长情况,选择分布均匀、有代表性的样地运用典型抽样对样地内的植

被进行调查。

根据三峡水库的水位变化范围 145~175 m 将消落带由低到高划分成 3 个部分 4 条水位梯度带,即下部(145~150 m)、中部(150~160 m)和(160~170 m)、上部(170~175 m)。在每个水位梯度带内选择代表性地点随机设置  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  的样方(如图 1),每块样地每条水位梯度带平均设置样方 8 个左右。调查记录样方内植物种类、优势种和植株高度,用网格目测法估算植被盖度,同时齐地刈割样方内所有植物的地上部分,称量其鲜重,带回实验室在  $70^{\circ}\text{C}$  下烘干至恒重,测定水份,计算生物量。

### 1.3 数据处理

由于草本植物的个体数计数难度较大, 而且不同植物的个体所占据的空间也有很大的差异, 若以个体数作为多样性指数的测度指标, 肯定会带来很大的误差。Pielou、Whittaker 等学者建议采用相对盖度、重要值或生物量等作为多样性指数的测度指标<sup>[22, 23]</sup>。本文选用重要值作为测度指标。实验数据采用 Excel2007 和 SPSS 16.0 进行统计和分析, 采用 One way-ANOVA 方法对不同水位梯度带数据进行显著性分析, 设定显著性水平  $\alpha = 0.01$ 。若数据间差异达到显著水平, 则采用最小显著极差法 (LSD) 进行多重比较。

物种多样性指数繁多, 消落带植被的调查结果采用目前国内外普遍认可和使用的 4 种物种多样性指数来表征<sup>[24]</sup>:

Patrick 丰富度指数:  $D = S$

Shannon-Wiener 指数:  $H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$

Pielou 指数(均匀度指数):  $E = H' / \ln S$

Simpson 指数(优势度指数):  $P = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$

其中:  $P_i$  为物种  $i$  的重要值 (IV);  $S$  为出现在样方中的物种数。

重要值计算公式<sup>[25, 26]</sup>:

$IV(\%) = (\text{相对盖度} + \text{相对高度}) / 2$

## 2 结果与分析

### 2.1 消落带植被恢复的类型

2009 年 9 月份对三峡库区忠县石宝镇周围的消落带植被进行了调查, 共调查样点 5 个, 其中 3 个干流消落带样点, 2 个库湾消落带样点, 共计 154 个样方。

整个研究区内乔木、灌木稀少, 植被类型主要为多年生和一年生草本植物。

多年生草本植物 12 种: 狗牙根 (*Cynodon dactylon* (Linn.) Pers.)、空心莲子草 (*Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Girseb.)、萤蔺 (*Scirpus juncooides* Roxb.)、双穗雀稗 (*Paspalum distichum* L.)、水莎草 (*Cyperus glomeratus* L.)、牛毛毡 (*Eleocharis yokoscensis* (Franch. et Sav.) Tang et Wang)、酢浆草 (*Oxalis corniculata* L.)、石胡荽 (*Centipeda*

*minima* (Linn.) A. Br. et Aschers.)、野薄荷 (*Mentha sachalinensis* (Briq.) Kudo)、笔管草 (*Equisetum ramosissimum* Desf. subsp. debile (Roxb. ex Vauch.) Hauke)、慈姑 (*Sagittaria sagittifolia* L.)、凤眼莲 (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms), 其中狗牙根和空心莲子草为优势种。空心莲子草和凤眼莲属于外来入侵植物。

一年生草本植物 17 种: 叶下珠 (*Phyllanthus urinaria* L.)、苍耳 (*Xanthium sibiricum* Patr.)、稗草 (*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.)、狗尾草 (*Setaria viridis* (L.) Beauv.)、马唐 (*Digitaria sanguinalis* (Linn.) Scop.)、鬼针草 (*Bidens bipinnata* L.)、小蓬草 (*Conyza canadensis* (L.) Cronq.)、苏门白酒草 (*Conyza sumatrensis* (Retz.) Walker)、长鬃蓼 (*Polygonum longisetum* De Br.)、苋 (*Amaranthus tricolor* L.)、鸭跖草 (*Commelina communis* L.)、鳢肠 (*Eclipta prostrata* L.)、荩草 (*Arthraxon hispidus* (Thunb.) Makino)、艾蒿 (*Artemisia argyi* L. vl. et Van.)、青蒿 (*Artemisia carvifolia* Buch.-Ham. ex Roxb.)、青葙 (*Celosia argentea* Linn.)、紫苏 (*Perilla frutescens* (L.) Britton.) , 其中优势种为苍耳、稗草、鬼针草、狗尾草和马唐。苏门白酒草属于外来入侵植物。

### 2.2 消落带植被的空间分布特征

消落带植被呈明显斑块状集中分布。典型的有苍耳群落、稗草群落、鬼针草群落, 这些植物在群落中占有绝对优势, 植株高大, 郁闭度高, 导致下层其它伴生植物生长不良或者死亡。而且, 消落带植物种类分布极不均匀, 多数种类单个样方内个体数为一。

消落带植被沿水位高程梯度整体上有比较明显的带状分布特征, 从水面 145 m 高程往上大致分布 4 条植物带。

空心莲子草和狗牙根植物带: 主要集中在消落带 145~150 m 区域。这一区域基本上为撂荒的水田, 周期淹水 240 d 左右。由于汛期频繁被江水短期淹没, 泥沙淤积, 植被稀疏。空心莲子草和狗牙根抗逆性强, 根系发达, 靠地下(水下)根茎进行繁殖, 耐水淹。

稗草植物带: 多分布于消落带 150~160 m 区域, 周期淹水 210 d 左右。稗草为水田杂草, 这一区域也多是撂荒的水田, 退水后多成积水洼地, 土壤水分相对比较大, 十分有利于稗草的生长, 故这一水位带内可见成片分布的稗草。稗草是消落带优势度最大的种类, 分布极其广泛, 生长旺盛密集, 株高接近 2 m, 没有伴生植物。

苍耳、马唐和狗尾草带: 主要集中于消落带 160 ~ 170 m 区域, 分布区原土地利用方式多为旱地, 周期淹水 180 d 左右。苍耳生长面积大、旺盛密集、高大, 伴生植物不明显。马唐和狗尾草多伴生分布, 此消彼长, 多分布在弃耕的玉米地、高粱地内。这一区域植被的生长情况相对下面水位带更加旺盛, 株高增加, 苍耳、鬼针草等的株高可达 2 m 左右。

一年生杂草群落: 消落带 170~ 175 m 区域目前基本上为农田, 自然植被早已遭到严重破坏。由于长期受农业耕作影响, 未见有代表性植被, 多为一年生杂草群落。周期淹水 90 d 左右, 种类和 160~ 170 m 相比有所减少。

调查过程中可见, 消落带成陆初期, 首先是多年生草本植物空心莲子草和狗牙根这类植物最先恢复生长出来; 随着消落带成陆时间延长, 土壤中的种子萌发, 开始出现一年生草本植物, 此时消落带植物群落为一年生和多年生草本植物群落; 到消落带成陆后期, 多年生草本植物狗牙根和空心莲子草这类植

物由于靠匍匐茎繁殖, 受到一年生草本植物郁闭, 这个时候消落带主要植被类型为一年生草本植物。

### 2.3 消落带植被的生物学特征

#### 2.3.1 生物量和盖度

消落带植被的地上生物量和盖度沿着水位梯度的不断升高, 呈明显的递增趋势, 直到 170 m 水位高程开始有所下降, 先增后减, 抛物线状(图 2), 即消落带中部地上生物量和盖度最高, 下部最低, 上部较低。消落带下部(145~ 150 m)水位梯度带平均盖度只有 40% 左右, 地上生物量也最少, 平均 0.39(±0.13) kg/m<sup>2</sup>; 中部(150~ 160 m)水位梯度带盖度明显增加, 达到 90%, 地上生物量较之有所增加, 达到 0.51(±0.07) kg/m<sup>2</sup>; 中部(160~ 170 m)水位梯度带地上生物量明显增加, 达到最大, 为消落部下部的 2 倍多, 平均盖度 95% 以上, 地上生物量平均 0.79(±0.26) kg/m<sup>2</sup>, 最大可达 2.16 kg/m<sup>2</sup>; 消落带上部(170~ 175 m)水位梯度带盖度和地上生物量都略有降低, 平均值分别为 80% 和 0.61(±0.14) kg/m<sup>2</sup>。

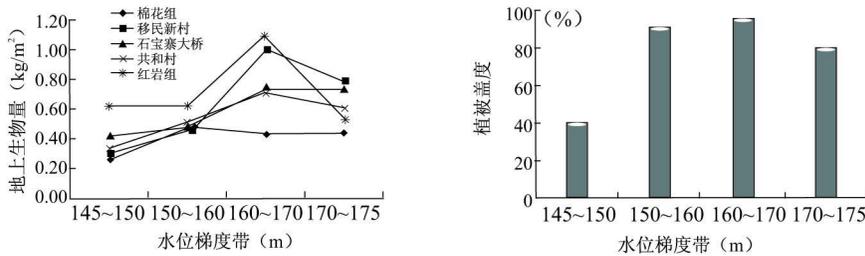


图 2 各水位梯度带地上生物量和盖度

Fig. 2 Biomass and Coverage of Plant of Different Water-Level Zone

对各水位梯度带地上生物量方差分析可见(表 1), 消落带各水位梯度带地上生物量存在显著差异 ( $P=0.009, \alpha=0.01$ ), 多重比较表明, 消落带下部

(145~ 150 m) 区域与中部(150~ 160 m) 区域无显著差异, 与中部(160~ 170m) 区域差异显著 ( $P=0.001$ ), 与上部(170~ 175 m) 区域较为显著 ( $P=0.048$ ), 中部

表 1 不同水位梯度带地上生物量和物种多样性统计表

Tab.1 Statistics of Biomass and Species Diversities of Four Water-Level Zones

指标 \ 水位梯度带		水位梯度带			
		(145~ 150 m)	(150~ 160 m)	(160~ 170 m)	(170~ 175 m)
Patrick 丰富度指数(D)	平均值	2.20±0.68b	4.42±0.41a**	5.29±1.27a**	4.43±0.64a**
	范围	1.25~ 3.14	3.78~ 4.88	3.78~ 7.11	3.50~ 5.25
Shannon-Wiener 指数(H)	平均值	0.59±0.28b	1.08±0.12a**	1.18±0.20a**	1.08±0.15a**
	范围	0.14~ 0.88	0.94~ 1.24	0.89~ 1.37	0.83~ 1.20
Pielou 均匀度指数(E)	平均值	0.67±0.27a	0.72±0.09a	0.73±0.05a	0.75±0.07a
	范围	0.21~ 0.89	0.62~ 0.82	0.66~ 0.79	0.67~ 0.84
Simpson 优势度指数(P)	平均值	0.37±0.16b	0.56±0.07a**	0.58±0.07a**	0.55±0.06a**
	范围	0.10~ 0.51	0.49~ 0.64	0.48~ 0.66	0.45~ 0.61
生物量(kg/m <sup>2</sup> )	平均值	0.39±0.13b	0.51±0.07ab	0.79±0.26a**	0.61±0.14a*
	范围	0.28~ 0.61	0.44~ 0.61	0.43~ 1.09	0.43~ 0.77

注: 同一行字母相同或者含有相同字母表示差异不显著, 字母不同表示差异显著(\*:  $\alpha=0.05$ , \*\*:  $\alpha=0.01$ )

和上部水位梯度带之间无显著差异。

### 2.3.2 物种多样性

物种多样性是生物多样性的关键, 它既体现了生物之间及生物与环境之间的复杂关系, 又体现了生物资源的丰富性。它用多样性指数来表征。

如图 3, 各消落带样点植被的 Patrick 丰富度指

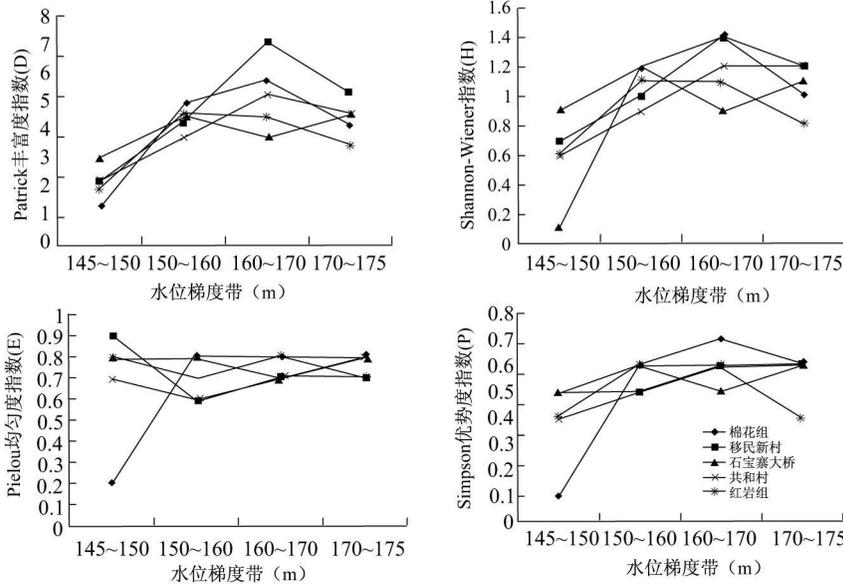


图 3 各消落带采样点物种多样性指数沿水位高程梯度的变化

Fig. 3 Change of Species Diversities of Sampling Plots Along with Water-Level Zone

Patrick 指数用单个样方内的物种数表示, 比较直观。在 145~ 150 m 水位梯度带植被种类单一, 平均物种数只有 2.20(±0.68) 种; 150~ 160 m 水位梯度带开始增加, 平均 4.42(±0.41) 种; 在 160~ 170 m 水位梯度带继续增加达到最大值, 平均 5.29(±1.27) 种, 样方内物种数目最多可达 12 种; 170~ 175 m 水位梯度带有所减少, 平均 4.43(±0.64), 但和 160 m 以下两个水位梯度带相比还是较高一些。由表 1 可见, 各水位梯度带的物种数存在显著性差异( $P=0.000, \alpha=0.01$ ), 多重比较消落带下部 145~ 150 m 区域与中上部各区域,  $P$  值分别为 0.001、0.000 和 0.001( $\alpha=0.01$ ), 中部和上部水位梯度带之间物种数差异不显著。

Shannon-Wiener 指数和 Simpson 优势度指数在 145~ 150 m 水位梯度带值最小, 均值分别为在 0.59(±0.28) 和 0.37(±0.16), 160~ 170 m 水位梯度带达到最大, 其均值分别为 1.18(±0.20) 和 0.58(±0.07)。Shannon-Wiener 指数和 Simpson 优势度指数均是其数值越大, 群落的多样性越高, 故消落带 160~ 170 m 区域群落多样性最高。各水位梯度带的 Shannon-Wiener 指数和 Simpson 优势度

数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数均沿水位梯度带呈先增加后减小的抛物线状变化, 与地上生物量的变化趋势相一致, 即消落带中部最高, 下部最低, 上部较低。Pielou 均匀度指数变化趋势不是很明显, 只有轻微波动, 这是因为消落带整体地理环境条件变化不明显, 比较相似。

指数经方差分析差异显著, Shannon-Wiener 指数  $P=0.001(\alpha=0.01)$ , 多重比较结果和 Patrick 指数相同; Simpson 优势度指数达到 0.05 水平显著 ( $P=0.012$ ), 多重比较消落带下部 145~ 150 m 区域与中上部各区域,  $P$  值分别为 0.008、0.003 和 0.009 ( $\alpha=0.01$ ), 中上部各水位梯度带之间差异不显著。

Pielou 均匀度指数表示群落中不同物种多度的分布, Pielou(1969) 把它定义为实测多样性和最大多样性之比。在整个消落带 Pielou 均匀度指数无显著差异, 基本上在 0.7 左右波动。

### 2.3.3 重要值

物种的重要值可以反映该植物在群落中的地位和作用, 重要值越大, 表明该植物在群落中的地位越重要, 对群落的影响越大。研究选取空心莲子草、狗牙根、苍耳和稗草 4 种消落带优势度最大的植物进行重要值分析(如图 4)。空心莲子草重要值变化范围 0.15~ 0.32, 标准差平均为 0.14; 狗牙根重要值变化范围 0.01~ 0.70, 标准差平均为 0.1。两者在 145~ 150 m 水位梯度带重要值最大, 随着水位梯度带的升高, 也即消落带成陆时间的延长, 其重要值不断下降, 这与它们在消落带内的分布情况相一致。

空心莲子草和狗牙根主要分布在消落带下部出露水面不久的土地上,在消落带上部分布较少。而且,空心莲子草是国家环保部在 2002 年公布的 9 种

危害最大的外来入侵物种之一,多生长于温暖潮湿的地方,常常形成茎干稠密交错的毯状单种优势群落<sup>[27]</sup>。

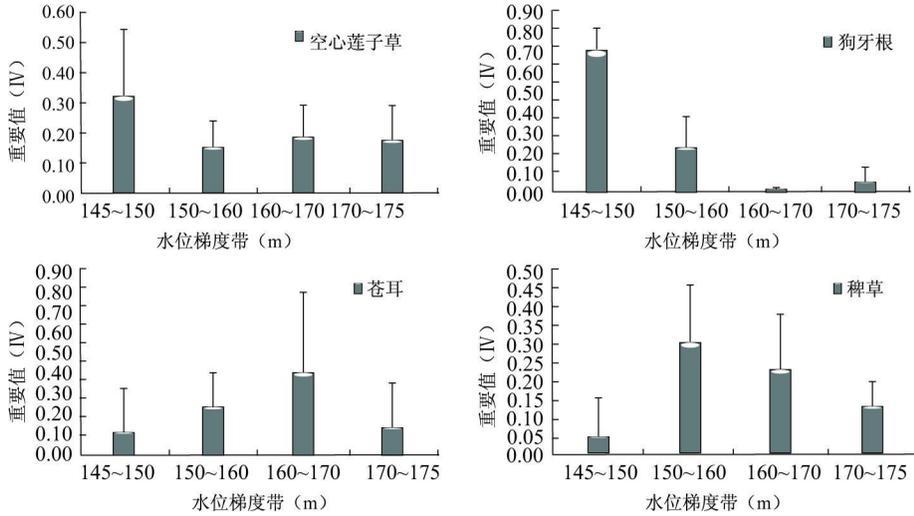


图 4 主要物种重要值沿水位梯度带的变化

Fig. 4 Important Value of Dominant Species in Different Water-Level Zone

苍耳重要值变化范围 0.10~0.39, 标准差平均 0.26; 稗草重要值变化范围 0.05~0.30, 标准差平均 0.13。两者的重要值沿水位梯度带呈现先增加后减少的趋势。稗草的最大值出现在 150~160 m, 稗草也是这一水位梯度带内的优势种类, 最先和空心莲子草、狗牙根形成竞争。160~170 m 水位梯度带苍耳重要值最大, 苍耳在这一区域植物群落中占据优势, 起主导作用。

#### 2.4 消落带植被各生物学特征间的相互关系

消落带淹水时间、植被盖度、生物量与各物种多样性指数间相关系数都比较显著, 多样性指

数之间都有着高度的正相关性, 沿水位高程梯度的总体变化趋势一致(表 2)。消落带植物群落的物种多样性和地上生物量密切相关, 随着物种多样性的提高, 地上生物量也不断增加。丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和均匀度指数三者间相关系数接近于 1 ( $P < 0.01$ ), 可见不同类型的多样性指数都一致地说明了消落带物种多样性的变化。而且, 物种多样性指数、植被盖度和地上生物量都与淹水时间呈比较显著的负相关, 这说明淹水时间对消落带植物群落的结构特征有显著影响。

表 2 淹水时间、植被盖度、生物量与各物种多样性指数之间的关系

Tab. 2 Correlation of Flooding Time, Coverage, Biomass and Indices of Species Diversities

	淹水时间	植被盖度	生物量	物种多样性指数			
				Patrick	Shannon	Simpson	Pielou
淹水时间	1						
植被盖度	-0.433	1					
生物量	-0.598	0.802	1				
Patrick	-0.524	0.978*	0.908	1			
Shannon	-0.530	0.990**	0.868	0.995**	1		
Simpson	-0.930	0.622	0.849	0.739	0.720	1	
Pielou	-0.564	0.987*	0.865	0.993**	0.999**	0.742	1

注: \* 表示相关系数 0.05 水平显著; \*\* 表示 0.01 水平显著。

### 3 讨论

三峡库区消落带植被呈斑块状集中分布, 有研

究表明, 消落带植被的这种集中分布状态有利于水淹条件下种群的生存和繁衍<sup>[28]</sup>。而且, 消落带大部分陆生植被对长期淹水环境反应敏感, 淹水后基本上均已死亡, 适合水陆两栖环境的植物较少, 主要有

空心莲子草和狗牙根。淹水后自然恢复的优势植被为一年生草本植物,这与卢志军等对消落带植被的预测结果相一致<sup>[11]</sup>。

消落带植被的地上生物量和物种多样性在消落带中部最大,而且消落带下部地上生物量和物种多样性与中上部存在显著差异,是因为消落带下部:(1)淹水时间长;(2)汛期频繁受到水位涨落波动影响。消落带上部植被的地上生物量和物种多样性较低,主要由于:(1)季节性干旱导致土壤水分含量较低,和160~170 m区域相比较有所欠缺;(2)消落带利用,人类活动频繁,如农田耕作、农药化肥的使用、放牛、割草等。

三峡库区属于亚热带地区,物种资源应相当丰富,但本文调查的物种丰富度只有29种,Shannon-Wiener指数平均0.98, Simpson指数平均0.52, Pielou均匀度指数平均0.72。三峡水库成库前,国内对三峡地区植物物种多样性已有很多研究。贺金生等<sup>[29]</sup>1996年对三峡长江干流及两岸地区的草丛进行了研究,Shannon-Wiener指数最大2.76,平均1.04; Simpson指数最大8.23,平均2.04。江明喜等<sup>[30]</sup>曾对三峡地区长江干流河岸带植被进行过调查,认为三峡地区干流河岸自然植被主要为灌丛和草丛,其中有草本植物39种。程瑞梅等<sup>[31]</sup>在1996~2001年对三峡库区草丛群落研究结果显示,Shannon-Wiener指数最大2.89,平均1.28; Simpson指数最大1.00,平均0.82; Pielou均匀度指数最大0.88,平均0.40。白宝伟等<sup>[8]</sup>在2005年对消落带植被的调查显示:未淹消落带草本植物物种丰富度可达86种,平均80种,Shannon-Wiener指数可达3.27,平均3.09。与淹水前的这些研究结果相比较,可见消落带淹水后物种多样性急剧降低,说明水淹对消落带植物的生存有严重影响。

三峡库区物种多样性的降低存在以下两点原因:(1)三峡水库反季节长期水淹。一次明显的水位波动使湿地植物群落的重建至少需要3a的时间<sup>[32]</sup>。三峡水库消落带形成才3a,而且每年都要经历一次高水位的落差循环,这对消落带陆生动物的影响是致命的。(2)在人地矛盾尖锐的三峡库区,消落带成陆期间,农业利用导致刚刚恢复的植被再一次遭到人为剔除。

## 4 小结

(1) 三峡库区消落带经过多次淹水后,大部分

陆生植物对淹水环境敏感,淹水后无法生存。与淹水前相比较,淹水后三峡库区消落带植物群落的物种多样性急剧降低。

(2) 三峡库区消落带多次淹水后,优势自然植被为一年生草本植物。适合消落带水陆两栖环境的植物稀少,研究区内仅发现空心莲子草和狗牙根两种。消落带植被多呈斑块状集中分布,地上生物量、植被盖度和物种多样性沿水位高程梯度145~175 m均呈先增加后减小的抛物线状变化,即消落带下部<消落带上部<消落带中部。而且,地上生物量和物种多样性关系密切,消落带下部地上生物量和物种多样性与中上部水位梯度带存在显著差异。

(3) 库区消落带淹没后出露落干,缓坡型消落带植被在无人干扰的情况下自然恢复良好,主要为次生草本植物,但群落组成结构趋于简单。

## 参考文献:

- [1] 刁承泰,黄京鸿.三峡水库水位涨落带土地资源的初步研究[J].长江流域资源与环境,1999,8(1):75~80.
- [2] 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.
- [3] 王勇,刘义飞,刘松柏,等.三峡库区消落带植被重建[J].植物学通报,2005,22(5):513~522.
- [4] 张光富,陈会艳,陈瑞冰,等.南京近郊自然湿地维管植物群落特征[J].生态学杂志,2007,26(2):145~150.
- [5] 谭淑端,王勇,张全发.三峡水库消落带生态环境问题及防治[J].长江流域资源与环境,2008,17(Z1):101~105.
- [6] 苏维词,杨华,赵纯勇,等.三峡库区(重庆段)涨落带土地资源的开发利用模式初探[J].自然资源学报,2005,20(3):326~332.
- [7] 袁辉,王里奥,詹艳慧,等.三峡库区消落带健康评价指标体系[J].长江流域资源与环境,2006,15(2):249~253.
- [8] 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(5):684~687,691.
- [9] 王强,袁兴中,刘红,等.三峡水库156m蓄水后消落带新生湿地植物群落[J].生态学杂志,2009,28(11):2183~2188.
- [10] 杨朝东,张霞,向家云.三峡库区消落带植物群落及分布特点的调查[J].安徽农业科学,2008,36(31):13795~13796,13866.
- [11] 卢志军,李连发,黄汉东,等.三峡水库蓄水对消落带植被的初步影响[J].武汉植物学研究,2010,28(3):303~314.
- [12] 乔普,曾波,王海锋,等.低温环境下光照强度对野古草种子萌发的影响[J].西南师范大学学报(自然科学版),2007,32(6):56~59.
- [13] 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):1229~1233.
- [14] 冯大兰,刘芸,钟章成,等.三峡库区消落带芦苇(*Phragmites communis*(reed))的光合生理响应和叶绿素荧光特性[J].生态学报,2008,28(5):2013~2021.
- [15] 罗芳丽,曾波,叶小齐,等.水淹对三峡库区两种岸生植物秋

- 华柳(*Salix variegata* Franch.)和野古草(*Arundinella anomala* Steud.)水下光合的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 1964~1970.
- [16] 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+49.
- [17] 涂修亮, 陈建, 吴文华. 三峡库区退化生态系统植被恢复与重建研究[J]. 湖北农业科学, 2000(2): 29~31.
- [18] 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, 2007, 25(23): 59~63.
- [19] 马利民, 唐燕萍, 张明, 等. 三峡库区消落区两种两栖植物的适生性评价[J]. 生态学报, 2009, 29(4): 1885~1892.
- [20] 王海锋, 曾波, 李娅, 等. 长期完全水淹对4种三峡库区岸生植物存活及恢复生长的影响[J]. 植物生态学报, 2008, 32(5): 977~984.
- [21] 张虹. 三峡重庆库区消落区基本特征与生态功能分析[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(3): 374~378.
- [22] PIELOU E C. Ecological diversity[M]. New York: John Wiley, 1975.
- [23] WHITTAKER R. Evolution of species diversity in land communities[J]. Evolutionary Biology, 1977, 2(3): 162~168.
- [24] 方精云, 沈泽昊, 唐志尧, 等. “中国山地植物物种多样性调查计划”及若干技术规范[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 5~9.
- [25] 王永健, 陶建平, 张炜银, 等. 茂县土地岭植被恢复过程中物种多样性动态特征[J]. 生态学报, 2006, 26(4): 1028~1036.
- [26] 王尚义, 李素清, 曹志敏, 等. 山西岚县皇姑梁小流域人工植物群落生态[J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5098~5109.
- [27] 潘晓云, 耿宇鹏, 张文驹, 等. 喜旱莲子草沿河岸带不同生境的盖度变化及形态可塑性[J]. 植物生态学报, 2006, 30(5): 835~843.
- [28] LEHMAN L, TILMAN D. Biodiversity, stability, and productivity in competitive communities[J]. The American Naturalist, 2000, 156(5): 534~552.
- [29] 贺金生, 陈伟烈, 江明喜, 等. 长江三峡地区退化生态系统植物群落物种多样性特征[J]. 生态学报, 1998, 18(4): 399~407.
- [30] 江明喜, 蔡庆华. 长江三峡地区干流河岸植物群落的初步研究[J]. 水生生物学报, 2000, 24(5): 458~463.
- [31] 程瑞梅, 肖文发, 李建文. 长江三峡库区草丛群落多样性的研究[J]. 山地学报, 2005, 23(4): 502~506.
- [32] 李伟, 刘贵华, 熊秉红, 等. 1998年特大洪水后鄱阳湖自然保护区主要湖泊水生植被的恢复[J]. 武汉植物学研究, 2004, 22(4): 301~306.

## CHARACTERISTICS OF RESTORATION OF NATURAL HERBACEOUS VEGETATION OF TYPICAL WATER-LEVEL FLUCTUATION ZONE AFTER FLOODING IN THE THREE GORGES RESERVOIR AREA

WANG Jian-chao<sup>1,2</sup>, ZHU Bo<sup>1</sup>, WANG Tao<sup>1</sup>

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Water-level fluctuation zone is the critical area which influences ecological services of reservoir. Restoration of natural herbaceous vegetation in the gentle slope water-level fluctuation zone in the Three Gorges Reservoir was investigated by ecological methods. The main plant types in study area were annual herbs and perennial herbs. There were 29 species of herbaceous plants, among which, *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Girseb., *Cynodon dactylon* (Linn.) Pers., *Xanthium sibiricum* Patrin., *Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv., *Setaria viridis* (L.) Beauv., *Bidens bipinnata* L. and *Digitaria sanguinalis* (Linn.) Scop. were the dominant. *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Girseb. and *Cynodon dactylon* (Linn.) Pers. were constructive species. Plant communities in water-level fluctuation zone were all patchiness. There were roughly four plant distribution zones, ie, *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Girseb. and *Cynodon dactylon* (Linn.) Pers. zone, *Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv. zone, *Xanthium sibiricum* Patrin. and *Digitaria sanguinalis* (Linn.) Scop.-*Setaria viridis* (L.) Beauv. zone. Annual weeds zone were from 145 m to 175 m altitude. Plant communities in water-level fluctuation zone could restore after flooding in the absence of human intervention, but the community structure tended to be simple and species diversity decreased significantly. Species diversity, the biomass and coverage along with water-level zone first increased, then decreased, and showed a single-peak pattern, ie, the lower part < the upper part < the middle part. There were a high correlation between the three, and they all negatively correlated with the length of flooding time. The differences of species diversity indices and biomass between water-level zone were remarkable, except for evenness index.

**Key words:** Three Gorges Reservoir area; water-level fluctuation zone; species diversity; vegetation restoration