

三峡水库不同间距高程消落带草本植物群落物种多样性与结构特征*

雷 波, 王业春, 由永飞, 张 晟**, 杨春华
(重庆市环境科学研究院, 重庆 401147)

摘 要: 植物群落结构特征与其生境具有重要关系. 三峡水库消落带独特的水文状况和不同地区地理条件的差异导致其不同区域不同水位高程的植被群落结构差异. 为研究三峡水库消落带典型区域植被群落结构特征, 调查分析了位于三峡水库腹地的消落带上、中、下部 3 个不同间距高程(145 ~ 155、155 ~ 170、170 ~ 175 m)的草本植物群落物种组成、生物多样性和结构特征. 结果表明: 共发现 49 种草本植物, 上、中、下部分 3 个高程物种数分别为 4、18、45 种, 随高程的增加物种数呈较为显著的增加; 3 个高程草本植物平均盖度、平均密度和平均高度范围分别为 $(2.58\% \pm 1.29\%) \sim (74.83\% \pm 2.57\%)$ 、 $(43.58 \pm 85.93) \sim (466.08 \pm 48.04)$ 株/m² 和 $(4.89 \pm 0.56) \sim (77.02 \pm 9.31)$ cm. 综合分析表明, 三峡水库腹地小范围流域消落带草本植物物种组成和结构趋于简单化, 由于受水淹胁迫影响及不同高程微生境的差异, 不同高程消落带植物多样性有所差异, 呈现出的群落特征也有所不同, 因此应充分考虑不同水位高程物种组成和结构的差异性特征, 分类(区)配置物种搭配、优化种间关系可促进消落带草本植物多样性以及群落结构的改善.

关键词: 三峡水库; 消落带; 高程; 草本植物; 物种多样性; 群落结构; 生态恢复

Diversity and structure of herbaceous plant community in typical water-level-fluctuation zone with different spacing elevations in Three Gorges Reservoir

LEI Bo, WANG Yechun, YOU Yongfei, ZHANG Sheng & YANG Chunhua
(Chongqing Academy of Environmental Science, Chongqing 401147, P. R. China)

Abstract: Plant community structure characteristics are affected by its habitat. Plant community structure characteristics with different elevations and districts are different because of the unique hydrological condition of the Three Gorges Reservoir (TGR) and geographical condition of different districts. Low (L), Middle (M) and High (H) of typical water-level-fluctuating zone (WLFZ) divided depending on different spacing water level elevations (145 – 155 m, 155 – 170 m, 170 – 175 m), were investigated in TGR in order to understand the herbaceous composition, diversity and synusia structure. In the 49 herbaceous species identified, only 4, 18 and 45 species were present in the L, M and H, respectively. The herb coverage, average density and average height of WLFZ of different water level elevations were $(2.58\% \pm 1.29\%) - (74.83\% \pm 2.57\%)$, $(43.58 \pm 85.93) - (466.08 \pm 48.04)$ shoots/m² and $(4.89 \pm 0.56) - (77.02 \pm 9.31)$ cm, respectively. Comprehensive analysis shows that the composition of herbaceous plant species and synusia structure of WLFZ tend to be simple. The species diversity and structure characteristics vary along with water level elevation for different flooding stress and different stages of succession. Our results suggest that the classification of species collocation and optimization of interspecific relationship would be an effective measure for improving herbaceous plants development in the WLFZ.

Keywords: Three Gorges Reservoir; water-level-fluctuating zone; elevation; herbaceous plant; diversity; synusia structure; ecological restoration

* 国家水体污染控制与治理科技重大专项项目 (2012ZX07104-003) 和重庆市自然科学基金重点项目 (cstc2012jjB20003) 联合资助. 2013 - 07 - 12 收稿; 2014 - 01 - 21 收修改稿. 雷波 (1978 ~), 男, 高级工程师; E-mail: leilibo@hotmail.com.

** 通信作者; E-mail: Shengzsts@126.com.

三峡工程作为世界上最大的水利水电枢纽工程,通过“蓄清排浑”的运行调度方式,即夏季低水位(145 m)运行,冬季高水位(175 m)运行,在库周两岸形成与天然河流涨落季节相反、涨落幅度高达30 m、面积约为344.22 km²的水库消落带^[1-2].经过多次水位逐级提升的蓄水过程,三峡水库于2010年完成了175 m的试验性蓄水,标志着原有的长江自然消落带消失,我国面积最广、涨落幅度最大的水库消落带正式形成,冬水夏陆交替的新型生境导致原有的植被群落大量消失^[3],三峡水库消落带湿地生态系统的恢复重建成为国内外科研工作者关注的焦点.三峡水库消落带湿地生态系统的生态功能恢复成为消落带湿地的管理目标之一,揭示消落带地表物种组成与结构不仅是评估消落带湿地生态功能的一个重要途径,也是评判消落带生态功能恢复效果的一个必要手段,可为消落带湿地水土流失综合防治、植被群落生态恢复重建、生物多样性保护和恢复提供依据.

草本植物是消落带湿地生态系统至关重要的组成部分.由于三峡水库消落带经受着水位涨落的反复影响,原有的乔、灌木以及部分草本植物难以适应而死亡或被迁移,在消落带初露期间,生长周期短、耐淹能力强的草本植物成为该湿地生态系统的建群种,在消落带湿地生态系统动态变化过程中扮演着不可替代的作用^[4].草本植被群落特征受到地形、地貌、坡度、海拔等因素影响^[5].三峡水库消落带独特的水文状况以及局部区域特殊的地理条件导致了其不同区域不同水位高程的植被群落结构差异.目前,对三峡水库消落带植被群落结构特征的研究多集中在三峡水库中、低水位的蓄水期^[6-8],如:王强等^[9]研究了三峡水库初期蓄水对消落带植被及物种多样性的影响.另外,一些学者也对三峡库区整个流域植被群落进行了调查^[10-12].研究表明,2009年以前,三峡水库整个流域消落区沿着不同海拔且等间距的垂直方向^[13-14]或不同水平方向^[15],植被的丰富度和盖度显著降低,植物群落多样性具有明显差异;三峡库区的淹没时间、淹没频率和水量的变化能够减少岸边维管植物的丰富度和盖度,并改变植被群落结构^[16].然而,三峡库区消落带面积大、流域广,不同区域地理条件差异巨大,三峡水库消落带植被群落呈现出不同间距高程段的差异^[2].随着2010年三峡水库完成175 m水位蓄水后,30 m消落带才最终整体形成,其植被群落结构发生着进一步变化,同时针对不同间距高程分段的消落带植被群落结构特征的研究鲜见报道.因此,本研究在考虑175 m蓄水后消落带水位涨落特点的基础上,选取位于三峡水库腹的典型消落带为研究对象,在消落带整体出露时期调查不同间距高程段的草本植物群落物种组成和结构特征并进行比较,评价不同高程草本植物的生长发育状况,揭示三峡库区典型区域消落带植被群落特征及不同间距高程段的差异,为消落带生态恢复和植被重建工作提供依据,同时也为当地消落带管理部门提供理论参考.

1 研究区域和方法

1.1 研究区自然概况

忠县(30°03'03"~30°35'35"N,107°32'42"~108°14'00"E)地处三峡库区腹心地带,长江由西南向东北横贯全境,流经88 km,汇合溪河28条,消落带区域地势较为平坦、面积广阔.根据测算,忠县消落带面积约为33.73 km²,占三峡水库消落带面积的9.80%,是分布面积最广的区县之一^[17].该区域属亚热带东南季风区山地气候,雨量较充沛,湿热凉爽明显,四季分明,日照充足,且夏丰冬欠.年平均气温18.8℃,大于10℃的年积温为5891.4℃;日照时数1327.5 h,日照率29%;年均降雨量1172.1 mm,多集中在6—8月,相对湿度约为80%.

1.2 样地的选取和数据的收集

为排除地形条件和人类活动干扰对研究结果的影响,并充分考虑消落带的典型代表性,选取地形条件(坡度、坡向)、土地利用历史具有整体性和一致性的近自然状态消落带为调查对象.该调查对象位于忠县复兴镇西流村五组沿江地带(30°18'27"N,108°4'58"E),距离城镇、村落集中区较远,人为干扰影响较小,整体坡度小于7°,坡向为北偏东43.5°,原土地利用类型为农业耕地(黄壤),部分区域有积水,植被覆盖以草本为主,仅消落带上部有零星的乔、灌木.

2012年8月20日—9月10日,对不同水位高程消落带的草本植物群落进行样方调查.根据不同高程消落带出露时间的差异,将调查样区划分为经常性水淹(L)、半淹半露(M)、经常性出露(H)3个高程段(表1),分别是145~155、155~170、170~175 m高程段^[18],在L、M、H高程段的中部分别设置1条约1000 m的样线,均匀布设样方,每条样线布设24个1 m×1 m的样方,3条样线共计72个样方,用于草本植物群落调查.样方设

定后,首先记录样方内草本植物种数,计测整个草本层的总盖度和不同草本物种的盖度(%);然后测量草本层高度,10次重复,计算平均高度(cm);最后计数每种草本植物的个体数(对于丛生的草本植物,计数植株与土壤接触基部的个数),换算成密度(株/m²).调查结束后,采集草本植物标本,在室内鉴定到种.

表1 三峡水库消落带3个高程段的基本特征
Tab. 1 Fundamental information of three spacing elevations in water-level-fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir

| 调查对象 | 高程范围/m | 出露时间/d | 坡度/° | 坡向 | 土壤含水率/% | 样地特征 |
|------|-----------|--------|-------|---------|---------|--|
| L 段 | 145 ~ 155 | ≈120 | 2 ~ 6 | NE43.5° | 31.5 | 经常性水淹状态. 土壤湿润、松散, 部分区域时有积水, 植被稀少 |
| M 段 | 155 ~ 170 | ≈180 | 2 ~ 7 | NE43.5° | 21.9 | 半年淹水半年出露状态. 土壤较为湿润、松散, 少量区域时有积水, 植被长势较好 |
| H 段 | 170 ~ 175 | ≈270 | 3 ~ 7 | NE43.5° | 14.2 | 经常性出露状态. 土壤湿润、松散程度最低, 基本无积水, 植被长势较好, 有零星的乔、灌植物 |

1.3 数据处理与分析

根据调查结果,分析不同水位高程消落带草本植物群落的物种组成和结构特征.统计每一高程段的草本植物物种组成及其物种数、出现的频率、盖度、多度、密度和平均高度,计算不同高程每种草本的重要值.

$$P_i = 100(Dr + Pr + Fr)/3 \tag{1}$$

式中, P_i 为重要值, Dr 为相对多度, Pr 为相对盖度, Fr 为相对频度.同时,采用较为广泛使用的生物多样性测度指数 Shannon-Wiener 指数(H)、Simpson 指数(D)、Pielou 指数(E)和 Patrick 丰富度指数(R ,等于每个样方的种数),比较和评价 α 多样性差异.

$$H = - \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i) \tag{2}$$

$$D = \sum_{i=1}^S P_i^2 \tag{3}$$

$$E = H/\ln S \tag{4}$$

式中, P_i 为物种重要值, S 为物种数, N 为个体总数.

消落带不同高程段的丰富度指数和结构参数(密度、盖度、高度)进行方差分析(ANOVA)和差异显著性检验($P=0.05$).所有统计分析运用 SPSS 17.0 进行.

2 结果与分析

2.1 物种组成及其差异

3个不同高程消落带共鉴定到草本植物23科49种,其中禾本科、菊科物种相对较多,分别达到6种、10种,其他科物种数在1~4种之间(表2).不同高程消落带草本植物物种数差异较为明显,其中下部L段物种数极少,仅有4种;中部M段物种数相对较多,达到18种;上部H段物种数最多,达到45种.从生长周期来看,一年生草本植物相对较多,为26种,占总数的53.06%,其余均为多年生草本植物;不同高程物种生长周期有所差异,多年生草本植物所占比例随高程的增加而降低,L段、M段、H段多年生草本物种比例分别为100%(4种)、61.1%(11种)和48.9%(22种).

从物种组成来看,消落带下部L段物种包括狗牙根、牛鞭草、空心莲子草、稗4种,是3个不同高程消落带的共存种,说明这4种草本植物在消落带自然恢复过程中的常见性.消落带M段除铁苋菜、匙叶草、地桃花、火炭母外,其余14个物种均在H段出现,为这两个高程段的共存物种.而白酒草、狼把草等31种草本植物仅在H段出现(表2).

3个不同高程草本物种的相对重要值如表2所示.如果按照10%作为优势物种判定标准,消落带下部L

段的优势物种依次为狗牙根、牛鞭草,均为多年生禾本科植物;中部 M 段优势物种依次为多年生禾本科植物狗牙根、一年生禾本科植物狗尾草和马唐;而上部 H 段仅为一年生菊科植物白酒草,其重要值(30.85%)远远高于其他物种.其中,L 和 M 段消落带优势物种均为禾本科植物,且狗牙根为第一优势种,其重要值分别为 77.04% 和 31.50%,远远高于同高程段其他植物.

表 2 三峡水库消落带 3 个高程段草本植物组成及其重要性指数(%)
Tab. 2 Herbaceous plants and their importance index of three spacing elevations
in water-level-fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir

| 种名 | 所属科 | L | M | H | 备注 |
|--|------|-------|-------|-------|-----|
| 狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i> | 禾本科 | 77.04 | 31.50 | 7.33 | 多年生 |
| 牛鞭草 <i>Hemarthria altissima</i> | 禾本科 | 13.54 | 3.29 | 1.67 | 多年生 |
| 稗 <i>Echinochloa crusgalli</i> | 禾本科 | 4.12 | 7.18 | 3.69 | 多年生 |
| 狗尾草 <i>Setaria viridis</i> | 禾本科 | — | 13.27 | 3.92 | 一年生 |
| 马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i> | 禾本科 | — | 10.03 | 1.02 | 一年生 |
| 野黍 <i>Eriochloa villosa</i> | 禾本科 | — | 5.88 | 2.11 | 一年生 |
| 苍耳 <i>Xanthium sibiricum</i> | 菊科 | — | 8.97 | 0.72 | 一年生 |
| 藎肠 <i>Eclipta prostrata</i> | 菊科 | — | 1.75 | 0.84 | 一年生 |
| 鬼针 <i>Bidens pilosa</i> | 菊科 | — | 0.61 | 3.04 | 一年生 |
| 白酒草 <i>Conyza japonica</i> | 菊科 | — | — | 30.85 | 一年生 |
| 狼把草 <i>Bidens tripartita</i> | 菊科 | — | — | 8.90 | 一年生 |
| 野茼蒿 <i>Gynura crepidioides</i> | 菊科 | — | — | 2.20 | 一年生 |
| 青蒿 <i>Artemisia carvifolia</i> | 菊科 | — | — | 0.22 | 一年生 |
| 黄花蒿 <i>Artemisia annua</i> | 菊科 | — | — | 0.21 | 一年生 |
| 艾蒿 <i>Artemisia lavandulaefolia</i> | 菊科 | — | — | 1.36 | 多年生 |
| 天名精 <i>Carpesium abrotanoides</i> | 菊科 | — | — | 0.24 | 多年生 |
| 天胡荽 <i>Hydrocotyle sibthorpioides</i> | 伞形科 | — | 0.57 | 2.08 | 多年生 |
| 细叶旱芹 <i>Apium leptophyllum</i> | 伞形科 | — | — | 0.72 | 一年生 |
| 野胡萝卜 <i>Daucus carota</i> | 伞形科 | — | — | 0.61 | 一年生 |
| 水芹 <i>Oenanthe javanica</i> | 伞形科 | — | — | 0.23 | 一年生 |
| 铁苋菜 <i>Acalypha australis</i> | 大戟科 | — | 0.56 | — | 一年生 |
| 叶下珠 <i>Phyllanthus urinaria</i> | 大戟科 | — | — | 0.47 | 一年生 |
| 飞扬草 <i>Euphorbia hirta</i> | 大戟科 | — | — | 0.21 | 一年生 |
| 荨麻 <i>Urtica fissa</i> | 荨麻科 | — | — | 0.27 | 多年生 |
| 糯米团 <i>Gonostegia hirta</i> | 荨麻科 | — | — | 0.20 | 多年生 |
| 苎麻 <i>Boehmeria nivea</i> | 荨麻科 | — | — | 0.27 | 一年生 |
| 紫苏 <i>Perilla frutescens</i> | 唇形科 | — | — | 2.21 | 一年生 |
| 疏毛白绒草 <i>Leucas mollissima</i> | 唇形科 | — | — | 0.21 | 多年生 |
| 石荠苎 <i>Mosla scabra</i> | 唇形科 | — | — | 0.20 | 一年生 |
| 空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i> | 苋科 | 5.30 | 6.06 | 0.31 | 多年生 |
| 绿穗苋 <i>Amaranthus hybridus</i> | 苋科 | — | — | 0.23 | 一年生 |
| 水葱 <i>Scirpus tabernaemontani</i> | 莎草科 | — | 1.53 | 0.51 | 多年生 |
| 香附子 <i>Cyperus rotundus</i> | 莎草科 | — | — | 2.61 | 多年生 |
| 救荒野豌豆 <i>Vicia sativa</i> | 豆科 | — | — | 1.07 | 一年生 |
| 合萌(田皂角) <i>Aeschynomene indica</i> | 豆科 | — | — | 0.64 | 一年生 |
| 匙叶草 <i>Latouchea fokienensis</i> | 紫草科 | — | 4.33 | — | 多年生 |
| 火炭母 <i>Polygonum chinense</i> | 蓼科 | — | 1.82 | — | 多年生 |
| 地桃花 <i>Urena lobata</i> | 锦葵科 | — | 1.21 | — | 多年生 |
| 车前草 <i>Plantago asiatica</i> | 车前科 | — | 0.90 | 1.83 | 多年生 |
| 吉祥草 <i>Reineckea carnea</i> | 百合科 | — | 0.56 | 0.25 | 多年生 |
| 地果 <i>Ficus tikoua</i> | 桑科 | — | — | 7.21 | 多年生 |
| 酢浆草 <i>Oxalis coniculata</i> | 酢浆草科 | — | — | 2.19 | 多年生 |
| 山葡萄 <i>Vitis amurensis</i> | 葡萄科 | — | — | 0.20 | 多年生 |
| 马蹄金 <i>Dichondra micrantha</i> | 旋花科 | — | — | 1.64 | 多年生 |
| 蛇莓 <i>Duchesnea indica</i> | 蔷薇科 | — | — | 1.32 | 多年生 |
| 海金沙 <i>Lygodium japonicum</i> | 海金沙科 | — | — | 0.21 | 多年生 |
| 丁香蓼 <i>Ludwigia prostrata</i> | 柳叶菜科 | — | — | 2.00 | 一年生 |
| 通泉草 <i>Mazus japonicus</i> | 玄参科 | — | — | 1.57 | 一年生 |
| 鸭跖草 <i>Commelina communis</i> | 鸭跖草科 | — | — | 0.20 | 一年生 |

2.2 Alpha 多样性指数及其差异

3 个不同高程的草本植物丰富度指数如图 1A 所示. 上部 H 高程段的草本植物丰富度指数最高 (16.42 ± 0.48 种/ m^2), 中部 M 段次之 (5.17 ± 0.25 种/ m^2), 下部 L 段丰富度指数最小 (1.58 ± 0.13 种/ m^2), 不同高程段之间草本物种丰富度指数存在显著差异 ($P < 0.05$). 从 Shannon-Wiener 指数来看, L 段、M 段和 H 段分别为 0.7588、2.2742 和 2.8358, 其中 M 段和 H 段的差异较小, 但均远高于 L 段, 说明 M 段和 H 段草本植物群落的复杂程度远高于 L 段. Simpson 指数呈现出与 Shannon-Wiener 指数相同规律, L 段、M 段和 H 段分别为 0.3836、0.8486 和 0.8770, 表明 H 段和 M 段优势物种奇异程度较 L 段高. 而各高程段的 Pielou 指数值相差不甚明显, L 段、M 段和 H 段分别为 0.5474、0.7868 和 0.7450, 与 Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数不同的是, M 段指数值最大, 说明 M 段草本植物群落的物种分布均匀程度最高, 而 L 段均匀程度最低.

2.3 结构特征

从不同高程草本植物出现频率来看, M 和 H 段草本植物出现频率均达 100%, L 段草本植物出现频率相对较低, 为 91.67%. 从草本植物种类在各高程出现频率来看, L 段狗牙根出现频率最大, 为 83.33%, 远大于其他物种; 牛鞭草次之, 为 41.67%; 空心莲子草和稗均只有 16.67%. M 段出现频率前 3 的物种依次是狗尾草 (83.33%)、狗牙根 (75.00%) 和空心莲子草 (41.67%), 而其优势物种之一的马唐仅为 25.00%. H 段出现频率前 3 的物种依次是白酒草、狼把草、狗尾草, 分别达到 100%、91.67%、83.33%, L 和 M 段出现频率高的狗牙根在 H 段的出现频率也较高 (41.67%), 说明狗牙根在消落带草本植物中的常见性.

消落带草本植物平均盖度 (平均值 \pm 标准误; 下同) 为 $46.92\% \pm 3.99\%$, 其中消落带中部 M 段草本植物盖度值最大, 达到 $74.83\% \pm 2.57\%$; 其次为消落带上部 H 段, 为 $63.33\% \pm 2.90\%$; 最小的为消落带 L 段, 仅为 $2.58\% \pm 1.29\%$, 远远低于 M 段和 H 段. 消落带 3 个高程段草本植物盖度表现出显著差异 ($P < 0.05$) (图 1B).

消落带草本植物的平均密度为 269.22 ± 30.49 株/ m^2 , 其中消落带 M 段草本植物密度最大, 为 466.08 ± 48.04 株/ m^2 ; 其次为 H 段, 为 298.00 ± 17.54 株/ m^2 ; 最小的仍为 L 段, 仅达到 43.58 ± 85.93 株/ m^2 , 仅分别约为 M 段和 H 段的 9.23% 和 14.43%. 消落带 3 个高程段草本植物密度呈现出显著差异 ($P < 0.05$) (图 1C).

消落带草本植物平均高度为 39.27 ± 40.42 cm, 其中消落带上部 H 段最大, 为 77.02 ± 9.31 cm, 分别是 M 段和 L 段的 2.15 和 15.75 倍. 中部 M 段、下部 L 段分别为 35.89 ± 3.05 、 4.89 ± 0.56 cm. 消落带 3 个高程段亦表现出显著差异 ($P < 0.05$) (图 1D).

3 讨论

三峡水库腹地小范围流域内的消落带 3 个高程段共发现草本植物 49 种, 以禾本科、菊科物种较多, 一年生草本物种数略高于多年生草本植物, 随着高程的增加一年生草本植物所占物种比例逐步增加. 与 145 m 蓄水前^[19]和 175 m 蓄水前的研究相比^[20-21], 三峡水库 175 m 蓄水后, 消落带草本物种总数和不同高程物种数均明显减少, 消落带植被群落仍处于较为早期的植被退化阶段. 而与成库时间较长的水库研究相比^[22-23], 三峡水库消落带植物种丰富度相对较高, 随着成库时间的不断增加, 三峡水库消落带的植被可能将呈现更加单一化的趋势^[18].

水位的变化导致某些植物落叶、死亡, 某些植物扩张生长, 引起植物群落的变化^[24]. 消落带不同高程段物种数范围为 4~45 种, 相互之间物种组成和生物多样性指数也表现出一定的差异性. 其中消落带下部 L 段草本植物多样性最低, 而上部 H 段草本植物多样性最高, 呈现出随高程的增加而明显上升的趋势. 不同高程优势物种有所差异: 上部 H 段优势种为白酒草; 下部 L 段仅有 4 种物种分布, 其中狗牙根为绝对优势种; 中部 M 段的优势种狗牙根, 但马唐、狗尾草和苍耳等在该高程中占有重要的地位. 总体上与相关研究结果相似^[25]. 如王建超等^[26]在研究忠县石宝寨消落带时发现, 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变化规律为: 空心莲子草、狗牙根 \rightarrow 稗草带、苍耳、马唐、狗尾草 \rightarrow 一年生杂草. 这主要是由于消落带不同高程段出露时间的差异^[2], 导致受水淹胁迫影响的不同, 引起消落带土壤含水率的高程间差异明显 (14.2%~31.5%), 致使物种在各高程的定居难易程度有所不同, 引起高程间的物种变化. 此外, 消落带

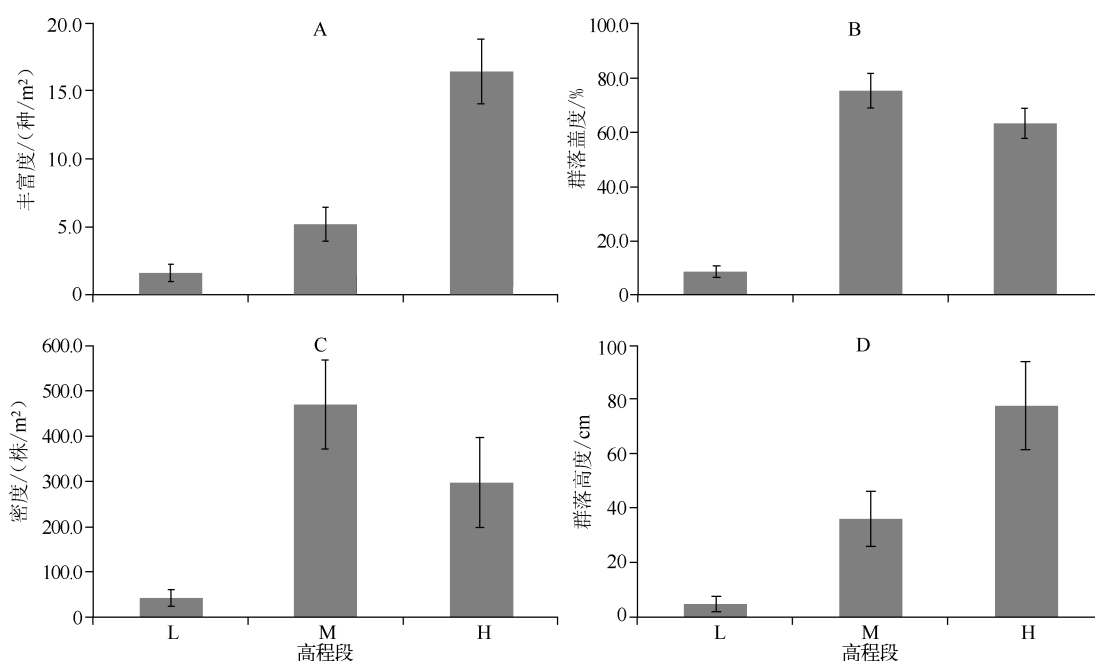


图1 三峡水库消落带3个高程段草本植物丰富度指数与群落结构

Fig. 1 Richness index and the layer structure of three spacing elevations in water-level-fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir

原有植物群落的组成以及消落带以上陆域环境对消落带植被的影响明显^[27],如上部H段,受水淹胁迫较小,优势种能够争夺到更多的资源而更好地生长;陆域环境中各种植物种子也通过各种途径进入该区段,但该区段资源有限,相较于陆域环境,也受到水淹胁迫的影响,因此该区段的众多物种对优势种不能造成威胁.植物本身可以利用其独特的生长和繁殖方式来适应极端的水淹环境^[28],如在水淹时间很长的L段,水淹是植物面临的最主要问题,而克隆整合效应促进了狗牙根在水淹胁迫下分株的生长,并有助于整个克隆片段抵御水淹胁迫^[29].水淹的时间和频率^[30]以及土壤种子库^[10]对植被群落组成也有巨大的影响,如中部M段相较于上部H段水淹时间变长,足以使原群落的建群种死亡,同时相较于下部L段,中部M段出露时间变长,能够满足较多植物的生长要求,土壤种子库也比较丰富,不同的植物可以充分利用自己的优势而不受先前物种的影响,迅速抢占空间资源,这也意味着该高程的植物竞争最为激烈.

如同苔藓植物在森林生态系统中的作用一样^[31],草本植物作为三峡水库消落带湿地生态系统演变的先锋优势群落,其发育程度对消落带湿地生态系统健康有指示作用,群落结构和物种组成直接体现了湿地生态系统结构状况以及微环境的“自然性”,可以作为消落带湿地环境恢复状况以及健康状况评价的重要指标之一^[32].促进草本植物的良好发育必然大大促进三峡水库消落带生态系统的生态服务功能(如水土保持、减污截污功能、生态景观等)的改善和系统稳定性的增强.

4 结论

三峡水库腹地小范围流域消落带草本植物物种组成和结构趋于简单化,由于受水淹胁迫影响及不同高程微生境的差异,不同高程消落带植物多样性有所差异,呈现出的群落特征也不同,因此应充分考虑不同水位高程物种组成和结构的差异性特征,分类(区)配置物种搭配、优化种间关系可促进消落带草本植物多样性以及群落结构的改善.

5 参考文献

- [1] 中国工程院三峡工程阶段性评估项目组. 三峡工程阶段性评估报告: 综合卷. 北京: 中国水利水电出版社,

- 2010;113.
- [2] 雷波,杨春华,杨三明等. 基于GIS的长江三峡水库消落带生态类型划分及其特征. 生态学报, 2012, **31**(8): 2082-2090.
- [3] 刘云峰,刘正学. 三峡水库消落带植被重建模式初探. 重庆三峡学院学报, 2006, **22**(3): 4-7.
- [4] 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. 武汉植物学研究, 2010, **28**(3): 303-314.
- [5] 刘世梁,马克明,傅伯杰等. 北京东灵山地区地形土壤因子与植物群落关系研究. 植物生态学报, 2003, **27**(4): 496-502.
- [6] 王晓荣,程瑞梅,唐万鹏等. 三峡库区消落带水淹初期土壤种子库月份动态. 生态学报, 2012, **32**(10): 3107-3117.
- [7] 王勇,吴金清,黄宏文等. 三峡库区消落带植物群落的数量分析. 武汉植物学研究, 2004, **22**(4): 307-314.
- [8] 熊高明,谢宗强,赖江山等. 三峡水库岛屿成岛前的植被特征与物种丰富度. 生物多样性, 2007, **15**(5): 533-541.
- [9] 王强,袁兴中,刘红等. 三峡水库初期蓄水对消落带植被及物种多样性的影响. 自然资源学报, 2011, **26**(10): 1680-1693.
- [10] 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. 生态学报, 2010, **30**(21): 5821-5831.
- [11] 孙荣,袁兴中,刘红等. 三峡水库消落带植物群落组成及物种多样性. 生态学报, 2011, **30**(2): 208-214.
- [12] Zhi JL, Lian FL, Ming XJ *et al.* Can the soil seed bank contribute to revegetation of the drawdown zone in the Three Gorges Reservoir Region? *Plant Ecology*, 2010, **20**(9): 153-165.
- [13] 刘维曄,王杰,王勇等. 三峡水库消落区不同海拔高度的植物群落多样性差异. 生态学报, 2012, **32**(27): 5454-5466.
- [14] Wang Q, Yuan XZ, Liu H *et al.* Effect of long-term winter flooding on the vascular flora in the drawdown area of the Three Georges Reservoir, China. *Polish Journal of Ecology*, 2012, **60**(1): 95-106.
- [15] Su XL, Zeng B, Huang WJ *et al.* Effects of the Three Gorges Dam on preupland and preiparian drawdown zones vegetation in the upper watershed of the Yangtze River, P. R. China. *Ecological Engineering*, 2012, **44**: 123-127.
- [16] Yang F, Liu WW, Wang J *et al.* Riparian vegetation's responses to the new hydrological regimes from the Three Gorges Project: Clues to revegetation in reservoir water-level-fluctuation zone. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, **32**: 89-98.
- [17] 唐敏,杨春华,雷波. 基于GIS的三峡水库不同坡度消落带分布特征. 三峡环境与生态, 2013, **35**(3): 8-10, 20.
- [18] 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. 生态学报, 2011, **31**(4): 906-913.
- [19] 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. 安徽农业科学, 2008, **36**(31): 13795-13796.
- [20] 刘维曄,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. 植物科学学报, 2011, **29**(3): 296-306.
- [21] 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. 长江流域资源与环境, 2011, **20**(5): 603-610.
- [22] 廖世纯,韦桥现,蔡健和等. 广西水库消落带植物群落调查. 中国水土保持, 2008, **10**(8): 42-45.
- [23] 蔡德所,赵湘桂,张永祥等. 桂林青狮潭水库消落带植物物种及其特性. 中国水土保持, 2008, **10**(9): 34-36.
- [24] Humphrey JW, Daveyb AJ, Peacock RF *et al.* Lichens and bryophyte communities of planted and semi-natural forests in Britain: the influence of site type, stand structure and deadwood. *Biological Conservation*, 2002, **107**: 165-180.
- [25] 王业春,雷波,张晟. 三峡库区消落带不同水位高程植被和土壤特征差异. 湖泊科学, 2012, **24**(2): 206-212.
- [26] 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. 长江流域资源与环境, 2011, **20**(5): 603-612.
- [27] 马利民,唐燕萍,张明等. 三峡库区消落区几种两栖植物的适生性评价. 生态学报, 2009, **29**(4): 1885-1892.
- [28] 洪明,郭泉水,聂必红等. 三峡库区消落带狗牙根种群对水陆生境变化的响应. 应用生态学报, 2011, **22**(11): 2829-2835.
- [29] 张想英,樊大勇,谢宗强等. 克隆整合有助于狗牙根抵御水淹. 植物生态学报, 2010, **34**(9): 1075-1083.
- [30] Whittaker RH. *Communities and ecosystem*; 2nd. New York: Macmillan, 1975: 58.
- [31] 雷波,包维楷,贾渝. 6种人工针叶幼林下地表苔藓植物群落的物种多样性与结构特征. 植物生态学报, 2004, **28**(5): 594-600.
- [32] Magurran A. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton: Princeton University Press, 1988: 127.