

三峡水库蓄水后开县消落带植物群落数量分析

孙荣^{1,2}, 刘红¹, 崔佳¹, 袁兴中^{1,2} (1. 重庆大学资源及环境科学学院, 重庆 400030 2. 西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆 400030)

摘要: 为了解三峡水库蓄水后消落带植物群落的特征, 于 2008 年 7—9 月对重庆市开县消落带进行现场调查, 并应用双向指示种分析法 (TW NSPAN) 和除趋势对应分析法 (DCA) 对三峡水库 156 m 蓄水后消落带植物群落进行数量分类和排序。结果表明, TW NSPAN 将 170 个样方划分为 19 类, 其中具代表性的主要植物群落为水蓼 (*Polygonum hydropiper*) 群落、苍耳+狗牙根 (*Xanthium mongolicum* + *Cynodon dactylon*) 群落、苍耳 (*X. mongolicum*) 群落、双穗雀稗 (*Paspalum paspaeoides*) 群落和白茅 (*Imperata cylindrical*) 群落, 反映了因海拔变化 (145~156 m) 而导致的淹水时间的差异。DCA 排序结果显示, 淹水时间、土壤湿度和土壤质地是消落带植物群落组成和空间分布的主要限制性影响因子。

关键词: 三峡水库; 开县; 消落带; 植物群落; 分类; 排序

中图分类号: Q948.15 Q142 文献标志码: A 文章编号: 1673-4831(2011)01-0023-06

Quantitative Analyses of Plant Communities in the Hydro-Fluctuation Area in Kaixian County After Impoundment of the Three Gorge Reservoir SUN Rong^{1,2}, LIU Hong¹, DING Jia-jia¹, YUAN Xing-zhong^{1,2} (1. College of Resource and Environmental Science, Chongqing University, Chongqing 400030, China 2. The Key Laboratory of the Exploitation of Southwest Resources & the Environmental Hazards Control Engineering of Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract The water level of the Three Gorge Reservoir (TGR) rose up to 156 m in the end of October 2006 which indicated that the Three Gorge Project had begun its operation. In order to understand how the operation affects structure and composition of the plant community in the hydro fluctuation area, an investigation of the plant communities in Kaixian County was carried out from July to September in 2008. The findings of the field survey were analyzed quantitatively with the TW NSPAN (two way indicator species analysis) and DCA (detrended correspondence analysis) methods for ordination. Results show that the TW NSPAN method sorted 170 quadrats in the study area into 19 types, among which *Polygonum hydropiper*, *Xanthium mongolicum* + *Cynodon dactylon*, *X. sibiricum*, *Paspalum paspaeoides*, and *Imperata cylindrical* were the most representative plant communities, revealing a distinct relationship between the plant communities and environmental gradients. Results of the DCA ordination by DCA indicated that submergence time, soil humidity and soil texture are the major factors affecting distribution and composition of plant communities in the area.

Key words Three Gorge Reservoir Area; Kaixian County; water level fluctuation zone; plant community; classification; ordination

双向指示种分析法 (two way indicator species analysis, TW NSPAN) 和除趋势对应分析法 (detrended correspondence analysis, DCA) 是理想的多元等级分类方法和排序方法, 在植物群落数量分析中得到大量应用^[1-3]。江明喜等^[4]对蓄水前三峡地区干流河岸带植被的研究发现, 河岸植被可分为 6 大类群, 呈现湿度梯度的分布格局; 王勇等^[5]研究表明蓄水前水淹时间和土壤湿度是三峡库区河岸植物群落分布的主要限制性因子; 程瑞梅等^[1]发现 DCA 排序很好地反映了三峡地区森林植物群落与环境因子的关系。

“蓄清排浑”的运行方式, 即汛期 (6—9 月) 低水位 (145 m) 运行, 汛期过后高水位 (175 m) 运行, 因此, 在其正常蓄水运行后, 将在库周形成垂直落差达 30 m 的水位消落带, 涉及重庆市和湖北省的 26 个区、市、县, 总面积 348.39 km²^[6]。1997 年三峡工程实现大江截流, 2003、2006 年分别蓄水至 135 和 156 m。截至 2008 年 6 月, 在近 2 a 的时间内, 由于水位

收稿日期: 2010-01-28

基金项目: 国家自然科学基金 (50749045); 国家科技支撑计划 (2006BAJ08B01); 重庆市科学技术委员会科技攻关项目 (CSTC 2009AB1079)

①通信作者 E-mail: hliu63@sina.com

的周期变化,三峡水库已经形成了典型的消落带湿地^[6]。长期的淹水和水位季节性变动导致消落带内植物群落及空间分布发生巨大变化。

笔者采用 TW INSPAN 分类和 DCA 排序的方法,对三峡库区开县消落带植被进行数量分类与排序研究,目的在于进一步明确消落带植被的主要群落类型及分布,了解开县消落带的生物多样性,这对于探讨植物群落的性质和分布规律,保护和管理消落带具有指导意义。

1 研究区域概况

开县澎溪河河谷平坦,地势开阔,三峡水库在海拔高度 175 m 处蓄水后,消落带面积 42.78 km²,占重庆库区消落带总面积的 13.97%^[7]。开县是三峡库区消落区面积最大且集中分布的县,也是三峡库区消落带类型最为丰富的县,在三峡库区消落带研究中具有典型性和代表性^[8]。开县境内消落带均属于澎溪河水系。澎溪河正源——东河发源于大巴山南坡雪宝山,在云阳县双江镇注入长江。该区域属亚热带湿润季风气候区,年平均气温 17.3℃,全年无霜期 > 300 d 多年平均降雨量 1 006 mm。区域内云雾多,日照偏少,全年平均日照 1 316 h 相对湿度 84%。由于地质构造复杂,土壤母质多样。土壤类型主要为紫色土、黄壤和山地黄棕壤。地带性植被为中亚热带常绿阔叶林。由于蓄水前的清库工作,消落带原有的乔木群落、灌木群落基本被清除^[9]。

2 研究方法

2.1 样方调查

于 2008 年 7—9 月三峡水库低水位 (145 m) 运行期间,选择澎溪河消落带开县段进行植物群落调查。共设置调查样地 9 个 (图 1), 每个样地长 50 m (平行于河流流向), 宽度介于消落带最低水位与最高水位之间, 从 145~156 m 高程梯度开始设置样方, 共设置样方 170 个。由于消落带内主要是草本植物群落, 乔、灌木稀疏零散分布, 设置样方大小 1 m × 1 m。依据消落带淹水时间的差异, 按海拔高度将消落带划分为下部 (145~ < 148 m)、中部 (148~ < 152 m)、上部 (152~ 156 m)。调查内容包括: (1) 样方位置、消落带部位、河段河流宽度; (2) 坡度、坡向、土壤质地; (3) 样方内植物名称、高度、多度、盖度、生活型、生长状况评价。通过对群落资料的整理, 170 个样方共记录有 80 种植物, 得到 170 × 80 的原始数据矩阵。在剔除频率小于 5% 的物种后, 得到 170 × 61 的数据矩阵。

2.2 数据处理

以样方为单位计算植物群落中物种重要值, 其计算公式^[10]为: 重要值 = (相对高度 + 相对盖度 + 相对多度) × 100/3。

采用 PC-ORD 5.0 软件包进行以物种重要值为基础的 TW INSPAN 分类和 DCA 排序分析。

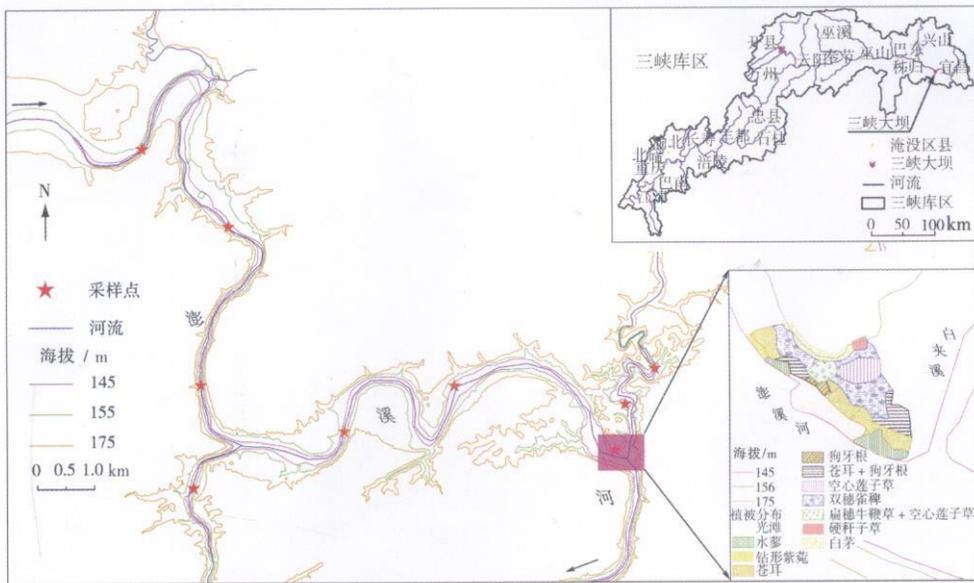


图 1 三峡库区澎溪河消落带样地设置及植被分布

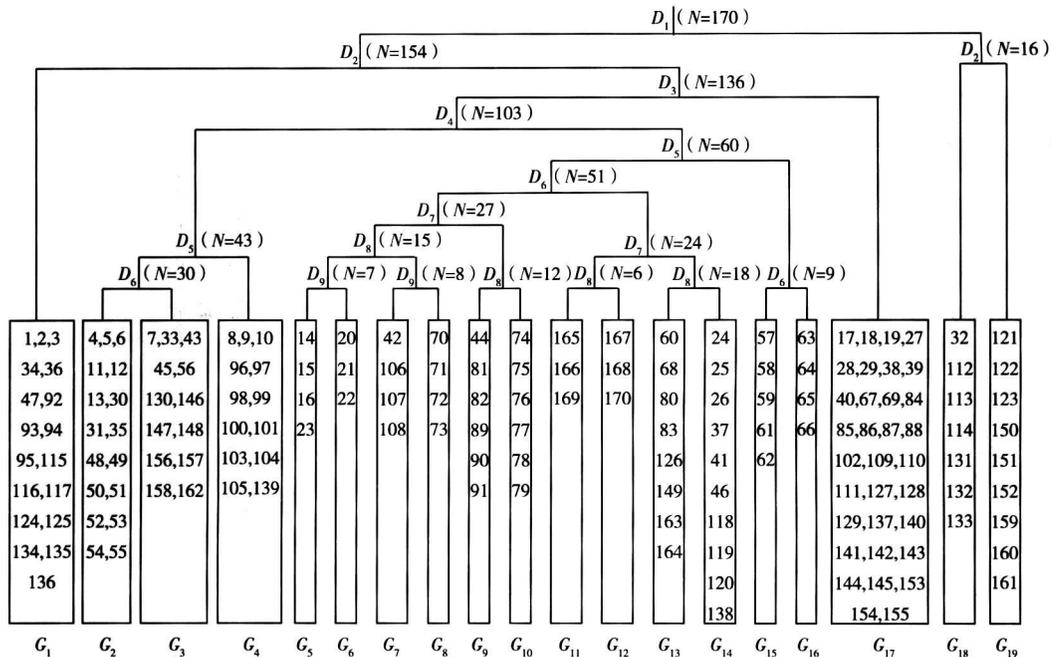
Fig 1 Sampling sites and vegetation distribution of water level fluctuation zone in Pengxihe River, the Three-Gorge Area

3 结果与分析

3.1 三峡库区消落带植物群落的 TW INSPAN 分类

依据 TW INSPAN 分类结果, 在第 7 级划分水平上将 170 个样方划分为 19 组 (图 2), 代表 19 个植

物群落类型。由图 2 可知, 最左边为分布于最低海拔 (约 145 m) 处的水蓼群落, 最右边为分布于最高海拔 (约 156 m) 处的白茅、硬秆子草群落, 反映出明显的环境湿度梯度变化。根据野外调查绘制了白夹溪河口样地的植被分布示意图 (图 1), 以反映三峡水库海拔 156 m 处蓄水后典型的植被变化趋势。



N—样方数; *D_k*—第 *k* 次分类; *G₁*—水蓼 (*Polygonum hydropiper*) 群落; *G₂*—苍耳 + 狗牙根 (*Xanthium mongolicum* + *Cynodon dactylon*) 群落; *G₃*—苍耳 (*X. mongolicum*) 群落; *G₄*—狗牙根 (*C. dactylon*) 群落; *G₅*—尼泊尔蓼 + 紫苏 (*Polygonum nepalense* + *Perilla frutescens* var. *arguta*) 群落; *G₆*—钻形紫菀 (*Aster subulatus*) 群落; *G₇*—酸模叶蓼 (*Polygonum lapathifolium*) 群落; *G₈*—水芹 + 牛毛毡 + 酸模叶蓼 (*Oenanthe javanica* + *Eleocharis yokoseensis* + *P. lapathifolium*) 群落; *G₉*—无芒稗 + 碎米莎草 (*Echinochloa crusgalli* var. *mitis* + *Cyperus iria*) 群落; *G₁₀*—水稻 (*Oryza sativa*) 群落; *G₁₁*—宽叶香蒲 (*Typha latifolia*) 群落; *G₁₂*—萤蔺 (*Scirpus juncoides*) 群落; *G₁₃*—空心莲子草 (*Alternanthera philoxeroides*) 群落; *G₁₄*—扁穗牛鞭草 + 空心莲子草 (*H. compressa* + *A. philoxeroides*) 群落; *G₁₅*—茭白 (*Zizania aquatica*) 群落; *G₁₆*—莲 (*Nelumbo nucifera*) 群落; *G₁₇*—双穗雀稗 (*Paspalum distichum*) 群落; *G₁₈*—硬秆子草 (*Capillipedium assimile*) 群落; *G₁₉*—白茅 (*Imperata cylindrica*) 群落。共 170 个样方。

图 2 三峡库区消落带植物群落 TW INSPAN 树状分类

Fig 2 TW INSPAN dendrogram of the 170 quadrats in the hydro fluctuation zone of Kaixian County

(1) 水蓼 (*Polygonum hydropiper*) 群落。一年生植物群落, 主要分布在澎溪河及其各条支流的低水位线上下约 1 m 处。群落优势种水蓼高 1.5 m, 盖度 > 80%, 形成较明显的水蓼带, 伴生种较少, 有空心莲子草 (*Alternanthera philoxeroides*)、齿果酸模 (*Rumex dentatus*) 等。

(2) 苍耳 + 狗牙根 (*Xanthium mongolicum* + *Cynodon dactylon*) 群落。一年生植物群落, 远观犹如苍耳单优种群落, 该群落多分布在沙土、田坎、废弃步道及溪流堤岸等含水率较低的区域。苍耳和狗牙根长势均一般, 狗牙根高 0.3 m, 盖度 50%, 苍耳高

1.0 m, 盖度约 80%, 伴生种较少, 主要有白苞蒿 (*Artemisia lactiflora*)、短叶水蜈蚣 (*Kyllinga brevifolia*)、马唐 (*Digitaria sanguinalis*) 等。

(3) 苍耳 (*X. mongolicum*) 群落。一年生植物群落, 消落带优势植物群落之一, 呈有规律的环带状分布, 主要分布在蓄水淹没后坡度较平缓、沙石底质等排水性好的区域, 群落盖度可达 90% 以上, 植株最高达 2 m 以上, 植株密度 > 100 株 · m⁻²。伴生种较多, 多为空心莲子草、木贼 (*Equisetum himale*)、狗牙根、齿果酸模、扁穗牛鞭草 (*Hemarthria compressa*) 等。

(4) 狗牙根 (*C. dactylon*) 群落。多年生植物群

落,分布在消落带下部水淹后的田坎、沙石地等含水率低的区域。群落盖度 > 90%,高 0.35~0.40 m,伴生种有小白酒草 (*Coryza canadensis*)、钻形紫菀 (*Aster subulatus*)、短叶水蜈蚣等。

(5) 尼泊尔蓼 + 紫苏 (*Polygonum nepalense* + *Perrilla frutescens* var. *arguta*) 群落。一年生植物群落,点状分布,澎溪河大浪坝、白夹溪青峰村附近等地均有分布。优势种尼泊尔蓼高 0.3 m,盖度 60%~80%,次优势种紫苏,高 0.4 m,盖度 30%~50%。伴生种主要有木贼、小白酒草、香附子 (*Cyperus rotundus*)、齿果酸模等。

(6) 钻形紫菀 (*A. subulatus*) 群落。一年生植物群落,仅见于白夹溪青峰村溪流边约 150 m 水位处,高 1.0 m,盖度 60%~80%。伴生种有水蓼、空心莲子草、尼泊尔蓼等。

(7) 酸模叶蓼 (*Polygonum lapathifolium*) 群落。一年生植物群落,见于澎溪河开县调节坝下游和白夹溪老土地附近,长势良好,高约 1.4 m,盖度 > 80%,伴生种有双穗雀稗 (*Paspalum distichum*)、狗牙根、空心莲子草等。

(8) 水芹 + 牛毛毡 + 酸模叶蓼 (*Oenanthe javanica* + *Eleocharis yokoscensis* + *P. lapathifolium*) 群落。一年生植物群落,仅见于白夹溪老土地附近水淹后的废弃水田中,海拔约 150 m,群落分为 2 层。上层优势种水芹高约 0.9 m,盖度 50%~60%,次优势种酸模叶蓼高 1.2 m,盖度 40%~60%;下层优势种牛毛毡,高 0.05 m,盖度 > 80%。伴生种有空心莲子草、满江红 (*Azolla imbricata*)、浮萍 (*Lemna minor*)、苹 (*Marsilea minima*) 等。

(9) 无芒稗 + 碎米莎草 (*Echinochloa crusgalli* var. *mitis* + *Cyperus iria*) 群落。一年生植物群落,见于澎溪河大、小浪坝,白夹溪等透水性好或有少量积水的沙土。群落优势种无芒稗,高 1.2 m,盖度 50%~80%,次优势种碎米莎草高 0.7 m,盖度 40%~60%。伴生种有紫苏 (*P. frutescens* var. *arguta*)、白苞蒿、苍耳、青葙 (*Celosia argentea*) 等。

(10) 水稻 (*Oryza sativa*) 群落。消落带内常见一年生植物群落,人工种植,无规律分布,主要是退水后在往年稻田里重新种植的水稻,高 0.8 m,盖度约 70%,伴生种有短叶水蜈蚣、水芹、碎米莎草、鸭舌草 (*Monochoria vaginalis*) 等。

(11) 宽叶香蒲 (*Typha latifolia*) 群落。多年生植物群落,多见于白夹溪老土地及澎溪河大浪坝附近废弃水田中,优势种宽叶香蒲高 1.5 m,盖度 > 60%。伴生种有无芒稗、蔗草 (*Scirpus*

triqueter)、空心莲子草、水芹等。

(12) 萤蔺 (*Scirpus juncoides*) 群落。一年生植物群落,仅见于白夹溪附近的废弃水田中,优势种萤蔺高 0.5 m,盖度 > 5%,伴生种较少,主要有短叶水蜈蚣、空心莲子草等。

(13) 空心莲子草 (*A. philoxeroides*) 群落。多年生植物群落,消落带优势植物群落之一,分布于废弃水田,溪流、沟渠的边岸及其中。优势种空心莲子草高 0.8 m,盖度 > 80%,伴生种较少,主要有双穗雀稗、三叶鬼针草 (*Bidens pilosa*) 等。

(14) 扁穗牛鞭草 + 空心莲子草 (*H. compressa* + *A. philoxeroides*) 群落。多年生植物群落,消落带内常见植物群落。优势种扁穗牛鞭草高约 0.7 m,盖度 60%~80%,次优势种空心莲子草高 0.6 m,盖度约 50%。伴生种较少,主要有水蓼、狗牙根、无芒稗等。

(15) 茭白 (*Zizania aquatica*) 群落。多年生植物群落,仅见于白夹溪老土地附近,人工养殖逸散群落,茭白高 2.5 m,盖度 > 80%。伴生种有合萌 (*Aeschynomene indica*)、空心莲子草、浮萍、满江红、菹草 (*Potamogeton crispus*) 等。

(16) 莲 (*Nelumbo nucifera*) 群落。多年生植物群落,分布广泛,人工种植,退水后仍能萌发,范围呈扩大趋势。群落高 1.0 m,盖度 > 95%。伴生种多为金鱼藻 (*Ceratophyllum demersum*)、菹草、黄花狸藻 (*Utricularia aurea*) 等沉水植物。

(17) 双穗雀稗 (*P. distichum*) 群落。多年生植物群落,消落带最常见植物群落之一,在低洼平缓地和各抛荒水田形成单优种群落,底质一般为黏土,透水性差,全年处于淹水状态,群落盖度达 100%,群落一般高度 50 cm,伴生种较少,有空心莲子草、萤蔺、蔗草等。

(18) 硬秆子草 (*Capillipedium assimile*) 群落。一年生植物群落,多见于澎溪河开县调节坝上下,海拔约 156 m,坡度较大,含水率较低的区域。优势种硬秆子草高 1.5 m,盖度约 80%,伴生种有接骨草 (*Sambucus chinensis*)、白茅、苍耳等。

(19) 白茅 (*Imperata cylindrica*) 群落。多年生植物群落,消落带最常见植物群落之一,主要分布在海拔 156 m 上下 2 m 范围内,土壤紧实,透水性差,坡度大,含水量低。伴生种较少,偶见苍耳、黄荆 (*Vitex negundo*)、醉鱼草 (*Buddleja lindleyana*)、五节芒 (*Miscanthus floridulus*) 等。

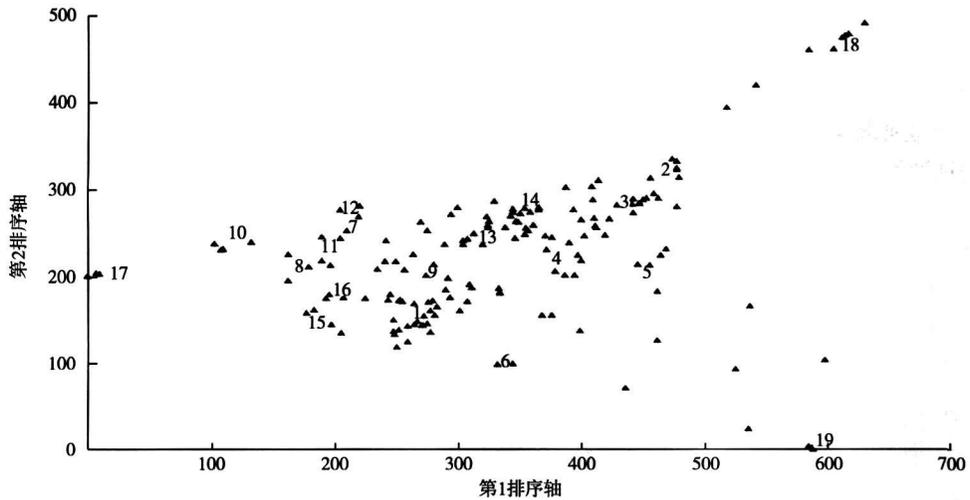
TW NSPAN 分类结果表明,在澎溪河消落带内,样方频率较高的群落主要有水蓼群落、苍耳群落、苍

耳 + 狗牙根群落、狗牙根群落、双穗雀稗群落以及分布在消落带上部的白茅群落。其中, 水蓼群落主要分布于消落带下部滨水区域, 苍耳群落、苍耳 + 狗牙根群落和狗牙根群落主要分布于消落带中部透水性好、坡度较大、向阳的区域, 双穗雀稗群落主要分布于消落带中部坡度较小、以水稻土为主的区域, 白茅群落主要分布于消落带上部光照强、坡度大、受淹时间较短的区域。

3.2 三峡库区消落带植物群落的 DCA 排序

三峡库区消落带植物群落 DCA 二维排序见图 3。由图 3 可知, TW INSPAN 分类产生的 19 个植物群落类型多数呈现出各自的分布范围和界线, 表明 DCA 排序能反映出植物群落之间以及群落与环境因子之间的关系。DCA 的第 1 排序轴显示不同样方所处消落带部位, 反映了海拔从低到高导致的淹水时间由长到短, 以及环境湿度梯度由湿润到干燥的变化方向。消落带最下部长受到水淹, 且临近水体, 其含水量最高, 生长有喜湿的湿地水生植物; 消落带中部约 150 m 处为耐水淹的多年生草本湿地水生植物以及一年生植物苍耳; 消落带上部 156 m

处为不耐水淹的多年生草本植物白茅等。第 2 排序轴显示消落带土壤质地从黏性到砂性、土壤颗粒由小到大的变化趋势, 反映了土壤湿度状况。排序图的对角线综合了第 1 排序轴和第 2 排序轴 2 个方向上环境因子的影响, 反映了消落带植物群落水淹时间长短和土壤湿度高低对植被分化的影响。从左下角至右上角, 植被类型从喜湿的酸模叶蓼群落、双穗雀稗群落过渡到不耐水淹的硬秆子草群落。相近湿度条件下消落带中间部位的植物群落未能完全区分。但对于几种典型的消落带标志性植物类群的划分是比较清楚的, 譬如喜旱生环境的白茅群落、硬秆子草群落, 喜湿生环境的水蓼群落、双穗雀稗群落等, 且与 TW INSPAN 的分类结果是相吻合的。由此可见, 海拔梯度、淹水时间和土壤湿度变化是影响消落带植被分布差异的主要因素。但由于消落带海拔变化小 (仅 10 m 高差), 消落带环境的不同在纵向 (垂直于河流流向) 上主要表现在海拔变化导致的淹水时间差异, 横向 (平行于河流) 上主要来自于底质类型的差异。



1—水蓼 (*Polygonum hydropiper*) 群落; 2—苍耳 + 狗牙根 (*Xanthium mongolicum* + *Cynodon dactylon*) 群落; 3—苍耳 (*X. mongolicum*) 群落; 4—狗牙根 (*C. dactylon*) 群落; 5—尼泊尔蓼 + 紫苏 (*Polygonum nepalense* + *Perilla frutescens* var. *arguta*) 群落; 6—钻形紫菀 (*Aster sulcatifolius*) 群落; 7—酸模叶蓼 (*Polygonum lapathifolium*) 群落; 8—水芹 + 牛毛毡 + 酸模叶蓼 (*Oenanthe javanica* + *Eleocharis ykocensis* + *P. lapathifolium*) 群落; 9—无芒稗 + 碎米莎草 (*Echinochloa crusgalli* var. *mitis* + *Cyperus iria*) 群落; 10—水稻 (*Oryza sativa*) 群落; 11—宽叶香蒲 (*Typha latifolia*) 群落; 12—萤蔺 (*Scirpus juncoides*) 群落; 13—空心莲子草 (*Alectranthera philoxeroides*) 群落; 14—扁穗牛鞭草 + 空心莲子草 (*H. compressa* + *A. philoxeroides*) 群落; 15—茭白 (*Zizania aquatica*) 群落; 16—莲 (*Nelumbo nucifera*) 群落; 17—双穗雀稗 (*Paspalum distichum*) 群落; 18—硬秆子草 (*Capillipedium assinile*) 群落; 19—白茅 (*Imperata cylindrica*) 群落。共 170 个样方。

图 3 三峡库区消落带植物群落 DCA 二维排序

Fig 3 Two dimensional DCA ordination diagram of 170 quadrats within the hydro fluctuation zone in Kaixian

4 结论与讨论

分别采用 TW INSPAN 等级分类和 DCA 二维排

序方法对三峡库区消落带植物群落进行分类和排序, 取得了较为一致的结果。TW INSPAN 分类将消落带植被划分为 19 个植物群落类型, 且全部为草本

植物群落。其中,一年生植物群落 11 个,多年生植物群落 8 个,无灌木和乔木植物群落。杨朝东等^[11]在秭归的研究表明,分布于消落带的主要是一年生草本植物群落,乔木层和灌木层以及它们构成的植物群落没有出现。王勇等^[5]研究表明蓄水前库区消落带植物可划分为 19 个植物群落,4 个植被类型。本研究也发现消落带中下部和下部分布有暖性草丛和河漫滩草甸,但群落组成和类型发生了变化。苍耳群落在消落带中部成为优势植物群落,笔者认为苍耳之所以在消落带呈带状分布有 2 种可能性:(1)苍耳是一种长浮水植物^[12],其种子在整个蓄水期间漂浮于水面,随着水的缓慢退去,由于地形的影响(苍耳多分布在有坡度的地方),水退较快,苍耳的种子下沉较快(种子相对较重),从而形成一条带状分布带;(2)苍耳种子在秋季埋藏在土壤中,在水下通过休眠的方式避开蓄水的影响,在第 2 年水退之后才开始萌发。可见,三峡水库经历 156 m 处淹水后,消落带植物群落特征不但与程瑞梅等^[1]对三峡库区森林植物群落的研究结果不同,而且与王勇等^[5]对蓄水前消落带植物群落类型的研究结果也有所不同。原本分布于消落带中部和中上部的落叶灌丛群落、消落带上部的常绿阔叶灌丛没有被发现,此与三峡水库蓄水前清库和淹水过程有关。

DCA 排序的结果表明,海拔梯度、土壤湿度和底质类型对消落带植被的物种组成和空间分布起着重要作用。消落带最下部植被主要由水蓼等一年生耐水淹植物构成,约 150 m 处主要由多年生植物双穗雀稗和一年生植物苍耳构成,156 m 附近主要由耐旱的多年生草本植物白茅构成,表明在消落带内植物对水淹的耐受力不同,且由于底质类型不同,即使在同一高程带内,植物的水平分布也存在巨大差异。江明喜等^[4]发现蓄水前长江干流河岸植物群落的分类主要反映了河岸带的湿度状况,王勇等^[5]研究表明蓄水前三峡库区消落带自然淹水时间和土壤湿度对消落带植物群落组成和空间分布起着重要作用,ASSANI 等^[13]通过 CCA 分析发现不同类型底质的大小、数量等都对河岸植物多样性有显著影响,NILSSON 等^[14]发现底质类型对沿河流的河岸植物物种丰富度有重要影响。先旭东等^[15]在重庆主城消落带的研究表明消落带植物群落从最低水位到最高水位沿湿度梯度分布,与本研究结果相类似,即在纵向(垂直于河流流向)上体现了消落带淹水时间

的差异,而在横向(平行于河流流向)上则体现了土壤湿度和底质类型的差异。

参考文献:

- [1] 程瑞梅,肖文发.三峡库区森林植物群落数量分类与排序[J].林业科学,2008,44(4):20-27
- [2] 贺强,崔保山,赵欣胜,等.黄河河口盐沼植被分布、多样性与土壤化学因子的相关关系[J].生态学报,2009,29(2):676-687
- [3] 吉久昌,郭跃东,郭晋平,等.文峪河上游河岸林群落类型及其生态适应性[J].生态学报,2009,29(3):1587-1595
- [4] 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
- [5] 王勇,吴金清,黄宏文,等.三峡库区消落带植物群落数量分析[J].武汉植物学研究,2004,22(4):307-314
- [6] 王强,袁兴中,刘红,等.三峡水库 156 m 蓄水后消落带新生湿地植物群落[J].生态学杂志,2009,28(1):2183-2188
- [7] 张虹,朱平.基于 RS 与 GB 的三峡重庆库区消落带分类系统研究——以重庆开县为例[J].国土资源遥感,2005(3):66-70
- [8] 雷亨顺,林建.可持续:中国三峡库区[M].重庆:重庆大学出版社,2009:167-170
- [9] 张光富,王剑伟.三峡库区开县前置库植物多样性及其消落带的生态恢复原则[J].南京师范大学学报:自然科学版,2007,30(3):87-92
- [10] 马克平.群落生物多样性的测定[M]//钱迎倩,马克平.生物多样性研究的原理和方法.北京:中国科技出版社,1994:141-165
- [11] 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
- [12] ANDERSSON E, NILSSON C, JOHANSSON M E. Plant Diversity in Boreal Rivers and Its Relation to the Diversity of Riparian Flora[J]. Journal of Biogeography, 2000, 27(5): 1095-1106
- [13] ASSANI A, FRANCOIS P, LOUIS L. The Relation Between Geomorphological Features and Species Richness in the Low Flow Channel of the Wardhe Downstream From the Butgenbach Dam (Ardennes, Belgium) [J]. Aquatic Botany, 2006, 85(2): 112-120
- [14] NILSSON C, GRELSSON G, JOHANSSON M, et al. Patterns of Plant Species Richness Along Riverbanks [J]. Ecology, 1989, 70(1): 77-84
- [15] 先旭东,冯义龙.重庆主城消落带石门段植物群落结构分析及演替预测[J].西南大学学报:自然科学版,2010,32(2):73-78

作者简介:孙荣(1982—),男,山东诸城人,博士生,主要从事植物生态学和湿地生态学方面的研究。Email: yehe105@yahoo.com.cn