

涪陵到云阳段长江干流和支流澎溪河的 消落带维管植物区系特征分析^①

童笑笑^{1,2}, 陈春娣¹, 吴胜军¹, 贾振毅^{1,3},
温兆飞^{1,2}, 叶 飞^{1,2}, 易雪梅¹, 马茂华¹

1. 中国科学院 重庆绿色智能技术研究院, 重庆 400714; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 西南大学 地理科学学院, 重庆 400715

摘要: 通过对三峡水库干流和支流消落带 145~180 m 范围内植物群落的调查, 结果表明: 调查样地内共有维管植物 56 科 129 属 150 种, 以禾本科和菊科为优势科, 绝大部分是单属单种的草本植物, 一年生和多年生草本植物为消落带的优势生活型, 狗牙根、雀稗、苍耳等是库区消落带优势种, 植物分布区系类型多样, 以热带、温带成分为主, 具有明显的亚热带性质, 多样性指数单因素方差分析和热图结果表明, 干流和支流消落带总物种数相差不大, 但是物种组成存在差异, 干流消落带植被均匀度明显高于支流消落带, 环境条件的差异可能是引起干流和支流消落带植物群落分布格局不同的主要原因。

关键词: 三峡消落区; 长江干流; 澎溪河; 植物多样性; 热图

中图分类号: X173

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2017)04-0025-09

由于防洪、清淤及航运等需求, 三峡水库实行“蓄清排浑”的运行方式, 即夏季低水位运行(145 m), 冬季高水位运行(175 m), 形成消涨幅度为 30 m, 面积达 348.9 km² 的水库消落带^[1-2]. 1997 年三峡工程实现大江截流, 2003 年, 2006 年, 2008 年分别蓄水至 135 m, 156 m 和 173 m. 截止到 2015 年 8 月, 三峡水库 145~175 m 高程带经历了 7 次完整干湿交替周期^[3], 消落带植物群落演变也正趋于稳定。

三峡库区的地势东部高、西南部低. 奉节以东属山地, 奉节以西属低山丘陵区^[4], 两边自然地理环境有着较明显的差异. 三峡库区内, 从江津到奉节的大面积区域均属于低山丘陵区. 同时, 低山丘陵区消落带坡度较小、宽度较大, 更有利于植被的恢复与重建. 考虑到长江干流和支流地形地貌^[5]、人类活动等环境因素的差异, 可能会影响消落带植物群落的空间分布^[6-9]. 因此, 本研究以涪陵到云阳段长江干流和支流澎溪河的消落带为研究对象, 初步探索三峡水库正常蓄水运行以来消落带植被特征, 为消落带植被保护、生态修复和水库管理提供科学依据。

1 研究区概况

三峡水库低山丘陵区消落带面积 258.39 km², 占库区消落带总面积的 74.06%^[10]. 澎溪河消落带面积

① 收稿日期: 2016-07-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571497, 51408584); 中国科学院项目(Y43A370N10); 重庆市科委项目(Y33A172N10, cstc2014yykfC20002)。

作者简介: 童笑笑(1991-), 女, 河南濮阳人, 硕士研究生, 主要从事环境生态学的研究。

通信作者: 吴胜军, 博士, 研究员, 博士研究生导师。

55.47 km², 占三峡水库消落带总面积的 15.90%, 平均宽度 1.06 km, 是三峡水库消落带面积最大、消落带类型最多的长江左岸一级支流, 在三峡水库消落带研究中具有典型性和代表性^[11]. 研究区域属于亚热带大陆性季风气候, 降水量较多, 多年降雨平均值在 900~1 200 mm 之间; 相对湿度偏高, 多年平均相对湿度达 71.95%; 多年平均气温为 17.24 ℃.

2 研究方法

2.1 采样设计与调查方法

在前期调查的基础上^[12], 于 2013—2015 年每年 8—9 月采用样带样方相结合的方法进行植被调查. 此时水库水位较低, 消落带出落面积较大, 同时消落带出落时间较长, 植被恢复较好且处于相对稳定状态. 共设采样点 31 个, 在消落带内沿河均匀分布, 其中干流 7 个, 支流 24 个(图 1). 由于澎溪河消落带类型多、面积大, 因此设置采样点较多. 每个采样点设置 1 条 5 m 宽的样带, 高程在 145~180 m 范围内. 结合河岸带特征, 沿样带在 1~5 m 间隔范围内随机布设 4~6 个 1 m×5 m 的植物样方, 共 118 个样方. 记录每个样方内的植物种名、高度、盖度和长势情况等, 同时记录样方的经纬度、海拔、地形地貌、坡位、坡度、坡向和生活垃圾覆盖度等.

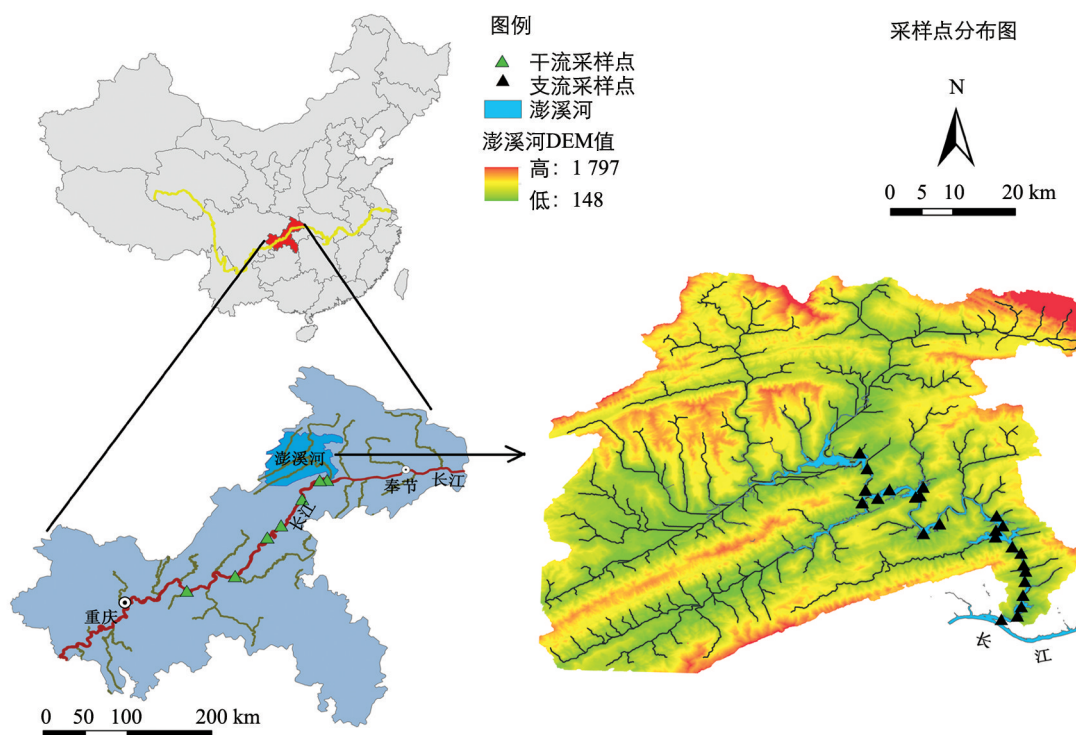


图 1 研究区域及采样位置图

2.2 植物生活型与区系类型判断方法

根据中国植物图像库(<http://www.plantphoto.cn/>), 《中国植物志》^[13] 和《四川植物志》^[14] 对研究区植物生活型进行区分. 同时调查植物属区系类型, 其分类标准参考《种子植物分布区类型及其起源和分化》^[15]. 植物区系结构可以为研究区植物起源和演化分析提供重要依据^[16]. 在植物分类学上, 属的形态特征相对比较稳定, 分布较为固定^[12]. 加之科的区系分析比较粗略, 而以往研究中种的区系分析相关研究较少, 缺少系统可靠的种的区系分析依据, 因此本文采用植物属区系进行统计.

2.3 参数计算方法

2.3.1 物种重要值

相对于传统重要值, 简化重要值在调查时记录植物的盖度和高度, 以植物所占体积(盖度乘以高度)计

算物种多样性, 不仅体现了植物重要值原有的性质, 还减少了室内外工作量^[17], 因此本研究采用简化重要值, 其取值一般在 0~300 之间.

灌木、草本层植物简化重要值(simplified importance value, SIV)的计算公式为

$$SIV = 300 \times B_i / \sum_{i=1}^n B_i \quad (1)$$

公式(1)中, n 为某样地内的物种数; B_i 是某一植物物种 i 的体积, 本研究采用盖度乘以高度代替体积.

2.3.2 物种多样性指数

本研究选择物种丰富度指数(R), Shannon-Wiener 多样性指数(H), Pielou 均匀度指数(J)和 Simpson 优势度指数(D)研究物种多样性, 计算公式为

$$R = S \quad (2)$$

$$H = -\sum P_i \ln P_i \quad (3)$$

$$J = (-\sum P_i \ln P_i) / \ln S \quad (4)$$

$$D = \sum P_i^2 \quad (5)$$

公式(2)~(5)中, P_i 为该物种 i 的简化重要值, S 为物种总数.

采用 SPSS 21.0 软件进行植物群落多样性指数的单因子方差分析与检验.

2.4 热图分析法

2.4.1 数据预处理

获取采样数据后, 首先以干流 25 个样方内的 100 种植物重要值和支流 93 个样方内的 140 种植物重要值为准, 分别建立 25×100 和 93×140 的植物数据集原始数据矩阵. 然后手工剔除总频度小于 10% 的物种^[18], 建立 25×35 和 93×20 的最终数据矩阵, 用于热图分析. 热图采用 R 2.11.1 软件完成.

2.4.2 热图的含义

热图用图形的方式表示数据, 由 3 个部分组成: 样品(横行)分枝树图和属性(纵列)分枝树图以及热图本身. 样品(横行)分枝树图对样品进行聚类分析排序, 将属性相似的样品聚集在一起; 属性(纵列)分枝树图对属性进行聚类分析排序, 将所属样品相似的属性指标聚集在一起; 热图二维图颜色的变化代表数据数值的变化, 大值用暗灰或黑的像元表示, 小值用亮的像元表示. 热图同时揭示了矩阵数据的行、列分层聚类结构, 能清晰有效地表示数据相对较多的矩阵, 是多种统计图形表示的综合体^[19], 在生物学和生物医学中被广泛应用^[20]. 本研究热图中, 横行代表样方; 纵列代表物种; 二维图中的每个栅格的颜色代表物种在样方中的重要值. 随着重要值由小到大, 栅格颜色由红到绿; 基色显示颜色变化梯度及每个颜色对应的重要值大小.

3 结果与分析

3.1 消落带植物物种组成

调查共发现和确认维管植物 56 科 129 属 150 种, 7 种因性状不全, 无法辨认; 13 种藤本植物不能直立, 只能依附其他植物或支持物, 缠绕或攀援向上生长, 无法准确记录其高度和覆盖度, 忽略不计. 统计结果(表 1)表明, 禾本科植物种类最丰富, 其次是菊科植物, 分别占本次调查总物种数的 14.67%, 9.33%, 是该区域的优势科. 其他科差别不大, 单种、属现象明显.

3.2 消落带植物生活型特征

消落带植物共包含 6 种生活型(见表 2). 以多年生草本植物和一年生草本植物占绝对优势(60%), 分别

占统计植物种的 34.67%,25.33%;同时灌木和乔木也占很大比重(35.33%),分别占统计植物种的 16.00%,19.33%,主要分布在水位潜在影响带(175~180 m);一年生或二年生草本与二年生草本较少,共 7 种,占统计物种的 4.67%.

表 1 消落带植物物种组成

科	属数	种数
禾本科(Gramineae)	20	22
菊科(Compositae)	10	14
豆科(Leguminosae)	9	10
大戟科(Euphorbiaceae)	7	7
蔷薇科(Rosaceae)	6	9
苋科(Amaranthaceae)	5	6
莎草科(Cyperaceae), 蓼科(Polygonaceae)	3	5
桑科(Moraceae), 茄科(Solanaceae), 伞形科(Umbelliferae), 唇形科(Labiatae)	3	3
百合科(Liliaceae), 杨柳科(Salicaceae), 樟科(Lauraceae)	2	3
忍冬科(Caprifoliaceae), 芸香科(Rutaceae), 玄参科(Scrophulariaceae), 鼠李科(Rhamnaceae), 胡桃科(Juglandaceae), 楝科(Meliaceae), 马鞭草科(Verbenaceae)	2	2
石竹科(Caryophyllaceae)	1	3
五加科(Araliaceae)	1	2
旋花科(Convolvulaceae), 葫芦科(Cucurbitaceae), 毛茛科(Ranunculaceae), 紫草科(Boraginaceae), 紫树科(Nyssaceae), 酢浆草科(Oxalidaceae), 柏科(Cupressaceae), 败酱科(Valerianaceae), 报春花科(Primulaceae), 车前科(Plantaginaceae), 锦葵科(Malvaceae), 景天科(Crassulaceae), 爵床科(Acanthaceae), 壳斗科(Fagaceae), 柳叶菜科(Onagraceae), 落葵科(Basellaceae), 马齿苋科(Portulacaceae), 漆树科(Anacardiaceae), 桑寄生科(Loranthaceae), 山茶科(Theaceae), 山柑科(Opiliaceae), 杉科(Taxodiaceae), 商陆科(Phytolaccaceae), 十字花科(Cruciferae), 石蒜科(Amaryllidaceae), 薯蓣科(Dioscoreaceae), 无患子科(Sapindaceae), 小二仙草科(Haloragaceae), 荨麻科(Urticaceae), 鸭跖草科(Commelinaceae), 亚麻科(Linaceae), 雨久花科(Pontederiaceae)	1	1

表 2 消落带植物生活型

生活型	物种数	比例/%	生活型	物种数	比例/%
一年生草本	38	25.33	灌木	24	16.00
一年生或二年生草本	3	2.00	乔木	29	19.33
二年生草本	4	2.67	合计	150	100
多年生草本	52	34.67			

3.3 消落带植物区系特征

研究区消落带植物属共有 13 种分布类型,5 个分布类型变型,而中国种子植物属共有 15 种分布类型 31 个分布类型变型,可见消落带植物属分布型类型丰富,分布类型变型属较少.从表 3 看出,研究区内植物以热带成分为主,有 59 属 63 种植物,占总物种数的 42.00%,表明研究区植物区系具有热带亲缘关系;其次是温带成分,包含 47 属 54 种植物,占总物种数的 36.00%,刚好符合研究区地处暖温带向热带过渡的亚热带地区;同时还包含 3 种中国特有种,占总物种数的 2.00%;其余为世界分布种,包括菊科鬼针草属(*Bidens*)和菊科苍耳属(*Xanthium*)等广布种,表明研究区还具有库岸水陆交替带植物分布的隐域性特征.

表 3 消落带植物属的分布区类型

地理成分	占总种数比例/%	分 布 区 类 型	包含属数	占总属数比例/%	包含种数	占总种数比例/%
热带成分	42.00	2 泛热带	37	28.46	39	26.00
		2-2 热带亚洲、非洲和南美洲间断	1	0.77	1	0.67
		3 热带亚洲和热带美洲间断分布	2	1.54	3	2.00
		4 旧世界热带	3	2.31	3	2.00
		5 热带亚洲至热带大洋洲	3	2.31	4	2.66
		6 热带亚洲至热带非洲	6	4.62	6	4.00
		7 热带亚洲(印度—马来西亚)	6	4.62	6	4.00
		7-1 爪哇、喜马拉雅和华南、西南星散	1	0.77	1	0.67
温带成分	36.00	8 北温带	20	15.38	25	16.67
		8-4 北温带和南温带(全温带)间断	3	2.31	3	2.00
		9 东亚和北美洲间断	5	3.85	5	3.33
		10 旧世界温带	3	2.31	4	2.66
		10-1 地中海区、西亚和东亚间断	2	1.54	2	1.33
		10-3 欧亚和南非洲(有时也在大洋洲)间断	1	0.77	1	0.67
		11 温带亚洲分布	1	0.77	1	0.67
		14 东亚(东喜马拉雅—日本)	12	9.23	13	8.67
中国特有	2.00	15 中国特有	3	2.31	3	2.00

3.4 消落带植物物种多样性

总体来说, 消落带植物种类丰富, 但组成比较单一, 优势种优势明显, 易于辨认. 从表 4 可以看出, 干流和支流消落带优势物种相同, 且每种物种所占比例相似($p=0.914$). 表明干流和支流消落带总体上优势物种组成相似, 都以耐水淹的多年生草本雀稗(*Paspalum thunbergii*)和狗牙根(*Cynodon dactylon*)以及繁殖力强的一年生草本苍耳(*Xanthium strumarium*)为优势种.

表 4 干流和支流优势种及其所占比例

优势物种	干流比例/%	支流比例/%	优势物种	干流比例/%	支流比例/%
狗牙根	31.54	30.86	苍耳	6.56	6.18
雀稗	7.93	12.78			

消落带纵向(沿水流方向)植物群落的多样性指数如图 2, 1~24 号样带为支流样带, 25~31 号样带为干流样带. 从图 2 中可以看出, 4 个多样性指数在干、支流消落带内沿水流方向均呈增加趋势, 表明消落带植物群落沿水流方向物种数逐渐增多, 优势度物种减少, 物种多样性增加, 群落内物种分布更均匀.

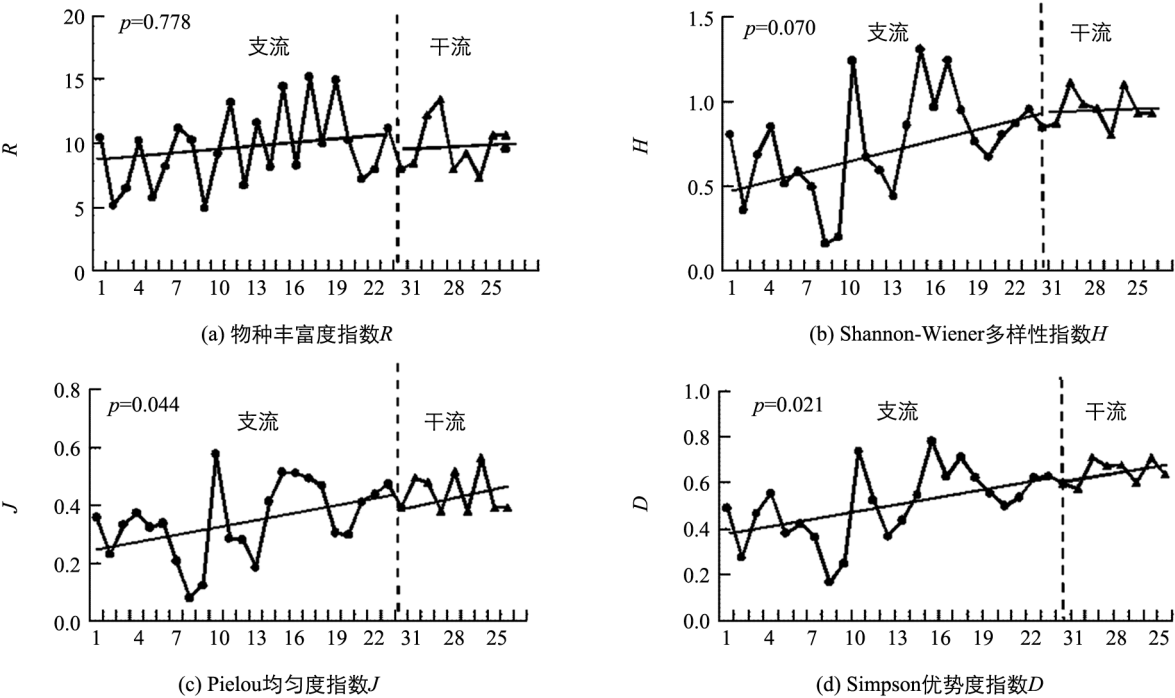
单因素方差分析结果表明, 研究区内干流和支流消落带的物种丰富度指数(R)($p=0.778$), Shannon-Wiener 多样性指数(H)($p=0.070$)差异无统计学意义, Pielou 均匀度指数(J)($p=0.044$)和 Simpson 优势度指数(D)($p=0.021$)差异有统计学意义. 说明干流消落带物种数量和种类比支流消落带多, 但是两者差异无统计学意义; 干流消落带优势度物种比支流消落带明显少, 群落均匀度明显高, 干流植物群落组成较为复杂, 物种多样性更丰富.

3.5 消落带植物群落类型

根据支流植物群落热图分类结果(图 3), 样方聚类(横行)在 3 级划分水平上将支流 93 个样方划分为 3 组, 代表 3 种植物群落类型. 最下面为分布于低海拔(145~160 m)处的狗牙根群落, 中间为分布于中海拔(161~165 m)处的雀稗、狗牙根、苍耳群落, 最上面为分布于高海拔(166~180 m)处的苍耳、狗牙根、狗尾草、鬼针草群落. 反映出随着海拔的升高, 消落带受水位波动的干扰降低, 植物群落物种丰富度增加. 物种(纵列)的聚类结果表明, 支流的优势种为狗牙根、雀稗、苍耳, 同时鬼针草和狗尾草等一年生草本在支流消落带分布也较多.

根据干流植物群落热图分类结果(图 4), 样方聚类(横行)在 3 级划分水平上将干流 25 个样方划分为 4 组, 代表 4 种植物群落类型. 从下至上依次为狗牙根、雀稗、空心莲子草群落, 狗牙根、丛枝蓼、千金子、雀

稗群落(分布于海拔 145~160 m 处);狗牙根、苍耳群落(分布于海拔 161~165 m 处);千金子、苍耳、金色狗尾草群落(分布于海拔 166~180 m 处). 反映出狗牙根只在中低海拔处分布而苍耳只在中高海拔处分布. 物种(纵列)的聚类结果表明,狗牙根、雀稗、苍耳、千金子、丛枝蓼、鬼针草等一年生草本或耐水淹的多年生草本在干流消落带分布广泛.



黑色直线为多样性指数变化趋势线
图 2 干、支流消落带纵向植物群落的多样性指数

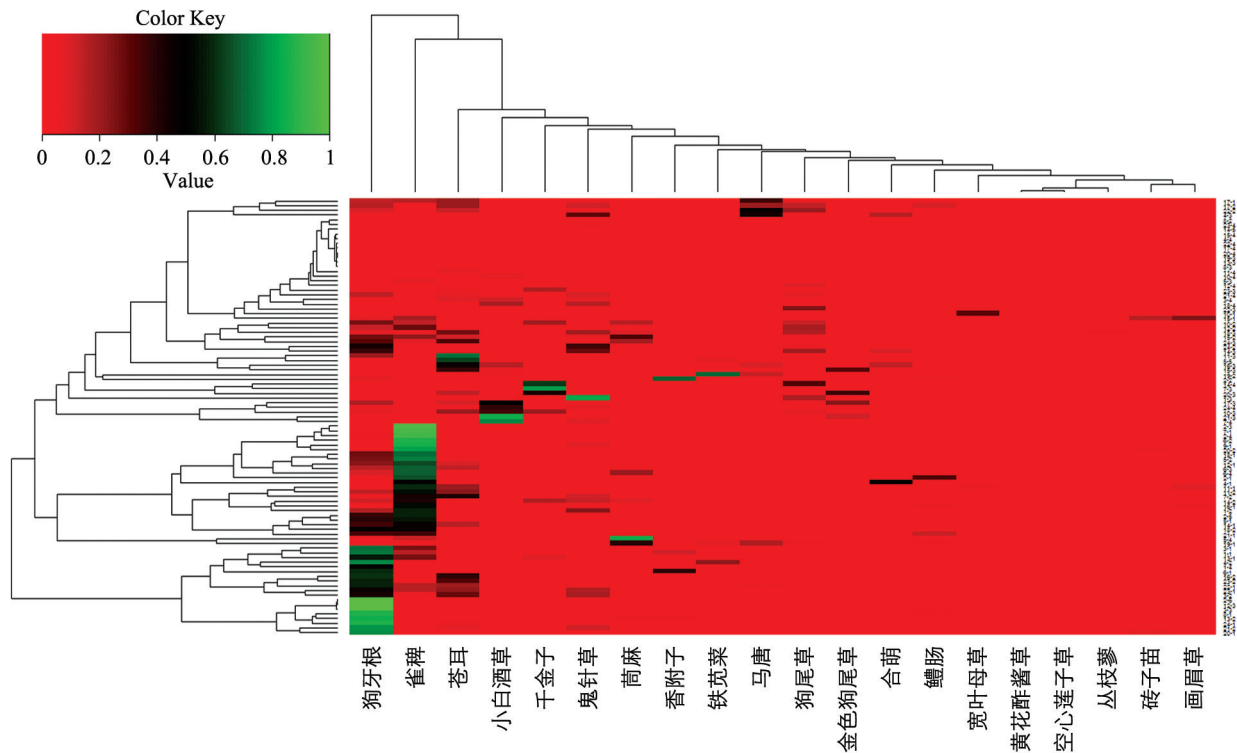


图 3 支流植物群落热图

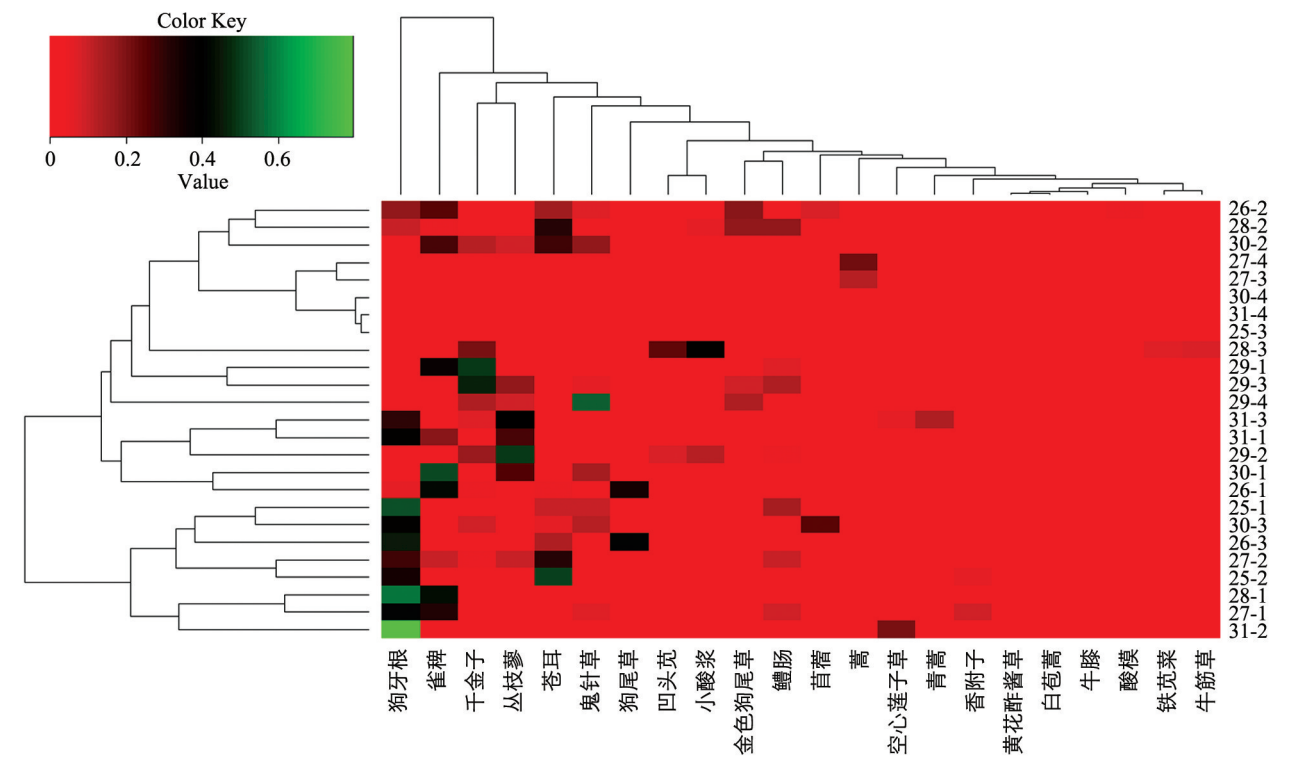


图 4 干流植物群落热图

4 结论与讨论

三峡水库蓄水运行后, 植物群落演替趋向稳定, 在空间分布上呈现出一定的分异性. 本文通过对三峡水库低山丘陵区正常蓄水以来干流和支流消落带植物群落的初步研究, 得出以下结论:

1) 调查样地内共有维管植物 56 科 129 属 150 种, 其中禾本科植物种类最丰富, 其次是菊科, 是该区的优势科, 样地内绝大部分是 1 属 1 种的草本植物. 植物分布区系共 18 种, 类型多样, 研究区内植物以热带成分为主(42.00%), 其次是温带成分(36.00%), 说明该区植物区系具有从暖温带向热带过渡的亚热带地带性特点.

2) 一年生草本植物和多年生草本植物为消落带的优势生活型. 这可能是因为一年生草本或耐淹喜湿的多年生草本生长繁殖多采用 R 繁殖策略, 以大量细小种子繁殖或以耐无氧呼吸的茎段进行营养繁殖, 适应性强、生态位宽, 能够在退水后、蓄水前较短的时间内(夏季和秋季)完成生活史^[21], 次年依靠临近种源或者土壤种子库^[22-25]开始新的生命周期. 加之此时消落带光热雨资源丰富同时具有良好的土壤条件, 使其快速生长、覆盖大面积的消落带. 苍耳、雀稗、狗牙根等是三峡库区消落带优势种, 且狗牙根主要分布在消落带的中下部, 而苍耳主要分布在消落带的中上部. 植物本身性状的差异可能是导致它们在消落带内分布位置不同的主要原因: 狗牙根耐水淹, 且在退水之后能够快速返青; 苍耳种子具有较强的耐淹能力但植株不耐水淹^[26]. 水位潜在影响带(海拔 175~180 m), 灌木和乔木比例较大. 水位潜在影响带受水位波动影响较少, 有助于植物的生长、繁殖, 且在海拔 180 m 库岸带附近存在木本植物, 通过这些植物种子的风媒、水媒、鸟媒传播或者周围环境物种库的种子迁移, 使得水位潜在影响带有大量次生灌木和乔木幼苗. 但是由于灌木和乔木一般为多年生植物, 不耐水淹, 冬季水库高水位运行, 很多乔木幼苗难以存活, 不断重复着“播种—萌发—生长—死亡”的过程, 因此乔木和灌木主要位于水位潜在影响带, 且绝大部分处于幼苗期.

3) 4 个多样性指数在消落带内沿水流方向均呈增加趋势. 这一研究结果与群落构建的生态位理论相符. 消落带内植物群落的物种数增多, 由于物种对资源的竞争, 物种间发生生态位的分化, 使得构成植物群落的物种占据不同的生态位, 群落内优势物种减少, 群落多样性和均匀度增加. 沿水流方向群落物种数增加, 可能是由于水流将纵向的不同景观联系在一起, 更有利于植物种子/萌蘖条从上游到下游的迁移与定居^[22,27].

4) 传统聚类分析不能同时进行行聚类和列聚类. 虽然 TWINSpan 分析实现了同时对行列的聚类, 但在结果判别上需要人为确定分类等级^[28], 物种的属性值被划分为若干等级, 无法区分物种在不同样方间的微小差异(属性值属于同一等级, 但有差异)^[29-30]. 热图同时对样方(行)和物种(列)进行聚类, 将干流和支流物种组成和空间格局直观清晰地表现出来, 二维图中栅格颜色的变化将任何微小的差异都表现出来^[19]. 从图 3 和图 4 的物种分枝树图中明显看出, 狗牙根、雀稗、苍耳等物种是干支流消落带的优势种; 从图 3 和图 4 中热图看出, 相比支流消落带, 干流消落带植被优势现象不明显, 多种植物出现的频率和重要值相差不大, 均匀度较高. 这一结果与表 4 和图 2 的结果相符, 表明热图分析结果可靠. 干流和支流消落带植物群落的物种组成、结构及多样性等特征差异有统计学意义, 可能原因是干流和支流消落带环境因素的空间异质性.

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] 韩文娇, 李昌晓, 王朝英, 等. 前期水淹对牛鞭草营养元素质量分数响应后期干旱胁迫的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2016, 38(10): 17—27.
- [3] 谭雪梅, 吉芳英, 曹琳, 等. 三峡库区出露期消落带沉积物磷分布特征 [J]. 环境科学学报, 2012, 32(7): 1691—1696.
- [4] 穆建平. 三峡库区消落带植被的生态学研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2012.
- [5] 张佳磊. 三峡库区大宁河富营养化和水华研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2011.
- [6] 谭淑端, 朱明勇, 张克荣, 等. 植物对水淹胁迫的响应与适应 [J]. 生态学杂志, 2009, 28(9): 1871—1877.
- [7] 彭晚霞, 宋同清, 曾馥平, 等. 喀斯特常绿落叶阔叶混交林植物与土壤地形因子的耦合关系 [J]. 生态学报, 2010, 30(13): 3472—3481.
- [8] 李生, 姚小华, 任华东, 等. 黔中石漠化地区不同土地利用类型土壤种子库特征 [J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4602—4608.
- [9] 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 [J]. 生态学报, 2010, 30(21): 5821—5831.
- [10] 谢德体, 范小华. 三峡库区消落带生态系统演变与调控 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [11] 孙荣, 袁兴中, 陈忠礼, 等. 三峡水库澎溪河消落带植物群落物种丰富度格局 [J]. 环境科学研究, 2010, 23(11): 1382—1389.
- [12] 陈春娣, 吴胜军, DOUGLAS M C, 等. 三峡库区新生城市湖泊岸带初冬植物群落构成及多样性初步研究——以开县汉丰湖为例 [J]. 湿地科学, 2014, 12(2): 197—203.
- [13] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 1988.
- [14] 四川植物志编辑委员会. 四川植物志 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2012.
- [15] 吴征镒, 周浙昆, 孙航, 等. 种子植物分布区类型及其起源和分化 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2006.
- [16] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型 [J]. 云南植物研究, 1991, 13: 1—139.
- [17] 何兴东, 高玉葆, 刘惠芬. 重要值的改进及其在羊草群落分类中的应用 [J]. 植物研究, 2004, 24(4): 466—472.
- [18] 鲁为华, 于磊, 蒋惠. 新疆昭苏县沙尔套山天然草地植物群落数量分类与排序(简报) [J]. 草业学报, 2008, 17(1): 135—139.
- [19] WILKINSON L, FRIENDLY M. The History of the Cluster Heat Map [J]. The American Statistician, 2009, 63(2): 179—184.
- [20] WEINSTEIN J N. Biochemistry-A Postgenomic Visual Icon [J]. Science, 2008, 319(5871): 1772—1773.
- [21] 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.
- [22] FAVRE-BAC L, ERNOULT A, MONY C, et al. Connectivity and Propagule Sources Composition Drive Ditch Plant Metacommunity Structure [J]. Acta Oecologica-International Journal of Ecology, 2014, 61: 57—64.
- [23] MERRITT D M, WOHL E E. Processes Governing Hydrochory Along Rivers: Hydraulics, Hydrology, and Dispersal Phenology [J]. Ecological Applications, 2002, 12(4): 1071—1087.
- [24] SAEUMEL I, KOWARIK I. Urban Rivers as Dispersal Corridors for Primarily Wind-Dispersed Invasive Tree Species [J]. Landscape and Urban Planning, 2010, 94(3/4): 244—249.

[25] SCHMIEDEL D, TACKENBERG O. Hydrochory and Water Induced Germination Enhance Invasion of *Fraxinus Pennsylvanica* [J]. *Forest Ecology and Management*, 2013, 304: 437—443.

[26] 王 强, 袁兴中, 刘 红, 等. 水淹对三峡水库消落带苍耳种子萌发的影响 [J]. *湿地科学*, 2011, 9(4): 328—333.

[27] MIDDLETON B. Hydrochory, Seed Banks, and Regeneration Dynamics Along the Landscape Boundaries of a Forested Wetland [J]. *Plant Ecology*, 2000, 146(2): 167—181.

[28] 张文静, 张钦弟, 王 晶, 等. 多元回归树与双向指示种分析在群落分类中的应用比较 [J]. *植物生态学报*, 2015, 39(6): 586—592.

[29] 张金屯. 模糊 C-均值聚类 and TWINSpan 分类的比较研究 [J]. *植物科学学报*, 1994, 12(1): 11—17.

[30] 张金屯. 数量生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.

A Study of the Vascular Plant Flora in the Drawdown Zones Along the Mainstream of the Yangtze River and Its Tributary, the Pengxi River, in the Fuling-Yunyang Section of the Three Gorges Reservoir

TONG Xiao-xiao^{1,2}, CHEN Chun-di¹, WU Sheng-jun¹, JIA Zhen-yi^{1,3}, WEN Zhao-fei^{1,2}, YE Fei^{1,2}, YI Xue-mei¹, MA Mao-hua¹

1. Chongqing Institute of Green and Intelligent Technology, Chinese Academy of Sciences, Chongqing 400714, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. School of Geographical Science, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: A preliminary investigation was made of the plant community composition and diversity patterns along the mainstream of the Yangtze River and its tributary, the Pengxi River, in the Fuling-Yunyang section of the Three Gorges Reservoir. Sampling transect lines were laid from 153~180 m above the sea level. The results are as follows. A total of 150 vascular plant species belonging to 129 genera and 56 families were identified. Gramineae and Compositae were the dominant families, and almost all the genera were represented by only one species. Annual and perennial herbs were the most abundant life form. *Cynodon dactylon*, *Paspalum thunbergii* and *Xanthium strumarium* were the dominant plants. Bioclimatic types of plant genera were diverse. Tropical types predominated, followed by temperate types. It revealed that the plant communities of the study area were distinctively transitional between tropical and temperate floras. The results of one-way analysis of variance (abbreviated one-way ANOVA) of the diversity indexes and heatmap demonstrated that the total number of vascular plant species in the drawdown zones of the mainstream of the Yangtze and the tributary was similar, but their community composition was different. Uniformity of vegetation in the drawdown zone of the mainstream of the Yangtze was significantly higher than that of the tributary. The difference in distribution pattern of plant species in the drawdown zones between the mainstream of the Yangtze and the tributary might be attributed to their different environmental factors.

Key words: drawdown zones of the Three Gorge Reservoir; mainstream of the Yangtze River; the Pengxi River; biodiversity; heatmap

