

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.06.012

# 三峡库区秭归段水位消落带草本植物多样性分析

孙鹏飞<sup>1</sup>, 沈雅飞<sup>1,2</sup>, 王丽君<sup>1</sup>, 杨 邵<sup>1</sup>,  
郭 燕<sup>1</sup>, 肖文发<sup>1,2\*</sup>, 程瑞梅<sup>1,2\*</sup>

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业和草原局森林生态环境重点实验室, 北京 100091;

2. 南京林业大学南方现代林业协同创新中心, 江苏 南京 210037)

**摘要:** [目的] 研究消落带草本植物多样性的梯度变化和空间分布特征, 进而认识消落带植物的生态适应性, 为分析和保护消落带生物多样性提供依据。[方法] 通过对三峡库区秭归段消落带 145~175 m 内草本物种的调查, 对经历 5 次干湿动态变化后消落带草本植物的群落类型及物种多样性进行研究。[结果] 表明: 2014 年该区共有草本植物 39 种, 隶属 15 科 27 属, 以菊科、禾本科、廖科和大戟科植物为主; 2019 年该区共有草本植物 47 种, 隶属 18 科 39 属, 菊科种类最多, 为消落带优势科, 其次为禾本科、廖科和大戟科植物。在过去 5 年中, 1 年生草本植物毛马唐、狗尾草、稗、苍耳、鬼针草和多年生草本植物狗牙根、香附子等均有较大的重要值, 为主要优势物种, 秭归消落带植物群落优势种和伴生种的丰富度、多样性、均匀度和优势度在各水位梯度带上变化明显, 群落物种丰富度随水位高程梯度 145~175 m 呈先上升后下降的趋势。[结论] 消落带植物多样性的变化是由于高程差异造成的淹水时间差异而导致的生境差异。

**关键词:** 消落带; 草本植物; 重要值; 多样性; 生活型

**中图分类号:** Q145

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-1498(2020)06-0096-09

消落带 (Water-level-fluctuation zone) 又称水位涨落带, 是指水库等人工水域或河流、湖泊等自然水域, 受到季节性或周期性水量变化亦或蓄水泄洪等人为措施的影响, 使淹没土地周期性出露于水面, 最终在不同海拔水位线之间的特殊区域形成消落带<sup>[1-2]</sup>。近年来, 像三峡大坝等这类大型水利工程的兴建而使消落带逐渐被发现并研究, 也越来越引起当地政府和生态学者的关注, 进而使其内部产生了特殊而显著的环境因子、生态变化过程及梯度性的植物群落结构, 也拥有了新的生态效益和污染物净化功能<sup>[3-4]</sup>。三峡水库作为三峡水利枢纽工程建成后的地球上最大的人工水库, 在其建成后为了增加水库使用年限, 三峡水库采取夏降冬升的蓄水

方式来存清去浊, 与蓄水前自然消落带相比, 其水位涨落节奏与规律彻底相反——每年 6—9 月为汛期, 排水去沙, 水位降至 145 m, 度过汛期后存清蓄水使水位升至 175 m<sup>[5]</sup>, 三峡库区消落带受反季节性水库水位变化的影响在面临外界扰动时十分脆弱, 极易出现水土流失等一系列问题, 使生态平衡被破坏而造成生态系统多样性减少等生态系统退化问题<sup>[6]</sup>, 消落带作为活跃而不稳定的生态脆弱带如今在维护岸边生态平衡、保护水库及水体、能量流动等方面发挥着至关重要的作用<sup>[7-8]</sup>。

长期生长于陆地的植物在周期性干湿交替变化生境协同进化的条件下形成消落带植被, 其作为水库管理的重要对象, 具有特定的生态适应性等特

收稿日期: 2019-12-20 修回日期: 2020-09-01

基金项目: 国家重点研发计划子课题“三峡水库消落带生态恢复技术研究”(2017YFC050530402); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金““长江经济带”生态保护技术集成与应用”(CAFYBB2017ZA002)

\* 通讯作者: 程瑞梅, 研究员. 主要研究方向: 群落生物多样性和森林生态. E-mail: chengrm@caf.ac.cn

点, 是生态系统功能的主体<sup>[9]</sup>, 同时对于保护消落带的生态系统平衡以及发挥其特有的生态功能起到很大的作用。消落带植物物种多样性、群落构成和群落分布在三峡水库蓄水后, 受水文情势变化影响, 也会相应的发生改变。当植物处于淹水时, 其对水淹造成的缺氧土壤环境的耐受能力在很大程度上会对植物群落组成的变化产生影响, 而在水淹干扰梯度上决定植物群落物种组成及分布的主要环境参数为不同海拔高度、植物受水淹的时长及强度<sup>[10-11]</sup>。Lomolino<sup>[12]</sup>认为, 环境变量之间的协作与互作在很大程度上影响多样性与海拔梯度格局之间存在的正相关、负相关或单峰关系。重要值(IV)是对群落中某物种作用和地位进行综合评定的重要数量指标, 可以表示物种在群落中的相对重要性及其所起的作用大小<sup>[13-14]</sup>。目前, 前人对受到短时间水淹的三峡库区消落带的植物群落组成、植被结构及其动态变化进行了大量的研究, 但是经历长期水淹后, 由于环境的不断变化, 消落带植物会不断通过其自身的形态变化或生理过程的改变来调节自身以增强其适应变化环境的能力<sup>[15]</sup>。但消落带区域遭受水淹后的复杂生境及自然或人为干扰的影响, 消落带植被构成仍具有较强的波动性和变化性, 消落带植被的物种、群落及系统多样性和空间结构在经历长期水位涨落后的变化如何? 植物又会表现怎样特定的生活型以适应周期性水淹后的复杂环境? 本研究依托2014年消落带秭归段样地的野外调研资料, 于2019年7月对水位涨落5周年后消落带145~175 m内的植被进行重新调查, 研究其植物群落自然分布特征及物种多样性, 旨在为三峡库区消落带的植被保护、修复和管理提供科学依据。希望从物种多样性角度出发, 探究三峡库区消落带植物群落在经历长期干湿生境交替环境下的群落结构和分布特征, 同时分析消落带的植被现状, 进而为三峡库区消落带的植被生长、保护和管理提供科学依据。

## 1 研究区概况

研究区域位于湖北省秭归县茅坪镇(30°38'14"~31°11'31" N, 110°0'04"~110°18'41" E), 紧邻三峡大坝, 气候为亚热带大陆性季风气候, 温暖湿润, 四季分明, 年平均气温18.0℃, 年降水量1 049.3 mm, 年均相对湿度78%, ≥10℃年活动积温5 723.6℃, 全年无霜期305 d。研究区域土壤类型主要有黄壤、黄棕壤和冲积土等, 土壤厚度约40 cm。消落带秭归段区域地势起伏较大, 受降雨及蓄水泄洪等因素影响, 水土流失较严重<sup>[16]</sup>。消落带内现有植被主要以草本为主, 包括毛马唐(*Digitaria chrysoblephara* Flig. et De Not)、狗尾草(*Setaria viridis* (Linn.) Beauv.)、狗牙根(*Cynodon dactylon* (Linn.) Pers.)等。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置

2008年8月在秭归县茅坪镇典型消落带区域设置固定样地, 并在样地中选取代表性的次生植被和弃耕地植被, 使调查样地能够较全面地反映消落带秭归段植被及土壤环境特征, 采用湿地草本群落生态学的调查方法, 在每个样地沿消落带下部高程(145~155 m)、中部(155~165 m)和上部(165~175 m)各设置1个10 m×30 m样带, 每个样带内均匀设置12个5 m×5 m的网格, 并在每个网格内设置5个1 m×1 m的草本样方, 现场调查样方内每种植物的种名、株数、盖度、平均高度及植物生活型。样方坡度用多功能坡度仪测量, 采用便携式手持GPS测定每个样方的海拔, 样地情况见表1。

### 2.2 研究方法

利用Excel2016进行数据处理及作图、SPSS17.0软件进行单因素方差分析、相关性分析等。

表1 样地基本特征

Table 1 Basic characteristics of the plots

样地编号 Samplenumber	经度(E) Longitude	纬度(N) Latitude	坡度 Slope/(°)	坡向 Slope aspect	地理位置 Geographical position
1	110°56'	30°52'	32~42	北偏西	秭归县松树坳
2	110°55'	30°53'	32~32	北偏西	秭归县杉木溪
3	110°55'	30°52'	27~37	北偏东	秭归县中坝村
4	110°54'	30°53'	30~33	北偏东	秭归县兰陵溪
5	110°55'	30°52'	22~30	北偏东	秭归县兰沙湾

2.2.1 重要值 以所调查的样方作为资源状态, 选取重要值作为评价群落中各物种相对重要性的综合数量指标。

重要值 = (相对密度 + 相对盖度 + 相对频度) / 3

相对密度 = 某个种的个数 / 所有的个体之和 × 100%

相对盖度 = 某个种的盖度 / 所有的盖度之和 × 100%

相对频度 = 某个种的频度 / 所有的频度之和 × 100%

2.2.2 生物多样性指数 选取 Shannon-Weiner 指数 ( $H$ )、Pielou 均匀度指数 ( $E$ )、Simpson 优势度指数 ( $D$ )、丰富度指数 ( $S$ ), 反映消落带生物多样性的变化和空间分布特征<sup>[17-18]</sup>。

$$H = - \sum (Pi \log Pi)$$

$$E = H / \ln(S)$$

$$D = 1 - \sum_{i=1}^N Pi^2$$

$S$  = 样方物种数

式中:  $P_i$  表示第  $i$  个种的多度比例;  $S$  代表出现物种的个数;  $n_i$  表示第  $i$  个物种的个体数;  $N$  代表出现物种的个体总数。

2.2.3 植物生活型组成 对研究区植物生活型依据《中国植物志》进行划分<sup>[9]</sup>, 共区分出乔木、灌木、藤本、多年生草本、1 年生草本等 9 种生活型。

## 3 结果与分析

### 3.1 植物种类组成

2019 年在消落带稀归段区域共发现并确定草本植被群落共有 18 科 39 属 47 种 (表 2), 与 2014 年 (15 科 27 属 39 种) 相比, 增加 24 种新物种, 全为陆生植物, 分别是牛筋草 (*Eleusine indica* (Linn.) Gaertn.)、斑地锦 (*Euphorbia maculata* Linn.)、斑种草 (*Bothriospermum chinense* Bge.)、粗毛牛膝草 (*Achyranthes aspera* var. *fruticosa* (Lam.) Boerl.)、地锦 (*Parthenocissus tricuspidata* (Sieb. et Zucc.) Planch.)、飞蓬草 (*Erigeron acer* Linn.)、合萌 (*Aeschynomene indica* Linn.)、假酸浆 (*Nicandra physalodes* (Linn.) Gaertn.)、空心莲子草 (*Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.)、蓝花参 (*Wahlenbergia marginata* (Thunb.) A. DC.)、荔枝草 (*Salvia plebeia* R. Br.)、芒 (*Miscanthus sinensis* Anderss.)、求米草 (*Oplismenus undulatifolius* (Arduino) Beauv.)、鼠麴草 (*Gnaphalium affine* D. Don.)、双穗雀稗 (*Paspalum paspaloides* (Michx.)

Scribn.)、苏门白酒草 (*Conyza sumatrensis* (Retz.) Walker.)、苘麻 (*Abutilon theophrasti* Medicus.)、雾水葛 (*Pouzolzia zeylanica* (L.) Benn.)、响铃豆 (*Crotalaria albida* Heyne ex Roth.)、野胡萝卜 (*Daucus carota* Linn.)、紫花野百合 (*Crotalaria sessiliflora* L.)、酢浆草 (*Oxalis corniculata* Linn.)、山莴苣 (*Lagedium sibiricum* (Linn.) Sojak.)、小蓬草 (*Conyza canadensis* (Linn.) Cronq.)、减少 16 种陆生植物, 分别是野艾蒿 (*Artemisia lavandulaefolia* DC.)、巴东醉鱼草 (*Buddleja albiflora* Hems.)、翅茎冷水花 (*Pilea subcoriacea* (Hand.-Mazz.) C. J. Chen.)、光头稗 (*Echinochloa colonum* (Linn.) Link.)、海金沙 (*Lygodium japonicum* (Thunb.) Sw.)、胡枝子 (*Lespedeza bicolor* Turcz.)、截叶铁扫帚 (*Lespedeza cuneata* (Dum.-Cours.) G. Don.)、两型豆 (*Amphicarpaea edgeworthii* Benth.)、葎草 (*Humulus scandens* (Lour.) Merr.)、木防己 (*Cocculus orbiculatus* (Linn.) DC.)、土荆芥 (*Chenopodium ambrosioides* Linn.)、水田稗 (*Echinochloa oryzoides* (Ard.) Flritsch.)、叶下珠 (*Phyllanthus urinaria* Linn.)、一年蓬 (*Erigeron annuus* (Linn.) Pers.)、喜旱莲子草 (*Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.)、茵陈蒿 (*Artemisia capillaris* Thunb.)。菊科和禾本科是该区的优势科, 2014 年分别占此区域草本总科数的 25.6%、20.5%; 2019 年分别占此区域草本总科数的 25.5%、21.3%。廖科、豆科和大戟科其次, 其它科差别不大, 单种、属现象明显。

消落带草本植物物种随海拔高度不同, 植物种类也有所不同。在 145~155 m 海拔高度, 对物种要求最严格, 如假酸浆、粗毛牛膝草、附地菜等物种只出现在此海拔; 随着海拔增加, “新”植物陆续出现, 155~165 m 区段是植物种类最丰富的区段, 相比海拔 145~155 m 区段, 2014 年增加马唐、光头稗等物种; 2019 年则增加如小蓬草, 野苘蒿、苏门白酒草等物种; 海拔 165~175 m 区段 2014 年增加截叶铁扫帚、巴东醉鱼草等物种; 2019 则增加山莴苣、响铃豆、蓝花参等物种。可见, 消落带在经历几次水位涨落后, 库区植被对淹水持续时长和水淹程度有不同的响应。由表中物种重要值可知, 2014 年与 2019 年相比, 低海拔区域 (145~155 m) 主要优势物种均为狗牙根 (2014

表 2 秭归段三峡库区消落带植物群落的物种组成

Table 2 Species composition of plant community in the water-level-fluctuation zone of Three Gorges reservoir area in Zigui

物种名称 Species	科 Families	属 Genera	年份 Year	不同海拔物种的重要值 Important values of species at different altitudes		
				145~155 m	155~165 m	165~175 m
				稗草 <i>Echinochloa crusgalli</i>	禾本科 Gramineae	稗属 <i>Echinochloa</i>
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	禾本科 Gramineae	马唐属 <i>Digitaria</i>	2014 2019	— 0.046 8	0.060 5 0.075 3	— 0.065 9
芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	禾本科 Gramineae	芒属 <i>Miscanthus</i>	2014 2019	— —	— 0.016 8	— —
毛马唐 <i>Digitaria chrysoblephara</i>	禾本科 Gramineae	马唐属 <i>Digitaria</i>	2014 2019	0.097 8 0.078 9	0.101 2 0.159 4	0.107 7 0.056 8
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	禾本科 Gramineae	狗尾草属 <i>Setaria</i>	2014 2019	0.111 4 0.130 1	0.088 7 0.007 5	— 0.071 7
狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	禾本科 Gramineae	狗牙根属 <i>Cynodon</i>	2014 2019	0.213 2 0.203 8	0.1059 0.174 2	— 0.102 9
牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	禾本科 Gramineae	稷属 <i>Eleusine</i>	2014 2019	— 0.002 8	— —	— —
求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i>	禾本科 Gramineae	求米草属 <i>Oplismenus</i>	2014 2019	— —	— 0.008 9	— —
雀稗 <i>Paspalum thunbergii</i>	禾本科 Gramineae	雀稗属 <i>Paspalum</i>	2014 2019	— 0.013 4	0.048 3 0.015 8	0.019 9 0.047 8
双穗雀稗 <i>Paspalum paspaloides</i>	禾本科 Gramineae	雀稗属 <i>Paspalum</i>	2014 2019	— —	— 0.030 9	— —
光头稗 <i>Echinochloa colonum</i>	禾本科 Gramineae	稗属 <i>Echinochloa</i>	2014 2019	— —	0.048 3 —	— —
水田稗 <i>Echinochloa oryzoides</i>	禾本科 Gramineae	稗属 <i>Echinochloa</i>	2014 2019	0.013 2 —	0.006 1 —	0.019 9 —
鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	菊科 Compositae	鬼针草属 <i>Bidens</i>	2014 2019	— 0.058 5	0.013 6 0.040 7	— 0.030 1
艾草 <i>Artemisia argyi</i>	菊科 Compositae	蒿属 <i>Artemisia</i>	2014 2019	— —	0.0664 0.0230	0.0035 0.0528
飞蓬草 <i>Erigeron acer</i>	菊科 Compositae	飞蓬属 <i>Erigeron</i>	2014 2019	— —	— 0.027 3	— 0.051 3
一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>	菊科 Compositae	飞蓬属 <i>Erigeron</i>	2014 2019	0.029 0 —	0.009 6 —	0.023 5 —
藿香蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	菊科 Compositae	藿香蓟属 <i>Ageratum</i>	2014 2019	0.035 5 —	0.036 4 —	0.029 4 0.010 5
狼把草 <i>Bidens tripartita</i>	菊科 Compositae	鬼针草属 <i>Bidens</i>	2014 2019	0.036 2 0.006 0	0.045 7 0.028 4	— —
醴肠 <i>Eclipta prostrata</i>	菊科 Compositae	鳢肠草属 <i>Eclipta</i>	2014 2019	0.011 3 0.019 1	0.006 1 0.041 3	— 0.009 1
鼠麴草 <i>Gnaphalium affine</i>	菊科 Compositae	麴鼠草属 <i>Gnaphalium</i>	2014 2019	— 0.039 1	— 0.004 4	— 0.006 9
苏门白酒草 <i>Conyza sumatrensis</i>	菊科 Compositae	白酒草属 <i>Conyza</i>	2014 2019	— —	— 0.025 0	— —
小蓬草 <i>Conyza canadensis</i>	菊科 Compositae	白酒草属 <i>Conyza</i>	2014 2019	— —	— 0.006 7	— —
山萹苳 <i>Lagedium sibiricum</i>	菊科 Compositae	山萹苳属 <i>Lagedium</i>	2014 2019	— —	— —	— 0.015 6
野茼蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i>	菊科 Compositae	野茼蒿属 <i>Crassocephalum</i>	2014 2019	— —	0.010 8 0.009 2	— —
苍耳 <i>Xanthium sibiricum</i>	菊科 Compositae	苍耳属 <i>Xanthium</i>	2014 2019	0.067 0 —	0.046 6 0.053 6	— 0.010 1
茵陈蒿 <i>Artemisia capillaris</i>	菊科 Compositae	蒿属 <i>Artemisia</i>	2014 2019	— —	0.027 0 —	— —
野艾蒿 <i>Artemisia lavandulaefolia</i>	菊科 Compositae	蒿属 <i>Artemisia</i>	2014 2019	— —	0.053 7 —	0.040 8 —
地锦 <i>Euphorbia humifusa</i>	大戟科 Euphorbiaceae	地锦属 <i>Euphorbia</i>	2014 2019	— —	— 0.054 0	— 0.011 4
斑地锦 <i>Euphorbia maculata</i>	大戟科 Euphorbiaceae	大戟属 <i>Euphorbia</i>	2014 2019	— —	— 0.024 2	— —
蜜甘草 <i>Phyllanthus ussuriensis</i>	大戟科 Euphorbiaceae	叶下珠属 <i>Phyllanthus</i>	2014 2019	0.031 4 0.010 6	0.062 2 0.029 7	— 0.008 3
叶下珠 <i>Phyllanthus urinaria</i>	大戟科 Euphorbiaceae	叶下珠属 <i>Phyllanthus</i>	2014 2019	0.021 1 —	— —	— —

续表2

物种名称 Species	科 Families	属 Genera	年份 Year	不同海拔物种的重要值 Important values of species at different altitudes		
				145~155 m	155~165 m	165~175 m
铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>	大戟科 Euphorbiaceae	铁苋菜属 <i>Acalypha</i>	2014 2019	0.032 2 0.027 3	0.002 9 0.003 8	— —
红蓼 <i>Polygonum orientale</i>	蓼科 Polygonaceae	蓼属 <i>Polygonum</i>	2014 2019	0.016 2 —	0.012 9 0.023 8	— —
水蓼 <i>Polygonum hydropiper</i>	蓼科 Polygonaceae	蓼属 <i>Polygonum</i>	2014 2019	— 0.006 8	0.015 7 —	— —
酸模叶蓼 <i>Polygonum lapathifolium</i>	蓼科 Polygonaceae	蓼属 <i>Polygonum</i>	2014 2019	0.044 5 0.034 5	0.026 0 0.003 0	0.002 9 —
香蓼 <i>Polygonum viscosum</i>	蓼科 Polygonaceae	蓼属 <i>Polygonum</i>	2014 2019	0.016 2 0.004 2	0.003 5 0.014 9	0.012 9 —
假酸浆 <i>Nicandra physalodes</i>	茄科 Solanaceae	假酸浆属 <i>Nicandra</i>	2014 2019	— 0.012 8	— —	— —
蓝花参 <i>Wahlenbergia marginata</i>	桔梗科 Campanulaceae	蓝花参属 <i>Wahlenbergia</i>	2014 2019	— —	— —	— 0.034 4
荔枝草 <i>Salvia plebeia</i>	唇形科 Labiatae	鼠尾草属 <i>Salvia</i>	2014 2019	— —	— 0.017 7	— —
苘麻 <i>Abutilon theophrasti</i>	锦葵科 Malvaceae	苘麻属 <i>Abutilon</i>	2014 2019	— 0.038 6	— 0.024 1	— —
雾水葛 <i>Pouzolzia zeylanica</i>	荨麻科 Urticaceae	雾水葛属 <i>Pouzolzia</i>	2014 2019	— 0.006 0	— 0.015 0	— 0.010 7
翅茎冷水花 <i>Pilea subcoriacea</i>	荨麻科 Urticaceae	冷水花属 <i>Urticaceae</i>	2014 2019	0.052 2 —	0.010 4 —	0.058 3 —
香附子 <i>Cyperus rotundus</i>	莎草科 Cyperaceae	莎草属 <i>Cyperus</i>	2014 2019	— 0.122 9	0.041 4 0.034 1	0.131 1 0.036 9
响铃豆 <i>Crotalaria albida</i>	豆科 Leguminosae	猪屎豆属 <i>Crotalaria</i>	2014 2019	— —	— —	— 0.0030
合萌 <i>Aeschynomene indica</i>	豆科 Leguminosae	合萌属 <i>Aeschynomene</i>	2014 2019	— —	— 0.010 3	— 0.010 3
紫花野百合 <i>Crotalaria sessiliflora</i>	豆科 Leguminosae	猪屎豆属 <i>Crotalaria</i>	2014 2019	— —	— 0.013 5	— —
胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	豆科 Leguminosae	胡枝子属 <i>Lespedeza</i>	2014 2019	— —	0.002 8 —	— —
截叶铁扫帚 <i>Lespedeza cuneata</i>	豆科 Leguminosae	胡枝子属 <i>Lespedeza</i>	2014 2019	— —	0.007 4 —	— —
两型豆 <i>Amphicarpeaea edgeworthii</i>	豆科 Leguminosae	两型豆属 <i>Amphicarpeaea</i>	2014 2019	— —	0.007 3 —	— —
酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	酢浆草科 Oxalidaceae	酢浆草属 <i>Oxalis</i>	2014 2019	— 0.045 6	— 0.005 2	— 0.009 8
附地菜 <i>Trigonotis peduncularis</i>	紫草科 Boraginaceae	附地菜属 <i>Trigonotis</i>	2014 2019	0.016 5 0.007 4	— 0.013 4	— 0.004 5
斑种草 <i>Bothriospermum chinense</i>	紫草科 Boraginaceae	斑种草属 <i>Bothriospermum</i>	2014 2019	— —	— —	— 0.023 0
匍茎通泉草 <i>Mazus miguelii</i>	玄参科 Scrophulariaceae	通泉属 <i>Mazus</i>	2014 2019	0.064 2 —	0.133 6 0.045 6	— —
巴东醉鱼草 <i>Buddleja albiflora</i>	玄参科 Scrophulariaceae	醉鱼草属 <i>Buddlejaceae</i>	2014 2019	— —	— —	0.002 9 —
野胡萝卜 <i>Daucus carota</i>	伞形科 Umbelliferae	胡萝卜属 <i>Daucus</i>	2014 2019	— —	— 0.005 9	— 0.021 8
空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	苋科 Amaranthaceae	莲子草属 <i>Alternanthera</i>	2014 2019	— 0.008 7	— 0.031 5	— —
粗毛牛膝草 <i>Achyranthes aspera</i>	苋科 Amaranthaceae	牛膝属 <i>Achyranthes</i>	2014 2019	— 0.087 0	— —	— —
海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	海金沙科 Lygodiaceae	海金沙属 <i>Lygodium</i>	2014 2019	— —	0.036 4 —	— —
葎草 <i>Humulus scandens</i>	桑科 Moraceae	葎草属 <i>Humulus</i>	2014 2019	— —	0.008 7 —	— —
木防己 <i>Cocculus orbiculatus</i>	防己科 Menispermaceae	木防己属 <i>Cocculus</i>	2014 2019	— —	0.042 4 —	— —
喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	苋科 Amaranthaceae	莲子草属 <i>Alternanthera</i>	2014 2019	0.020 0 —	— —	— —
土荆芥 <i>Chenopodium ambrosioides</i>	藜科 Chenopodiaceae	藜属 <i>Chenopodium</i>	2014 2019	— —	0.027 9 —	— —
紫萼蝴蝶草 <i>Ageratum conyzoides</i>	玄参科 Compositae	蝴蝶草属 <i>Ageratum</i>	2014 2019	0.035 5 —	0.036 4 —	0.029 4 0.010 5

年  $I_v$  0.213 2、2019 年  $I_v$  0.203 8)、狗尾草(2014 年  $I_v$  0.111 4、2019 年  $I_v$  0.130 1);中海拔区域(155~165 m)主要优势物种均为狗牙根(2014 年  $I_v$  0.105 9、2019 年  $I_v$  0.174 2)、毛马唐(2014 年  $I_v$  0.101 2、2019 年  $I_v$  0.159 4);而高海拔区域(165~175 m)2014 年主要优势物种是毛马唐、香附子(2014 年  $I_v$  0.107 7、0.131 1),2019 年则变为狗牙根、狗尾草(2019 年  $I_v$  0.102 9、0.071 7、)。

### 3.2 植物生活型特征

消落带秭归段区域植被共有 9 种生活型(表 3),2014、2019 年海拔 145~155 m 区段生活型均为 4 种;海拔 155~165 m 区段生活型 2014

年为 3 种、2019 年为 4 种,新增亚灌木为苘麻;海拔 165~175 m 区段生活型 2014 年与 2019 年均为 9 种,除 1 年生草本、多年生草本、1、2 年生草本、落叶乔木外,其他中还包包括蔓生草本、亚灌木、藤本、蕨类以及 1 年生或多年生草本。1 年生草本植物在消落带不同海拔高程中均为优势生活型并占有绝对优势,其中,海拔 145~155 m 区段 2014 年、2019 年 1 年生草本植物分别有 18 种、19 种,占统计植物种的 69.2%、70.3%;多年生草本植物经历 5 次干湿交替变化后无变化,2019 年依然为 6 种,分别占统计植物种的 23.1%、22.2%;而 1、2 年生草本植物也无变化,均为 1 种,分别占统计植物种的 3.8%、3.7%;蔓生草本植物均为 1 种,分别占统计植物种的 3.8%、3.7%;海拔 155~165 m 区段 2014 年、2019 年 1 年生草本植物分别有 19 种、20 种,占统计植物种的 73.1%、69.0%;多年生草本植物 2014 年为 6 种、2019 年为 7 种,分别占统计植物种的 23.1%、24.1%;1、2 年生草本植物均为 1 种,分别占统计植物种的 3.8%、3.4%;2019 年灌木 1 种,占统计植物种的 3.4%。海拔 165~175 m 区段 2014 年、2019 年 1 年生草本植物分别有 19 种、20 种,占统计植物种的 51.4%、52.6%;其他生活型:如藤本、蕨类以及 1 年生或多年生草本分别占统计植物种的 21.6%、21.1%。与低海拔 145~155 m 相比,海拔 165~175 m 区段的植物生活型种类增加。

### 3.3 群落物种多样性

2014 年与 2019 年消落带秭归段植物群落的物种多样性沿水位海拔高度的变化见图 1。依据不同海拔记录的物种数据,分析物种生活型组成沿高程的变化可以得出:受到三峡库区水位变化影响,消落带植物群落中的物种多样性指数均在低海拔区段(145~155 m)达到最低值,其中,物种丰富度指数随海拔的变化范围 2014 年为 22~27、2019 年为 25~36;Shannon-Weinon 指数随海拔的变化范围 2014 年为 2.204~2.444、2019 年为 1.874~2.297;以个体数量和物种重要值为基础的物种均匀度指数随海拔的变化范围 2014 年为 0.713~0.759、2019 年为 0.582~0.641;优势度指数随海拔的变化范围 2014 年为 0.824~0.884、2019 年为 0.825~0.927。不同年份各指数的最高值基本都出现在海拔 155~165 m 区段,这可能是因为在中等海拔区段在水库运行期间的淹水时间最长,受水淹胁迫程度最大,导

表 3 秭归段消落带植物的生活型

Table 3 Thelifestyleoftheplantinthe Ziguisecton

海拔 Altitude/m	种数 Number	生活型 Lifetype	年份 Year	比例 Proportion/%
145~155	18	1年生草本	2014	69.2
	19		2019	70.3
	6	多年生草本	2014	23.1
	6		2019	22.2
	1	1、2年生草本	2014	3.8
	1		2019	3.7
	1	蔓生草本	2014	3.8
	1		2019	3.7
155~165	19	1年生草本	2014	73.1
	20		2019	69.0
	6	多年生草本	2014	23.1
	7		2019	24.1
	1	1、2年生草本	2014	3.8
	1		2019	3.4
	0	亚灌木	2014	0
	1		2019	3.4
165~175	19	1年生草本	2014	51.3
	20		2019	52.6
	8	多年生草本	2014	21.6
	8		2019	21.1
	1	1、2年生草本	2014	2.7
	1		2019	2.6
	1	落叶乔木	2014	2.7
	1		2019	2.6
	8	其他	2014	21.6
	8		2019	21.1

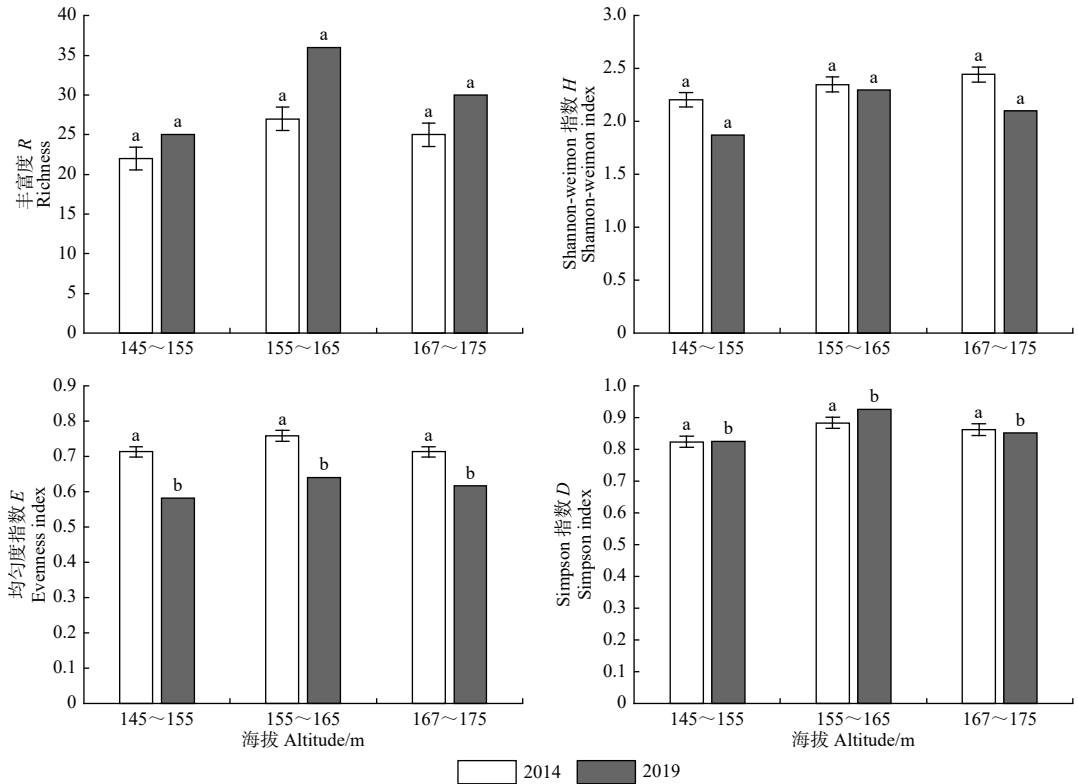


图1 不同年份沿高程梯度的消落带物种多样性格局

Fig. 1 Species diversity in the falling zone along the elevation gradient in different years

致仅有狗牙根等少数耐水淹胁迫物种可以形成相对稳定的群落。

## 4 讨论

### 4.1 周期性水位涨落对消落带草本植物种类组成的影响

三峡库区消落带原有植被生境条件在三峡大坝建成后完全被打破，全新周期性水位涨落模式使得原有植物群落的生存环境发生巨大变化，群落的构成和功能随消落带环境的干湿交替而剧烈波动，总体上处于退化阶段，植物多样性也随之明显下降。2009年消落带秭归段区域植被还处于水淹初期时，王晓荣等<sup>[16]</sup>调查发现，原有消落带植被构成在遭受水淹后发生改变，未遭淹水区域共发现植物物种84科163属223种，主要生活型为多年生草本。本研究以2008年所划样地为依托，通过调查研究经历5年干湿交替环境后的植被分布特点得出：2014年共发现现有植物群落15科27属39种，与2009年相比，其科、属、种比例分别减少高达82.1%、83.4%、82.5%，且1年生草本植物取代多年生草本植物成为新的优势生活型，单种、属现象明显，群落构成趋于简单化。随着当地政府对

消落带的重视和保护，2019年秭归段消落带植被群落共发现18科39属47种，较2014年其科、属、种比例分别增加20.0%、44.4%、20.5%。但是水库的优势型植物群落变化不大，表明只有少数植物在受到水位变化以及周期性水淹的严重影响后能适应新的生存环境<sup>[20]</sup>。这可能是在这种骤然、长期深水淹没生境的环境下，陆生植物缺乏适应这种环境的机体结构和功能的原因；而土壤水分状况以及土壤供养状况在受到水淹干扰后也可能对植物群落的种类组成及空间分布产生一定程度影响；另外，消落带植物群落的生存、繁衍等也会受到淹水持续时间、水位变化等因素的影响。随水淹持续时间和海拔高程的增加，消落带植被也通过自身生理和结构等方面的变异产生相应的适应性，经历5次水位涨落周年后在不同海拔梯度均出现不同于其他海拔梯度的“新”植物，这可能是消落带区域经历水淹之前就以种子库形式存在的物种。

### 4.2 周期性水位涨落对消落带草本植物生活型的影响

植物受不同生态因子的影响会在形态结构等方面产生使其适应环境的变化，这种对环境变化的外部形态表现形式即为植物的生活型；而植物群落生

境条件的变化在一定程度上可以通过植物生活型反映。光照、温度、湿度等不同环境因子与海拔高度都有一定的联系,因此,植物群落的空间分布格局也会受到这些因素的显著影响<sup>[21]</sup>。秭归段消落带各海拔区域2014年与2019年皆出现9种生活型,其中,2014年、2019年海拔145~155 m区段生活型4种;2014年海拔155~165 m区段生活型3种、2019年则为4种,新增亚灌木苘麻;2014年、2019年海拔165~175 m区段生活型9种。因此,本次调查研究一定程度上证明了消落带植被的生活型受到三峡水库反复周期性水位涨落影响后而趋于稳定,同时草本植物的生活型增加。

#### 4.3 周期性水位涨落对消落带草本植物群落物种多样性的影响

水位季节性变化后产生的水陆交替区域最终演变为消落带,而消落带植被在这种周期性反季节淹水形成的次生裸地生长繁殖,这就导致其植物群落的形态结构等会随生境的变化产生有利自身生存的规律,而海拔则是植物群落多样性的重要影响因素<sup>[22-24]</sup>。自低海拔区段到高海拔区段的消落带植被由于受水淹程度不同,其分布规律也发生很大改变<sup>[25]</sup>。本研究表明,秭归段三峡库区消落带淹水后自然恢复的植被在2014年与2019年都是以菊科植物最多,禾本科次之,为该区的优势科,与郭燕等调查结果一致<sup>[26]</sup>。在消落带不同海拔高度区段,1年生草本植物为消落带优势物种,这是由于在反季节的干湿交替规律和大幅水位变化的影响下,生境更为苛刻,多年生草本植物与1年生草本植物相比需要的生长周期更长,也需要较长时间的退水-蓄水周期中完成生活史,更难在干扰剧烈的环境下生存。这与王业春等对三峡库区腹地忠县消落带植被的研究结果基本一致<sup>[27]</sup>。决定湿地植物空间分布格局的主导因子之一是水文机制<sup>[28]</sup>,处于不同海拔区段的植物所受的水淹胁迫程度不同,植物群落的分布格局及物种组成也有所差异,一般认为,植物受水淹胁迫程度越大,其植物多样性就越低<sup>[29-30]</sup>。2014年与2019年秭归消落带植物群落的物种丰富度、多样性、均匀度和优势度均表现出随海拔升高而先上升后下降的趋势,消落带中等海拔区段(155-165 m)的植被物种多样性最高<sup>[31]</sup>。其原因可能为中海拔区段自然资源相对较多,可利用资源相对丰富,使物种多样性的空间分布格局与资源之间有相关关系<sup>[32]</sup>。其中,狗尾草、毛马唐群落的优势度较明显。消落带145~155 m区段受淹水时长

最长,而且沿岸地带还会受到浪潮及频繁水位波动的影响,生境更为苛刻,仅有少数几种耐水淹胁迫种(如狗牙根)可以形成稳定群落。

## 5 结论

本研究以三峡库区秭归段消落带为调查样地,对其高程145~175 m内所覆盖植被进行分类汇总,2014年共记录草本植物39种,隶属15科27属,2019年该区共有草本植物47种,隶属18科39属。在经历5次干湿交替变化后,三峡库区秭归段消落带草本植物多样性和群落结构产生较大变化,其植物群落多样性升高,区域群落结构由简单趋于复杂,群落稳定性增加;但是,消落带植物的海拔差异性仍然显著,中海拔区段仍为物种多样性最多的区段,优势生活型仍为1年生草本,且单种、属现象明显。目前,消落带植物虽然处于初级群落演替阶段,受到水文条件的制约,但通过对消落带植被的保护与调控,会使消落带生境相对稳定,植物群落结构与空间布局也趋于稳定。

#### 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):3-5.
- [2] 涂建军,陈治谏,陈国阶,等.三峡库区消落带土地整理利用——以重庆市开县为例[J].山地学报,2002,20(6):712-717.
- [3] 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.
- [4] 张建春.河岸带功能及其管理[J].水土保持学报,2001,15(6):143-146.
- [5] 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[J].自然资源学报,2011,26(10):1680-1693.
- [6] 刘冬燕.三峡库区消落带生态恢复与重建的研究——以万州消落带示范区为例[D].上海:同济大学,2005.
- [7] 胡波,张平仓,任红玉,等.三峡库区消落带植被生态学特征分析[J].长江科学院院报,2010,27(11):81-85.
- [8] 朱妮妮,郭泉水,秦爱丽,等.三峡水库奉节以东秭归和巫山段消落带植物群落动态特征[J].生态学报,2015,35(23):7852-7867.
- [9] 郭泉水,康义,洪明,等.三峡库区消落带陆生植被对首次水陆生境变化的响应[J].林业科学,2013,49(5):1-9.
- [10] Blom C W P M, Voesenek L A C J. Flooding: the survival strategies of plants[J]. Trends in Ecology & Evolution, 1996, 11(7): 290-295.
- [11] 王正文,邢福,祝廷成,等.松嫩平原羊草草地植物群落组成及多样性特征对水淹干扰的响应[J].植物生态学报,2002,26(6):708-716.
- [12] Lomolino M V. Elevation gradients of species - density: historical and prospective views[J]. Global Ecology and Biogeography, 2001, 10(1): 3-13.
- [13] 马克平,黄建辉,于顺利,等.北京东灵山地区植物群落多样性的研究Ⅱ 丰富度、均匀度和物种多样性指数[J].生态学报,1995,



- 15(3): 268-277.
- [14] 卢爱英, 张先平, 王世裕, 等. 干扰对云顶山亚高山草甸群落物种多样性的影响[J]. 植物研究, 2011, 31(1): 73-78.
- [15] 常 杰, 葛 滢. 生态学[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2011.
- [16] 王晓荣, 程瑞梅, 肖文发, 等. 三峡库区消落带水淹初期主要优势草本植物生态位变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(3): 404-411.
- [17] 陈忠礼, 袁兴中, 刘 红, 等. 水位变动下三峡库区消落带植物群落特征[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(6): 672-677.
- [18] 张志永, 程郁春, 程 丽, 等. 三峡库区万州段消落带植被及土壤理化特征分析[J]. 水生态学杂志, 2016, 37(2): 24-33.
- [19] 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, 1977: 386.
- [20] 童笑笑, 陈春娣, 吴胜军, 等. 三峡库区澎溪河消落带植物群落分布格局及生境影响[J]. 生态学报, 2018, 38(2): 571-580.
- [21] Meera A O, Kartik S. Elevational species richness patterns emerge from multiple local mechanisms in himalayan woody plants[J]. Ecology, 2005, 86(11): 3039-3047.
- [22] Ives A R, Carpenter S R. Stability and diversity of ecosystems[J]. Science, 2007, 317(5834): 58-62.
- [23] 段敏杰, 高清竹, 郭亚奇, 等. 藏北高寒草地植物群落物种多样性沿海拔梯度的分布格局[J]. 草业科学, 2011, 28(10): 1845-1850.
- [24] 齐代华, 贺 丽, 周 旭, 等. 三峡水库消落带植物物种组成及群落物种多样性研究[J]. 草地学报, 2014, 22(5): 966-970.
- [25] 郝占庆, 于德永, 杨晓明, 等. 长白山北坡植物群落 $\alpha$ 多样性及其随海拔梯度的变化[J]. 应用生态学报, 2002, 13(7): 785-789.
- [26] 郭 燕, 肖文发, 程瑞梅, 等. 三峡水库消落带现存植物自然分布特征与群落物种多样性研究[J]. 生态学报, 2019, 39(12): 4255-4265.
- [27] 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[J]. 湖泊科学, 2012, 24(2): 206-212.
- [28] Touchette B W, Iannacone L R, Turner G, *et al.* Ecophysiological responses of five emergent-wetland plants to diminished water supply: an experimental microcosm study[J]. Aquatic Ecology, 2010, 44(1): 101-112.
- [29] 孙 荣, 陈忠礼, 张跃伟, 等. 三峡水库消落带植物群落组成及物种多样性[J]. 生态学杂志, 2011, 30(2): 208-214.
- [30] 刘维擘, 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[J]. 生态学报, 2012, 32(17): 5454-5466.
- [31] Wang G H, Zhou G S, Yang L M, *et al.* Distribution, species diversity and life-form spectra of plant communities along an altitudinal gradient in the northern slopes of Qilianshan Mountains, Gansu, China[J]. Plant Ecology, 2003, 165(2): 169-181.
- [32] 王国宏. 祁连山北坡中段植物群落多样性的垂直分布格局[J]. 生物多样性, 2002, 10(1): 7-14.

## Herb Species Diversity in the Water-level-fluctuation Zone in Zigui Section of Three Gorges Reservoir Area

SUN Peng-fei<sup>1</sup>, SHEN Ya-fei<sup>1,2</sup>, WANG Li-jun<sup>1</sup>, YANG Shao<sup>1</sup>,  
GUO Yan<sup>1</sup>, XIAO Wen-fa<sup>1,2</sup>, CHENG Rui-mei<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Forest Ecology and Environment, National Forestry and Grassland Administration, Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

**Abstract:** [Objective] To study the spatial pattern and gradient variation of herb species, and then to understand the ecological adaptability of plants, so as to provide data for further understanding and maintaining the biodiversity in water-level-fluctuation zone. [Method] Based on survey of water-level-fluctuation site of Zigui Section of the Three Gorges Reservoir Area, the composition and plant community diversity of herbaceous species and their spatial pattern and gradient variation were investigated continuously from 2014 to 2019 on the transect with elevation 145-175 m above sea-level. [Result] The results showed that there were 39 herb species in total in 2014, belonging to 27 genera of 15 families. Gramineae, Compositae, Polygonaceae and Euphorbiaceae were the dominant families. There were 47 herb species belonging to 39 genera of 18 families in the water-level-fluctuation zone in 2019. The top dominant family was Compositae, followed by Gramineae, Euphorbiaceae, and Polygonaceae. The dominant species such as *Digitaria sanguinalis*, *Setaria viridis*, *Echinochloa crusgalli*, *Xanthium sibiricum*, *Bidens pilosa*, *Cynodon dactylon*, *Cyperus rotundus* were of high importance value over the five years. In addition, there was an obvious variation in species richness, community diversity, evenness and dominance along the distance gradient. The richness of community species followed a up-down trend on the elevation from 145 to 175 m above sea-level. [Conclusion] The results of study suggests that the variation of herb species diversity in the study area is originated from the habitat difference induced by the difference in the flooding time caused by different elevation.

**Keywords:** water-level- fluctuation zone; vegetation; importance value; species diversity; life type