

DOI: 10.5846/stxb201404240818

朱妮妮, 郭泉水, 秦爱丽, 裴顺祥, 马凡强, 朱 莉, 简尊吉. 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. 生态学报, 2015, 35(23):

Zhu N N, Guo Q S, Qin A L, Pei S X, Ma F Q, Zhu L, Jian Z J. Plant community dynamics in the Hydro-fluctuation Belt of the Three Gorges Reservoir at the Zigui and Wushan Section, East of Fengjie County, China. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(23):

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

朱妮妮¹, 郭泉水^{1,*}, 秦爱丽¹, 裴顺祥², 马凡强¹, 朱 莉^{1,3}, 简尊吉¹

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

2 中国林业科学研究院华北林业实验中心, 北京 102300

3 河南科技大学农学院, 洛阳 471003

摘要: 基于 2008—2012 年对三峡水库奉节以东秭归和巫山段消落带固定样地不同海拔区段植物群落的 5 年定位监测, 研究消落带植物群落的物种组成、优势植物、植物生活型和物种多样性的动态变化, 结果表明: 1) 截止 2012 年, 消落带海拔 156—172 m 区段共经历了 4 次水库水位涨落。经历首次后 (2009 年), 消落带原生植物由 55 科 147 种减少到 18 科 33 种, 经历 4 次后 (2012 年), 减少到 14 科 39 种。与经历水库水位涨落前 (2008 年) 比较, 经历首次后的科数减少了 67.3%, 种数减少了 77.6%; 经历 4 次后的科数减少了 74.5%, 种数减少了 73.5%。在消落带原生植物减少的同时, 出现了许多“新”植物。经历首次后出现了 49 种, 经历 4 次后出现了 23 种, 分别占调查当年样地植物种类总数的 59.8% 和 32.9%。海拔 172—175 m 区段共经历了 2 次水库水位涨落, 消落带原生植物由 40 科 91 种 (2008 年) 减少到了 13 科 20 种。与经历水库水位涨落前比较, 科数减少了 67.5%, 种数减少了 78.0%。出现“新”植物 21 种, 约占调查当年样地植物种类总数的 44.7%。通过对历次调查中消落带植物“消失”和“出现”的数量比较表明, 消落带植物对经历首次水库水位涨落的反应最为敏感, 此后, 虽又经历过几次水库水位涨落, 但其变化速率趋于减小。2) 不同海拔区段、不同生态适应型植物的“消长”动态和优势种组成不完全相同。海拔 156—172 m 区段, 经历 4 次水库水位涨落后, 在消落带植物群落中占优势的草本植物种为菊科 (Compositae) 的鬼针草 (*Bidens pilosa*)、禾本科 (Gramineae) 的狗牙根 (*Cynodon dactylon*)、毛马唐 (*Digitaria chrysoblephara*)、狗尾草 (*Setaria viridis*)、莎草科 (Cyperaceae) 的碎米莎草 (*Cyperus iria*), 占优势的灌木树种为漆树科 (Anacardiaceae) 的盐肤木 (*Rhus chinensis*) 和大戟科 (Euphorbiaceae) 的算盘子 *Glochidion puberum*; 在海拔 172—175 m 区段, 除鬼针草、毛马唐、湖北算盘子仍为优势种外, 还增加了马鞭草科 (Verbenaceae) 的黄荆 (*Vitex negundo*), 葡萄科 (Vitaceae) 的五叶地锦 (*Parthenocissus quinquefolia*) 等灌木树种。3) 消落带植物群落的优势生活型为一年生和多年生草本, 物种多样性随着水库水位涨落次数的增加总体变化呈减少趋势。4) 三峡水库水位周期性涨落导致消落带发生水陆环境交替变化, 不同生态适应型植物对变化生境的适应能力有所不同, 是消落带植物群落发生变化的主要驱动因素。

关键词: 群落动态; 植物生活型; 物种多样性; 三峡水库; 消落带

Plant community dynamics in the Hydro-fluctuation Belt of the Three Gorges Reservoir at the Zigui and Wushan Section, East of Fengjie County, China

ZHU Nini¹, GUO Quanshui^{1,*}, QIN Aili¹, PEI Shunxiang², MA Fanqiang¹, ZHU Li^{1,3}, JIAN Zunji¹

1 Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry Key Laboratory of Forest Ecology and Environment of State Forestry Administration, Beijing 100091, China

基金项目: 十二五林业科技支撑计划项目 (2011BAD38B04)

收稿日期: 2014-04-24; 网络出版日期: 2015- -

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: guoqs@caf.ac.cn

2 Experimental Centre of Forestry in North China, Chinese Academy of Forestry, Beijing 102300, China

3 College of Agriculture, Henan University of Science and Technology, Henan Luoyang 471003, China

Abstract: The plant community growing in the hydro-fluctuation belt is an important component of reservoir management, playing a significant role in the maintenance of riparian ecosystems and ecological functioning. Obtaining timely and accurate data on plant community dynamics could provide theoretical and practical information for vegetation restoration and reconstruction in the Three Gorges Reservoir. This study collected data over 5 years (2008—2012) for the plant community from four permanent monitoring plots at different elevations in Zigui and Wushan section of the Three Gorges Reservoir (East of Fengjie County). The dynamic characteristics, plant community composition, dominant plants, plant life forms, and species diversity were studied. The results indicated that compared to 2008, the elevation from 156 to 172 m was subject to water level fluctuation on one occasion by 2009 and four occasions by 2012. The number of native plants declined from 147 species in 2008 (belonging to 55 families) to 33 species (belonging to 18 families) by 2009; the rate of reduction for families and species was 67.3% and 77.6%, respectively. The number of native plants declined to 39 species (14 families) by 2012, with the rate of reduction for families and species being 74.5% and 73.5%, respectively. However, 49 (by 2009) and 23 (by 2012) “new” species appeared during the study period, raising the total number of species by 59.8% and 32.9%, respectively, in certain sampled plots. The elevation from 172 to 175 m was subject to water level fluctuations on two occasions by 2012. The number of native plants declined from 91 species (40 families) to 20 species (13 families). The rate of reduction was 67.5% and 78.0%, respectively. However, 21 “new” species accounted for about 44.7% of all sampled plant species. Based on the comparison of several survey results on the number of “disappeared” and “appeared” plant species, the results indicated that the most sensitive response of the plant community was to the first water level fluctuation. Subsequently, even though the plant community was subject to several water level fluctuations, the rate of change declined. The “growth” dynamics of ecologically adapted plants and the composition of dominant species differed at different altitudes. At an altitude of 156—172 m, the dominant herbaceous species were *Bidens pilosa* (Asteraceae), *Cynodon dactylon* (Poaceae), *Digitaria chrysoblephara* (Poaceae), *Setaria viridis* (Poaceae), and *Cyperus iria* (Cyperaceae). The dominant shrub species were *Rhus chinensis* (Anacardiaceae) and *Glochidion puberum* (Euphorbiaceae). At an altitude of 172 - 175 m, *Vitex negundo* (verbenaceae) and *Parthenocissus quinquefolia* (Vitaceae) became dominant shrub species, except for *Bidens pilosa*, *Digitaria chrysoblephara*, and *Parthenocissus quinquefolia*. Annual and perennial herbs were the dominant plant life-form in the hydro-fluctuation belt. Species diversity decreased as the number of water level fluctuations increased. Periodic fluctuation in the water level of the Three Gorges Reservoir led to flooding-drying habitat alterations. The adaptability of different ecological plants to changing habitats was the main driving factor of plant community change.

Key Words: Plant community dynamics; Plant life form; Species diversity; The Three Gorges Reservoir; Water-level fluctuation belt

三峡库区消落带相对高差 30 m, 总面积 348.93 km², 是目前我国相对高差和面积最大的水库消落带。受水库水位周期性涨落的影响, 现已成为库区生态系统中物质转化、能量流动、信息传输与转换等最为活跃且最不稳定的生态脆弱带^[1]。消落带植物群落是消落带生态系统的重要组成部分, 在维护消落带生态系统稳定和生态功能发挥等方面起着重要作用, 也是水库管理的重要对象^[2-3]。及时准确掌握消落带植物群落动态, 对于深入了解三峡水库消落带生态环境的变化以及消落带植被恢复和重建都具有重要的理论和实践意义。

植物群落的物种组成和结构变化是植物群落演变的具体表现特征^[4]。近年来, 许多学者围绕三峡库区消落带植物群落的整体结构(如种类组成、物种丰富度或多样性、优势植物种群结构等)的变化和群落演替开展了广泛的调查和研究。熊平生等^[5]、王勇等^[6]和白宝伟^[7]等基于植物群落演替理论和三峡自然消落带

的植被分析,对消落带植物群落动态进行了推测;卢志军等^[8]通过固定样方调查,对被水淹过的海拔 156 m 以下区段和当年未被水淹区段的植物种类组成、物种多样性和草本层生物量进行过比较;胡波等^[1-2, 9-10]采用“空间推时间”的方法,对消落带植物群落的演替趋势进行了预测;郭泉水等^[3]通过固定样地调查,研究了三峡库区消落带陆生植被首次经历水陆生境变化的响应。研究结论一致表明:受三峡水库水位涨落的影响,消落带植物的生存条件发生了巨大改变;消落带植物群落的正常发育和演替过程已受到严重干扰;不同植物因适应水陆交替变化生境的能力不同,其“消长”动态表现各异。这些研究提供了许多关于消落带植物群落动态变化的信息,对于深入揭示消落带动态变化规律具有一定的理论参考价值,不足之处在于:(1)以往研究大多集中在水库蓄水位达到海拔 175 m 之前,而对达到海拔 175 m 以后植物群落的调查研究较少。三峡水库正常运行的水位在海拔 145—175 m,因此,其研究结果大多反映的是消落带局部地段植物群落的变化。(2)大多数研究采用的是“一次性调查”或“空间推时间”的方法,对于经历多次水库水位涨落持续干扰下消落带植物群落动态变化的定位研究还很少涉足,特别是缺乏对三峡库区奉节以东地区消落带植物群落动态的持续监测和研究。经历水库水位涨落后,在消落带上出现的大多是森林群落次生演替早期的先锋植物^[3],这些植物种的“消长”波动性很大。“一次性调查”或以此调查为基础采用“空间推时间”的方法,对消落带植物群落动态变化趋势预测的结果必然会存在较大的不确定性。三峡库区的地势东部高,西南部低。奉节位于库区东部和西南部的分界处。奉节以东库岸以中山山地为主^[11],为峡谷地貌。消落带的坡度大,水土流失严重,为三峡库区滑坡、崩塌等地质灾害多发区。地形是区域生态环境的一个重要因子。地形不同,气候、土壤、植被等资源及其分布以及人类对资源的利用方式和程度都会有所不同^[11]。生物多样性是环境的产物。受不同生态环境因子及其生态过程的综合影响,消落带植物群落的组成、结构及其变化过程都会有所不同^[12-14]。而目前尚未见针对三峡水库奉节以东峡谷地貌区消落带植物群落动态的研究报道。

本文以 2008 年在三峡水库奉节以东巫山和秭归段典型消落带上设置的 4 块固定监测样地为依托,在获得经历水库水位涨落前消落带植物群落物种组成和结构等初始资料的基础上,区分海拔 156—172 m 和 172—175 m 区段,对消落带植物群落的种类组成及不同植物的“消长”动态、植物生活型和物种多样性的变化进行了为期 5 年的定位监测,旨在通过对多年定位观测结果的比较和分析,揭示三峡水库奉节以东地区消落带植物群落在水库水位涨落持续干扰下的动态变化规律和发展趋势,为全面评估三峡水库运行对消落带植物群落的影响以及消落带植被恢复和重建中的物种选择提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于三峡水库奉节以东干流的秭归段和巫山段。其典型的地理特征是:水库干流两侧山体的海拔多在 1 200 m 左右。山势陡峭,长江“三峡”中著名的西陵峡和巫峡两个最大的峡即位于此。消落带的坡度一般在 25°以上;2/3 区段的基岩为石灰岩,只有秭归段部分地段分布着花岗岩。研究区的地形和地质条件在三峡水库奉节以东峡谷地貌区具有一定的代表性。

固定样地设在秭归县茅坪镇和巫山县巫峡镇消落带内。两地气候类型一致,均属中亚热带湿润季风气候。其中,秭归县茅坪镇的年均温 18 ℃,年均降雨量 1 049.3 mm,≥10 ℃年活动积温 5 723.6 ℃,全年无霜期 305 d;巫山县巫峡镇年均温 18.4 ℃,年均降雨量 1 100 mm,≥10 ℃年活动积温 5 857.3 ℃,全年无霜期 306 d。地带性植被类型也一致,均为亚热带常绿阔叶林。但由于人类的长期干扰,在水库蓄水前消落带的地带性植被已被全部破坏,取而代之的是人类干预下的各种次生植被和人工植被。为了较全面反映研究区的植被特征,固定样地从在研究区有一定代表性的次生植被和人工植被中选择。各样地经历水库水位涨落前的自然概况见表 1。

消落带水陆交替变化与水库水位涨落同步。不同年份水库水位涨落变化有所不同。2008 年冬季水库最高蓄水位首次达到海拔 172 m,此前,最高蓄水位为海拔 156 m。2009 年与 2008 年相同。2010 年冬季水库最

高蓄水位上升至海拔 175 m,此后,其最高水位一直维持在该海拔高度上运行。截止 2012 年 8 月,海拔 156—172 m 区段共经历了 4 次水库水位涨落,海拔 172—175 m 区段共经历了 2 次。研究时段内不同年份的水库水位变化见图 1^[15]。

表 1 样地的自然概况

Table 1 Natural conditions of the sample plot

样地 Plot	地理坐标 Geographic coordinates	坡向 Aspect	坡度 Slope (°)	海拔 Elevation (m)	植被类型 Vegetation type	郁闭度 Crown density	林龄 Stand age (a)	土层厚度 Soil layer thickness (cm)	土壤类型 Soil type
秭归 1 号 Zigui, No1	N30°52.941' E110°54.353'	WS 27°	28	156—175	人工板栗林	0.6	10	35	黄壤土
秭归 2 号 Zigui, No2	N30°53.047' E110°53.191'	WN 16°	36	156—175	人工马尾松林	0.5	20	40	黄壤土
巫山 3 号 Wushan No3	N31°04.943' E109°54.131'	WS 16°	32	156—175	次生灌草丛	0.3	/	40	黄色石灰土
巫山 4 号 Wushan No4	N31°03.555' E109°54.647'	WN 25°	41	156—175	天然灌木林	0.5	30	35	黄色石灰土

※注:2008 年秭归 1 号和 2 号样地的板栗和马尾松被砍伐。

1.2 样地设置和调查

固定样地设置于 2008 年 8 月。在巫山和秭归消落带内各设置 2 块。巫山的 2 块样地设在水库干流左右两岸,秭归的 2 块样地均设在水库干流的右侧。各样地的宽度和长度的投影距离均为 15 m 和 19 m。宽边设在海拔 156 m(2008 年水库最高蓄水位),上线设在海拔 175 m。样方设置采用相邻格子法。样方大小因调查对象而异。乔木幼苗幼树和灌木样方为 2 m × 2 m,草本为 1 m × 1 m。调查内容包括:植物种类,不同植物的植株数量、平均高度、盖度和植物生活型。其中,丛生草本和灌木植株数量调查的方法是:以地面以上是否为单株存在为判别标准,至于其地面以下植株与植株之间或不同植株的根系之间是否连接不予考虑。

固定样地设置后,沿样地 4 边,每隔投影距离 5 m,埋 1 根水泥桩,并在顶端涂上红漆,以做长期观测的永久标记。调查时间分别为 2008 年 8 月、2009 年 8 月、2012 年 8 月。2008 年 8 月首次调查,获取海拔 156—175 m 区段经历水库水位涨落前消落带植物群落的初始资料,2009 年 8 月和 2012 年 8 月对经历首次和 4 次水库水位涨落后植物群落的动态进行了两次监测调查。

1.3 数据处理与分析

由于消落带海拔 156—172 m 区段和海拔 172—175 m 区段经历的水库水位涨落次数不同,为此,在资料整理时,将两个海拔区段作为两个独立的统计单元进行处理。

统计指标包括:不同植物在不同调查年份的生命表征、植物生活型组成、重要值、群落的物种丰富度、Shannon-Weiner 指数、Simpson 指数、Pielou 均匀度指数。其中,消落带植物生活型划分参考《中国植被》^[16]的生活型分类系统,共区分出乔木、灌木、多年生草本、一年生草本等 4 种生活型。植物重要值、物种丰富度及多样性指数参考有关文献^[17-18]提供的计算公式计算。

数据整理、计算和制图均采用 Excel 7.0 和 Origin 9 软件完成。

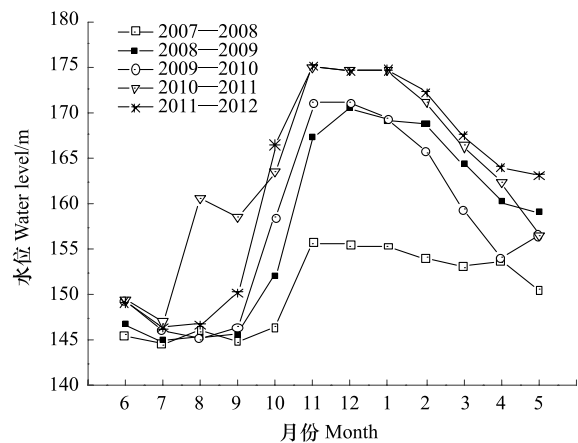


图 1 三峡水库水位变化(2007—2012)

Fig. 1 Water-level fluctuation of the Three Gorges Reservoir (2007—2012)

2 结果与分析

2.1 消落带植物群落种类组成及其动态变化

2.1.1 消落带植物群落不同植物的“消长”变化

区分海拔 156—172 m 和 172—175 m 两个区段,按不同调查年份,对 4 块固定样地中的不同植物在样地中出现和“消失”的调查记录分别统计,结果见表 2。

表 2 2008—2012 年三峡水库消落带植物的消长动态

Table 2 Plant community "growth" dynamics in Hydro-fluctuation Belt of the Three Gorges Reservoir (2008—2012)

科名 Family	种名 Species	156—172 m			172—175 m		
		2008	2009	2012	2008	2009	2012
		出现(+)未出现(-)appear(+)disappear(-)					
铁线蕨科 Adiantaceae	铁线蕨 <i>Adiantum capillus-veneris</i>	—	—	○	—	—	○
海金沙科 Lygodiaceae	海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	+	+	+	+	+	—
凤尾蕨科 Pteridaceae	凤尾蕨 <i>Pteris cretica var.intermedia</i>	—	—	—	—	—	○
	蜈蚣草 <i>Pteris vittata</i>	+	—	—	—	—	—
卷柏科 Selaginellaceae	伏地卷柏 <i>Selaginella nipponica</i>	+	—	—	+	+	—
金星蕨科 Thelypteridaceae	渐尖毛蕨 <i>Cyclosorus acuminatus</i>	+	—	—	+	—	—
杉科 Taxodiaceae	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	+	—	—	+	—	—
爵床科 Acanthaceae	爵床 <i>Rostellularia procumbens</i>	+	—	—	—	—	—
猕猴桃科 Actinidiaceae	中华猕猴桃 <i>Actinidia chinensis</i>	+	—	—	+	—	—
番杏科 Aizoaceae	粟米草 <i>Mollugo stricta</i>	—	△	—	—	—	—
苋科 Amaranthaceae	喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	—	△	—	—	—	—
	皱果苋 <i>Amaranthus Viridis</i>	—	△	—	—	—	—
	青葙 <i>Celosia argentea</i>	—	△	—	—	—	—
漆树科 Anacardiaceae	黄桫 <i>Cotinus coggygria</i>	+	—	—	+	+	—
	盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	+	+	+	+	+	+
	野漆树 <i>Toxicodendron succedaneum</i>	+	—	—	—	—	—
	木蜡树 <i>Toxicodendron sylvestre</i>	+	—	—	—	—	—
冬青科 Aquifoliaceae	枸骨 <i>Ilex cornuta</i>	+	—	—	+	+	—
五加科 Araliaceae	楸木 <i>Aralia chinensis</i>	+	—	—	+	—	—
菊科 Asteraceae	野茼蒿 <i>Artemisia annua</i>	+	+	+	+	+	+
	青蒿 <i>Artemisia apiacea</i>	+	+	+	—	△	+
	艾草 <i>Artemisia argyi</i>	—	—	—	—	△	—
	茵陈蒿 <i>Artemisia capillaries</i>	—	—	○	—	—	—
	矮蒿 <i>Artemisia lancea</i>	+	—	+	—	—	○
	五月艾 <i>Artemisia indica</i>	+	—	—	+	—	—
	黄蒿 <i>Artemisia sphaerocephala</i>	—	—	○	—	—	○
	三基脉紫菀 <i>Aster ageratoides</i>	+	—	—	—	—	—
	钻叶紫菀 <i>Aster subulatus</i>	+	—	—	—	—	—
	鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	+	—	+	—	—	○
	狼把草 <i>Bidens tripartite</i>	+	+	+	—	△	—
	天名精 <i>Carpesium abrotanoides</i>	+	—	+	—	—	○
	烟管头草 <i>Carpesium cernuum</i>	+	—	+	—	—	—
	香丝草 <i>Conyza bonariensis</i>	—	△	—	—	△	—
	小蓬草 <i>Conyza canadensis</i>	+	—	—	+	—	—
	苏门白酒草 <i>Conyza sumatrensis</i>	+	—	—	+	—	—
	野菊 <i>Dendranthema indicum</i>	+	+	+	+	+	+
		旱莲草 <i>Eclipta prostrate</i>	+	+	+	—	△

续表

科名 Family	种名 Species	156—172 m			172—175 m		
		2008	2009	2012	2008	2009	2012
		出现(+) 未出现(-) appear(+) disappear(-)					
秋海棠科 Begoniaceae	一点红 <i>Emilia sonchifolia</i>	—	△	—	+	—	—
	飞蓬 <i>Erigeron acer</i>	—	—	○	—	—	○
	一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>	—	—	○	—	△	—
	华泽兰 <i>Eupatorium chinense</i>	—	△	—	—	—	—
	林泽兰 <i>Eupatorium lindleyanum</i>	+	—	+	—	—	—
	鼠麴草 <i>Gnaphalium affine</i>	—	△	—	—	—	—
	匙叶鼠麴草 <i>Gnaphalium pensylvanicum</i>	—	△	+	—	△	—
	泥胡菜 <i>Hemistepta lyrata</i>	—	△	+	—	—	—
	苦蕒菜 <i>Ixeris denticulate</i>	+	—	+	—	—	—
	抑茎苦蕒菜 <i>Ixeris sonchifolia</i>	—	△	—	—	△	—
	裂叶马兰 <i>Kalimeris incise</i>	—	△	—	—	△	—
	马兰 <i>Kalimeris indica</i>	+	—	+	+	+	+
	莴苣 <i>Lactuca sativa</i>	—	—	○	—	—	—
	台湾翅果菊 <i>Pterocypsela formosana</i>	+	—	—	—	△	—
	千里光 <i>Senecio scandens</i>	—	△	—	—	—	—
	豨薟 <i>Siegesbeckia orientalis</i>	—	△	—	—	—	—
	苣荬菜 <i>Sonchus arvensis</i>	—	△	—	—	—	—
	苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>	+	—	+	—	—	—
	苍耳 <i>Xanthium sibiricum</i>	—	—	○	—	—	○
	黄鹌菜 <i>Yoingia japonica</i>	+	—	+	—	—	—
	紫背天葵 <i>Begonia fimbriatipila</i>	—	—	○	—	—	○
紫草科 Boraginaceae	柔弱斑种草 <i>Bothriospermum zeylanicum</i>	—	△	—	—	△	—
	倒提壶	—	△	—	—	—	—
	<i>Cynoglossum amabile</i> var. <i>amabile</i>	—	△	—	—	—	—
醉鱼草科 Buddlejaceae	粗糠树 <i>Ehretia macrophylla</i>	+	—	—	—	—	—
	醉鱼草 <i>Buddleja lindleyana</i>	—	△	—	—	—	—
忍冬科 Caprifoliaceae	糯米条 <i>Abelia chinensis</i>	+	+	—	+	+	—
	短尖忍冬 <i>Lonicera mucronata</i>	+	—	—	+	—	—
	烟管苘蓼 <i>Viburnum utile</i>	+	—	—	—	—	—
卫矛科 Celastraceae	刺茶美登木 <i>Moutenous variabilis</i>	+	—	—	+	+	—
旋花科 Convolvulaceae	打碗花 <i>Calystegia hederacea</i>	+	+	+	—	—	○
	田旋花 <i>Convolvulus arvensis</i>	—	△	—	—	—	—
	马蹄金 <i>Dichondra repens</i>	—	—	○	—	—	—
马桑科 Coriariaceae	马桑 <i>Coriaria nepalensis</i>	+	+	+	+	—	+
葫芦科 Cucurbitaceae	南瓜 <i>Cucurbita moschata</i>	—	—	—	—	—	○
莎草科 Cyperaceae	丝叶薹草 <i>Carex capilliformis</i>	—	—	—	—	△	—
	绿穗薹草 <i>Carex diluta</i>	+	—	—	—	—	—
	大理薹草 <i>Carex taliensis</i>	+	—	—	+	—	—
	十字薹草 <i>Carex cruciata</i>	+	—	—	+	—	—
	鹤果薹草 <i>Carex brunnea</i>	+	—	—	+	+	—
	披针薹草 <i>Carex lancifolia</i>	—	△	—	—	△	—
	舌叶薹草 <i>Carex ligulata</i>	—	△	—	—	△	—
	碎米莎草 <i>Cyperus iria</i>	+	+	+	—	△	+
	具芒碎米莎草 <i>Cyperus microiria</i>	+	—	—	—	—	—
	香附子 <i>Cyperus rotundus</i>	—	△	—	—	△	—

续表

		156—172 m			172—175 m		
科名 Family	种名 Species	2008	2009	2012	2008	2009	2012
		出现(+) 未出现(-) appear(+) disappear(-)					
薯蓣科 Dioscoreaceae	丛生羊胡子草 <i>Eriophorum comosum</i>	+	—	—	—	—	—
	黑鳞珍珠茅 <i>Scleria hookeriana</i>	+	—	—	+	—	—
	黄药子 <i>Dioscorea bulbifera</i>	+	—	—	—	—	—
	盾叶薯蓣 <i>Dioscorea zingiberensis</i>	+	—	—	—	△	—
柿树科 Ebenaceae	君迁子 <i>Diospyros lotus</i>	+	+	—	—	—	—
杜鹃花科 Ericaceae	杜鹃 <i>Rhododendron simsii</i>	+	—	—	+	+	—
大戟科 Euphorbiaceae	江南越桔 <i>Vaccinium mandarinorum</i>	—	△	—	—	—	—
	铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>	+	+	+	+	+	—
	假爹包叶 <i>Discoleidion rufescens</i>	+	+	—	—	—	—
	飞杨草 <i>Euphorbia hirta</i>	—	△	+	—	—	○
壳斗科 Fagaceae	大戟 <i>Euphorbia pekinensis</i>	—	—	○	—	—	—
	算盘子 <i>Glochidion puberum</i>	+	—	+	+	—	+
	湖北算盘子 <i>Glochidion wilsonii</i>	—	△	+	—	△	+
	白背叶 <i>Mallotus apelta</i>	+	—	—	+	—	—
	叶下珠 <i>Phyllanthus urinaria</i>	+	—	+	+	+	—
	乌桕 <i>Sapium sebiferum</i>	+	+	+	+	+	+
	油桐 <i>Vernicia fordii</i>	+	—	—	—	—	—
	板栗 <i>Castanea mollissima</i>	+	—	—	+	—	—
	麻栎 <i>Quercus acutissima</i>	+	—	—	—	△	—
	栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	+	—	—	+	—	—
	柞木 <i>Xylosma congestum</i>	—	—	—	—	△	—
	刺冬青 <i>Xylosma japonicum</i>	+	—	—	—	—	—
藤黄科 Guttiferae	地耳草 <i>Hypericum japonicum</i>	—	—	—	—	△	—
金缕梅科 Hamamelidaceae	金丝桃 <i>Hypericum monogynum</i>	+	—	+	+	—	+
	榿木 <i>Loropetalum chinense</i>	+	—	—	+	+	—
胡桃科 Juglandaceae	化香树 <i>Platycarya strobilacea</i>	+	—	—	+	+	—
唇形科 Labiatae	枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i>	—	—	○	—	—	—
	紫苏 <i>Perilla frutescens</i>	+	—	—	—	—	—
	岩藿香 <i>Scutellaria franchetiana</i>	—	△	+	—	△	—
木通科 Lardizabalaceae	三叶木通 <i>Akebia trifoliata</i>	+	—	—	+	—	—
樟科 Lauraceae	香叶树 <i>Lindera communis</i>	+	—	—	+	—	—
豆科 Leguminosae	山胡椒 <i>Lindera glauca</i>	+	—	—	+	—	—
	毛木姜子 <i>Litsea mollis</i>	+	—	—	+	—	—
	马鞍羊蹄甲 <i>Bauhinia faberi</i> Oliv.	—	—	—	+	—	—
	杭子梢 <i>Campylotropis macrocarpa</i>	+	—	—	+	—	—
	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	+	—	—	+	+	+
	肥皂荚 <i>Gymnocladus chinensis</i>	+	—	—	+	—	—
	马棘 <i>Indigofera pseudotinctoria</i>	+	+	+	+	—	—
	长萼鸡眼草 <i>Kummerowia stipulacea</i>	+	—	—	—	—	—
	胡枝子 <i>Leapedeza bicolor</i>	—	—	—	—	△	—
	截叶铁扫帚 <i>Lespedeza cuneata</i>	+	—	—	+	—	+
	中华胡枝子 <i>Lespedeza chinensis</i>	+	—	—	+	—	—
	美丽胡枝子 <i>Lespedeza formosa</i>	+	—	+	+	—	—
	常春油麻藤 <i>Mucuna sempervirens</i>	+	+	—	—	—	—

续表

科名 Family	种名 Species	156—172 m			172—175 m		
		2008	2009	2012	2008	2009	2012
		出现(+) 未出现(-) appear(+) disappear(-)					
狸藻科 Lentibulariaceae	菱叶鹿藿 <i>Rhynchosia dielsii</i>	+	—	—	—	—	—
	鹿藿 <i>Rhynchosia volubilis</i>	+	—	—	—	—	—
	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	+	—	—	+	+	—
	田菁 <i>Sesbania cannabina</i>	—	△	—	—	—	—
	挖耳草 <i>Utricularia bifida</i>	—	△	—	—	△	—
百合科 Liliaceae	野百合 <i>Lilium brownie</i>	+	—	—	—	—	—
锦葵科 Malvaceae	禾叶山麦冬 <i>Liriope graminifolia</i>	+	—	—	—	—	—
	山麦冬 <i>Liriope spicata</i>	—	—	—	+	+	—
	麦冬 <i>Ophiopogon japonicus</i>	+	—	—	—	—	—
	苘麻 <i>Abutilon theophrasti</i>	—	△	—	—	—	—
	木槿 <i>Hibiscus syriacus</i>	+	—	—	—	—	—
楝科 Meliaceae	香椿 <i>Toona sinensis</i>	+	—	—	—	—	○
桑科 Moraceae	构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	+	+	—	+	—	—
紫金牛科 Myrsinaceae	地瓜藤 <i>Ficus Tikoua</i>	+	—	—	+	+	—
	铁仔 <i>Myrsine africana</i>	+	+	—	+	+	—
	木犀科 Oleaceae	探春 <i>Jasminum floridum</i>	+	—	—	+	+
柳叶菜科 Onagraceae	野迎春 <i>Jasminum mesnyi</i>	—	—	○	—	—	—
	女贞 <i>Ligustrum locodum</i>	—	—	—	+	—	—
	小叶女贞 <i>Ligustrum quihoui</i>	+	—	—	—	—	—
	丁香蓼 <i>Ludwigia prostrate</i>	—	△	—	—	—	—
	酢浆草科 Oxalidaceae	酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	+	+	+	+	+
棕榈科 Palmae	棕榈 <i>Trachycarpus fortunei</i>	+	—	—	+	—	—
商陆科 Phytolaccaceae	商陆 <i>Phytolacca acinosa</i>	+	—	+	—	—	○
禾本科 Poaceae	垂序商陆 <i>Phytolacca americana</i>	—	△	—	—	—	—
	荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>	+	+	—	+	+	+
	矛叶荩草 <i>Arthraxon lanceolatus</i>	+	—	—	+	—	—
	毛臂形草 <i>Brachiaria villosa</i>	+	—	—	+	—	—
	硬秆子草 <i>Capillipedium assimile</i>	+	—	—	—	—	—
	细柄草 <i>Capillipedium parviflorum</i>	—	△	—	—	△	—
	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	—	—	○	—	—	—
	毛马唐 <i>Digitaria chrysoblephara</i>	+	+	+	—	△	+
	十字马唐 <i>Digitaria cruciata</i>	—	—	—	+	—	—
	止血马唐 <i>Digitaria ischaemum</i>	—	—	—	—	△	—
	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	—	△	—	—	—	—
	稗 <i>Echinochloa crusgalli</i>	+	—	+	—	—	—
	旱稗 <i>Echinochloa hispidula</i>	—	△	—	—	—	—
	牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	—	△	—	—	—	—
	黄茅 <i>Heteropogon contortus</i>	+	+	+	—	—	○
	白茅 <i>Imperata cylindrical</i>	+	—	—	+	—	+
	虻子草 <i>Leptochloa panicea</i>	—	△	—	—	—	—
	银穗草 <i>Leucopoa albida</i>	—	—	—	+	—	—
	芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	+	—	—	+	—	—
	五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	+	—	—	+	—	—
	求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i>	—	—	—	—	△	—

续表

科名 Family	种名 Species	156—172 m			172—175 m		
		2008	2009	2012	2008	2009	2012
		出现(+) 未出现(-) appear(+) disappear(-)					
远志科 Polygalaceae	雀稗 <i>Paspalum thunbergii</i>	—	△	—	—	△	—
	金丝草 <i>Pogonatherum crinitum</i>	+	—	+	—	—	—
	斑茅 <i>Saccharum arundinaceum</i>	+	—	—	+	+	—
	大狗尾草 <i>Setaria faberii</i>	+	+	—	—	△	—
	西南莠草 <i>Setaria forbesiana</i>	—	—	—	—	△	—
	金色狗尾草 <i>Setaria glauca</i>	+	+	+	—	△	+
	棕叶狗尾草 <i>Setaria palmifolia</i>	+	+	—	+	+	—
	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	+	+	+	+	+	+
	苏丹草 <i>Sorghum sudanense</i>	—	—	○	—	—	—
	西伯利亚远志 <i>Polygala sibirica</i>	+	—	—	—	—	—
蓼科 Polygonaceae	扛板归 <i>Polygonum perfoliatum</i>	—	—	—	—	—	○
	红蓼 <i>Polygonum orientale</i>	—	—	○	—	—	○
	酸模 <i>Rumex acetosa</i>	—	△	+	—	—	—
报春花科 Primulaceae	临时救 <i>Lysimachia congestiflora</i>	+	—	—	—	—	—
	狭叶珍珠菜 <i>Lysimachia pentapetala</i>	+	+	—	—	—	—
毛茛科 Ranunculaceae	天葵 <i>Semioquilegia asoxoides</i>	—	—	○	—	—	—
鼠李科 Rhamnaceae	小冻绿树 <i>Rhamnus arguta</i>	+	—	—	+	—	—
	长叶冻绿 <i>Rhamnus crenata</i>	+	—	—	+	—	—
	刺鼠李 <i>Rhamnus dumetorum</i>	—	—	—	—	△	—
	异叶鼠李 <i>Rhamnus heterophylla</i>	+	—	—	+	—	—
	雀梅藤 <i>Sageretia theezans</i>	+	—	—	+	+	—
蔷薇科 Rosaceae	蛇莓 <i>Duchesnea indica</i>	—	—	—	—	△	—
	全缘火棘 <i>Pyracantha atalantioides</i>	+	—	—	+	—	—
	火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	+	—	—	+	+	—
	小果蔷薇 <i>Rosa cymosa</i>	+	+	—	+	+	—
	软条七蔷薇 <i>Rosa henryi</i>	+	—	—	+	—	—
	金樱子 <i>Rosa laevigata</i>	+	+	—	+	+	+
	野蔷薇 <i>Rosa multiflora</i>	+	—	+	—	—	—
	山莓 <i>Rubus corchorifolius</i>	+	—	+	+	+	—
	插田泡 <i>Rubus coreanus</i>	+	+	—	+	—	—
	白叶莓 <i>Rubus innominatus</i>	+	—	—	+	—	—
	茅莓 <i>Rubus parvifolius</i>	+	—	+	+	—	+
	红毛悬钩子 <i>Rubus wallichianus</i>	—	△	—	—	—	—
	中华绣线菊 <i>Spiraea chinensis</i>	+	—	—	+	+	—
	玉叶金花 <i>Mussaenda pubescens</i>	+	—	—	—	—	—
	鸡矢藤 <i>Paederia scandens</i>	+	—	—	+	—	—
芸香科 Rutaceae	狭叶鸡矢藤 <i>Paederia stenophylla</i>	—	△	—	—	△	—
	裸芸香 <i>Psilopogonum sinensis</i>	—	—	○	—	—	○
	狭叶花椒 <i>Zanthoxylum stenophyllum</i>	+	—	—	+	—	—
无患子科 Sapindaceae	复羽叶栎树 <i>Koelreuteria bipinnata</i>	+	+	—	+	—	+
	无患子 <i>Sapindus mukorossi</i>	—	—	○	—	—	—
玄参科 Scrophulariaceae	通泉草 <i>Mazus fauriei</i>	—	△	—	—	△	—
	沟酸浆 <i>Mimulus tenellus</i>	—	△	—	—	—	—
	白花泡桐 <i>Paulownia fortunei</i>	+	—	—	—	—	—

续表

科名 Family	种名 Species	156—172 m			172—175 m		
		2008	2009	2012	2008	2009	2012
		出现(+) 未出现(-) appear(+) disappear(-)					
菝葜科 Smilacaceae	毛泡桐 <i>Paulownia tomentosa</i>	—	—	—	+	—	+
	细穗腹水草 <i>Veronicastrum stenostachyum</i>	—	—	—	+	—	—
	肖菝葜 <i>Heterosmilax japonica</i>	+	—	—	—	—	—
	菝葜 <i>Smilax china</i>	+	—	—	+	+	—
茄科 Solanaceae	酸浆 <i>Physalis alkekengi</i>	—	—	—	—	—	○
	苦蕒 <i>Physalis angulata</i>	+	+	—	—	—	—
	龙葵 <i>Solanum nigrum</i>	+	—	+	—	—	○
	白英 <i>Solanum lyratum</i>	—	△	+	—	—	—
	少花龙葵 <i>Solanum photeinocarpum</i>	—	△	—	—	△	—
山矾科 Symplocaceae	白檀 <i>Symplocos paniculata</i>	+	—	—	—	△	—
山茶科 Theaceae	茶 <i>Camellia Sinensis</i>	+	—	—	—	△	—
瑞香科 Thymelaeaceae	小黄构 <i>Wikstroemia micrantha</i>	+	—	—	+	—	—
椴树科 Tiliaceae	扁担杆 <i>Grewia henryi</i>	—	—	○	+	—	—
伞形科 Umbelliferae	野胡萝卜 <i>Daucus carota</i>	—	△	—	—	△	—
	窃衣 <i>Torilis scabra</i>	—	—	○	—	—	○
	苎麻 <i>Boehmeria nivea</i>	+	—	+	+	+	+
荨麻科 Urticaceae	水麻 <i>Debregeasia orientalis</i>	—	△	—	—	—	—
	雾水葛 <i>Pouzolzia zeylanica</i>	—	△	—	—	—	—
	荨麻 <i>Urtica fissa</i>	—	—	○	—	—	—
	黄荆 <i>Vitex negundo</i>	—	△	+	+	+	+
葡萄科 Vitaceae	三裂蛇葡萄 <i>Ampelopsis delavayana</i>	+	—	—	—	—	—
	毛三裂蛇葡萄 <i>Ampelopsis delavayana</i> var. <i>Setulosa</i>	+	—	—	—	—	—
	蛇葡萄 <i>Ampelopsis glandulosa</i>	—	—	○	—	—	—
	五叶地锦 <i>Parthenocissus quinquefolia</i>	—	—	○	—	△	+
	葛藟葡萄 <i>Vitis flexuosa</i>	+	—	—	—	—	—
	毛葡萄 <i>Vitis heyneana</i>	+	—	—	—	—	—
	华东葡萄 <i>Vitis Pseudoreticulata</i>	—	△	—	—	—	—

* 表中△表示在 2008 年未出现,2009 年新出现的植物;○表示 2008 年和 2009 年均未出现,仅在 2012 年出现的植物。

从表 2 可概括出 2008—2012 年消落带植物群落种类组成变化的基本特征如下:

1) 原来生长在消落带的大多数植物经历水库水位涨落后消失,同时也有许多“新”植物出现。不同植物的消长过程不同,有些种经历首次水位涨落后即“永久消失”,如棕榈(*Trachycarpus fortunei*)、毛葡萄(*Vitis heyneana*)以及多种乔灌木;有些种在经历首次水库水位涨落后“消失”,但经历多次水位涨落后又有出现,如矮蒿(*Artemisia lancea*)、苎麻(*Boehmeria nivea*)等;也有一些种在样地上始终存在,如野茼蒿(*Artemisia annua*)、野菊(*Dendranthema indicum*)等。不同植物的消长动态,反映了不同生态适应型植物对消落带水陆变化生境响应程度上的差异。

2) 不同调查年份、不同海拔区段消落带植物群落的数量特征随着经历水库水位涨落次数、淹水深度和持续水淹时间长短而变化。经历水库水位涨落前(2008 年 8 月),在海拔 156—172 m 区段共调查到原生植物 55 科 147 种。经历首次水库水位涨落后(2009 年 8 月),减少到 18 科 33 种。经历 4 次水库水位涨落后(2012 年 8 月),减少到 14 科 39 种。与 2008 年比较,2009 年和 2012 年科数分别减少了 67.3%和 74.5%,种数分别减少了 77.6%和 73.5%。对不同调查年份科、种的变化速率的比较发现,消落带植物对首次经历水库水位涨落的

反应最为敏感,而保存下来的植物虽又经历过几次水库水位涨落,但其变化速率趋于减小。如 2009—2012 年这 3 年间,原生植物的科数仅减少了 22.2%,与经历首次水库水位涨落后的变化(减少了 67.3%)明显不同。

在海拔 172—175 m 区段,2008 年 8 月调查到原生植物 40 科 91 种,2009 年 8 月减少到 24 科 37 种,2012 年 8 月减少到 13 科 20 种。与 2008 年比较,2009 年和 2012 年的科数分别减少了 40.0%和 67.5%,种数减少了 59.3%和 78.0%。该区段从 2010 年冬季开始受水库水位涨落影响,截止 2012 年 8 月,仅经历了 2 次水库水位涨落的影响。2008 年 8 月到 2009 年 8 月植物科、种的变化,属自然环境下植物种群的消长过程。将此期间的变化率(40.0%)与经历 2 次水库水位涨落影响下的变化率(67.5%)比较,凸显了水库水位涨落对消落带植物种群的强烈干扰作用。将该区段科数和种数减少的幅度与海拔 156—172 m 区段比较可见,海拔 172—175 m 区段的科数减少的幅度小,而种数减少的幅度相差无几。反映出经历水库水位涨落次数、淹水深度、水淹持续时间等对消落带植物群落不同的影响效应。

3)在海拔 156—172 m 区段,经历首次水库水位涨落后(2009 年 8 月),共记录到 49 种“新”植物,约占调查当年样地植物种类总数的 59.8%;经历 4 次水库水位涨落后(2012 年 8 月),为 23 种,约占调查当年样地上植物种类总数的 32.9%。该结果显示,消落带上“新”植物也是以经历首次水位涨落后出现最多,而随着经历水库水位涨落次数的增加,“新”出现的植物也在逐渐减少。在海拔 172—175 m 区段,出现了 21 种“新”植物,约占调查当年样地上植物种总数的 44.7%。明显小于海拔 156—172 m 区段经历首次水库水位涨落后“新”植物在群落中所占的比例(59.8%)。

2.1.2 消落带的优势植物及其变化

对 2008—2012 年不同调查年份、不同植物的重要重要值分别计算,并提取在此期间某个调查年份植物重要值在 10 以上的植物种类列入表 3。

表 3 2008—2012 年三峡水库消落带优势植物的重要值

Table 3 Important values of dominant plants in Hydro-fluctuation Belt of the Three Gorges Reservoir(Year 2008—2012)

生活型 Life form	科名 Family	种名 Species	海拔 156—172 m Altitude 156—172 m			海拔 172—175 m Altitude 172—175 m		
			2008	2009	2012	2008	2009	2012
草本 Herb/forb	菊科 Asteraceae	青蒿 <i>Artemisia apiacea</i>	0.63	10.43	0.82	—	13.19	0.46
		鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	0.26	—	12.61	—	—	26.84
		香丝草 <i>Conyza bonariensis</i>	—	5.37	—	—	13.14	—
	莎草科 Cyperaceae	鹤果藎草 <i>Carex brunnea</i>	—	—	—	15.31	—	—
		碎米莎草 <i>Cyperus iria</i>	2.24	0.88	10.85	—	2.81	—
	禾本科 Poaceae	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	—	—	11.23	—	—	—
		毛马唐 <i>Digitaria chrysoblephara</i>	0.58	10.16	17.36	—	2.81	10.09
		五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	11.2	—	—	7.02	—	—
		芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	4.08	—	—	14.05	—	—
		斑茅 <i>Saccharum arundinaceum</i>	10.3	—	—	9.10	—	—
灌木 Shurb	鼠李科 Rhamnaceae	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	2.42	5.11	14.35	1.20	2.31	8.97
		盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	7.10	—	12.81	5.01	1.06	—
		枸骨 <i>Ilex cornuta</i>	4.60	11.32	—	5.60	16.30	—
		算盘子 <i>Glochidion puberum</i>	2.22	2.06	44.83	1.80	—	3.85
		湖北算盘子 <i>Glochidion wilsonii</i>	—	2.06	—	—	1.06	37.36
		刺鼠李 <i>Rhamnus dumetorum</i>	—	—	—	—	13.90	—
		火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	0.67	11.17	—	0.57	9.30	—
		黄荆 <i>Vitex negundo</i>	—	21.18	—	—	14.81	19.41
		五叶地锦 <i>Parthenocissus quinquefolia</i>	—	—	4.27	—	—	19.76
		黄栌 <i>Cotinus coggygia</i>	1.96	6.80	—	9.75	40.06	—
乔木 Arbor	大戟科 Euphorbiaceae	乌桕 <i>Sapium sebiferum</i>	6.32	86.66	—	11.04	—	—

续表

生活型 Life form	科名 Family	种名 Species	海拔 156—172 m Altitude 156—172 m			海拔 172—175 m Altitude 172—175 m		
			2008	2009	2012	2008	2009	2012
	壳斗科 Fagaceae	麻栎 <i>Quercus acutissima</i>	—	3.27	—	—	33.79	—
		栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	49.25	—	—	14.80	—	—
	豆科 Leguminosae	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	2.79	—	—	2.72	14.70	—
	棕榈科 Palmae	棕榈 <i>Trachycarpus fortunei</i>	2.12	—	—	11.44	—	—
	山矾科 Symplocaceae	白檀 <i>Symplocos paniculata</i>	1.34	—	—	—	11.45	—
	杉科 Taxodiaceae	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	7.34	—	—	11.57	—	—

从表 3 可以看出,在海拔 156—172 m 区段,经历 4 次水库水位涨落后(2012 年),草本植物的优势种为菊科(Asteraceae)的鬼针草(*Bidens pilosa*)、莎草科(Cyperaceae)的碎米莎草(*Cyperus iria*),禾本科(Poaceae)的狗牙根(*Cynodon dactylon*)、毛马唐(*Digitaria chrysoblephara*)、狗尾草(*Setaria viridis*)。灌木优势种为漆树科(Anacardiaceae)的盐肤木(*Rhus chinensis*)、大戟科(Euphorbiaceae)的算盘子(*Glochidion puberum*),未见乔木优势种。在海拔 172—175 m 区段,除鬼针草和毛马唐以及湖北算盘子仍为优势种外,还增加了马鞭草科(Verbenaceae)的黄荆(*Vitex negundo*),葡萄科(Vitaceae)的五叶地锦(*Parthenocissus quinquefolia*)。与海拔 156—172 m 区段比较,海拔 172—175 m 区段灌木的优势种有所增加。

2.2 消落带植物群落的生活型组成及其变化

2008—2012 年,消落带不同海拔区段植物生活型组成的总体变化趋势是:草本植物在群落中所占比例增加,木本植物所占比例减少(图 2)。海拔 156—172 m 区段,经历首次水库水位涨落后,灌木在群落中所占比例由 2008 年的 38.8%,减少到 18.3%,乔木由 14.3%减少到 6.1%,而一年生草本则由 18.4%增加到 39.0%,多年生草本由 28.6%增加到 36.6%。经历 4 次水库水位涨落影响后(2012 年),灌木在群落中所占比例减少到 20.0%,乔木减少到 5.7%,一年生草本增加到 37.1%,多年生草本增加到 37.1%。海拔 172—175 m 区段经

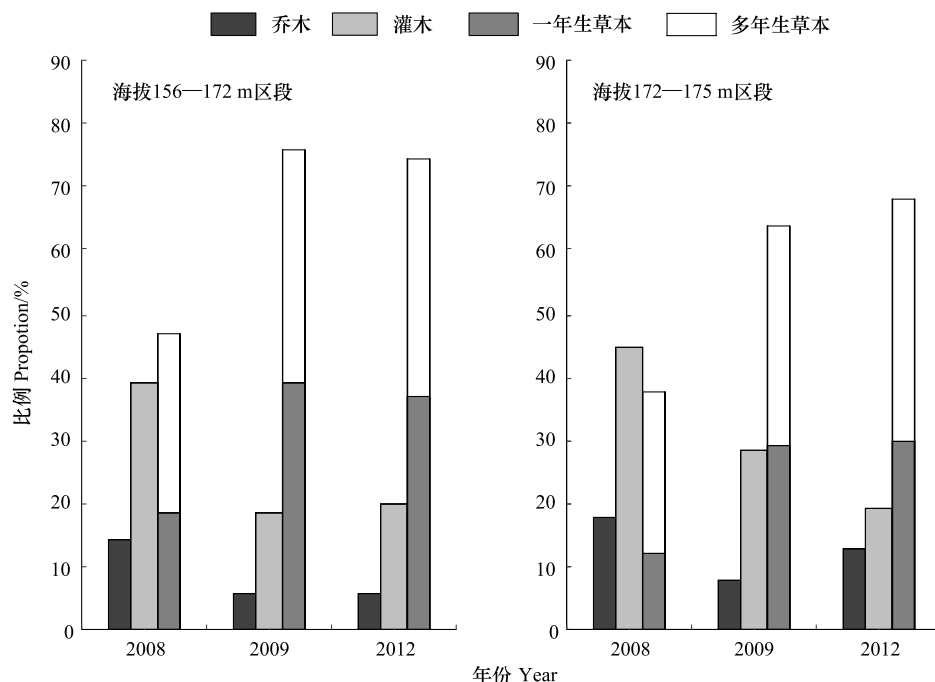


图 2 2008—2012 年三峡水库消落带植物生活型组成的变化

Fig. 2 Changes in the composition of plant life form in Hydro-fluctuation Belt of the Three Gorges Reservoir (2008—2012)

A: 海拔 156—172 m 区段; B: 海拔 172—175 m 区段

历 2 次水库水位涨落后,灌木在群落中所占比例由 2008 年的 45.1%,减少到 19.1%,乔木由 17.6%,减少到 12.8%,一年生草本由 12.1%,增加到 29.8%,多年生草本由 25.3%增加到 38.3%。

2.3 消落带植物群落的物种多样性及其变化

对群落的物种丰富度 R 、Shannon-Weiner 指数 H' 、Simpson 指数 D_s 、Pielou 均匀度指数 J 的计算结果表明(图 3)。

由图 3 可以看出,在 2008—2012 年,海拔 156—172 m 区段草本的 R 、 H' 、 D_s 指数均呈先升后降的变化趋势,均匀度 J 指数为单调下降;灌木的 H' 、 D_s 、 R 和 J 指数均为单调下降。海拔 172—175 m 区段,草本的 H' 、 D_s 指数为单调下降, R 指数为先升后降, J 指数为先降后升。灌木的 H' 、 D_s 、 R 指数为单调下降, J 指数为单调上升;乔木各项测定指标的变化趋势与灌木相同。

从总体变化趋势分析,灌木和乔木的物种多样性指数下降最为明显。海拔 156—172 m 区段和海拔 172—175 m 区段的均匀度指数变化趋势相反;草本植物的物种多样性 H' 、 D_s 、 J 指数变化总体上呈下降趋势;经历首次水库水位涨落后,物种丰富度增加,而经历多次水库水位涨落后又有所下降。

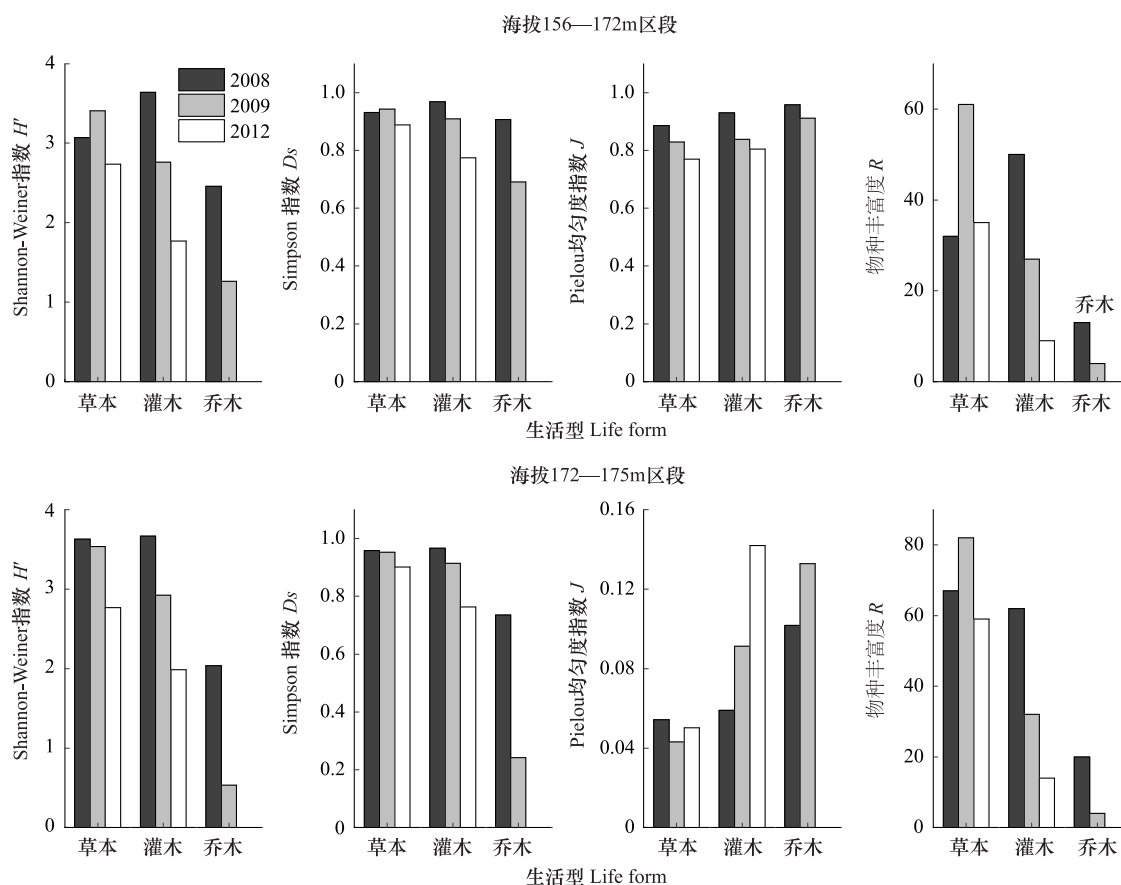


图 3 2008—2012 年三峡水库消落带植被的物种多样性变化

Fig. 3 Changes in species diversity of plant community in Hydro-fluctuation Belt of the Three Gorges Reservoir (2008–2012)

A: 海拔 156—172 m 区段; B: 海拔 172—175 m 区段。1: 草本; 2: 灌木; 3: 乔木

3 结论与讨论

3.1 植物的生态适应性与消落带水陆生境变化

消落带原生植物在经历多次水位涨落后大幅度减少。其中,三峡水库水位变动的时机、持续时间、幅度、频率、变化率改变了消落带的物理环境和资源养分的分布^[9],以及不同生态适应型的植物对变化环境的响应

程度的差异是其发生变化的主要原因^[19]。植物生态适应性是在漫长的历史演变过程中通过不断进化而形成的相对固定的一种特性,并在其结构和生理等方面产生了一系列适应性特化^[20]。水生植物之所以能够适应缺氧环境,其原因在于其根、茎、叶之间已形成了一整套通气系统。也有一些水生植物能够贮存自身呼吸释放的 CO_2 和光合作用释放的 O_2 , 来满足自身光合和呼吸代谢的需要^[21]。而大多数陆生植物缺乏这种组织结构和功能,长期深水淹没下植物死亡的主要原因是体内缺氧而导致的窒息死亡。一般认为,植物对渐变的环境,可以通过自身的形态变异或生理过程调节来增加其与环境的适合度^[22],但这种“变异”和“调节”需经历一个渐变过程,对消落带原生植物而言,首次经历水库水位涨落完全是一种瞬时、偶发的极端环境变化。在这种突变的环境条件下,植物的“变异”和“调节”能力是极为有限的。因此,植物对首次经历水库水位涨落的反应更为强烈。经历水库水位涨落后消落带上出现的“新”植物,并非是植物与环境长期协同进化意义上的“新种”。其中,有些植物种可能来自邻近区域,而更多的可能是在经历水库水位涨落前以种子库的形式在消落带存在的植物种。

经过多次水位涨落后成为消落带优势种的生活史对策大多具有 r 对策种群特征。主要表现是营养生长期相对较短,植物个体较小,初次结实的时间到来较早,能产生大量种子,种子的体形小,可借助风力传播,并迅速占领由于种种原因形成的空旷地^[20]等。同时,与 Baker 提出的理想杂草 (the ideal weed) 特征非常吻合。比如能不连续的发芽(自我控制)且种子能在较长时间内保持生命力;幼苗生长迅速;开花前无性生长期短;只要条件允许则能维持连续的种子生产;能在广泛的环境中结实,对气候和土壤变异具有较强的忍耐性(可塑性常常高),对长距离和短距离传播都有特殊的适应方式;如果是多年生植物,则具有可进行无性繁殖的根茎或根状茎^[23]。毛马唐、狗尾草、鬼针草、碎米莎草等优势种多属于田间和坡地常见的一年生草本。毛马唐自然生长多见于路旁、田野。喜湿、喜光,种子耐受水淹的能力较强;狗尾草多生于林边、山坡、路边和荒芜的园地及荒野,对干燥生境有较强的适应能力;鬼针草多生长在路边荒地、山坡及田间,碎米莎草多生于田间、山坡、路旁阴湿处,为秋熟农田的主要杂草。这些植物都具有生活周期短,能在消落带成陆期获得成熟的种子,且种子细小,容易随风和水体四处扩散。鬼针草的瘦果上还具倒刺毛,能沾钩在动物体表进行种子传播。这些植物的种子都能够以休眠的形式越冬,并在适宜温度和水分条件满足时快速萌发完成早期定居过程,进而提高其在植物中的竞争力^[24-25];而当萌发条件不具备时,还能够推迟萌发来分散其在不可预测环境中的风险性^[26-27],增加幼苗在更适宜的环境条件下出现和生长的机会^[28]。狗牙根为多年生草本,具有能够克隆繁殖的匍匐状地下根茎。据野外调查,经历水深 2—7 m,淹水 100 d 左右和伏旱季节后,狗牙根的种群密度和生物量不但没有降低,反而比对照有所提高;在经历水深 22—27 m,淹水 250 d 左右的海拔区段,其种群的增殖能力还能维持在较高水平^[29]。盐肤木和算盘子为在消落带适应性较强的灌木树种。这两种植物自然分布在山坡、沟谷杂木疏林和灌丛中。盐肤木的萌芽能力较强,具有较强的萌芽更新能力。种皮坚硬,表面具蜡质和油质,在生产上用未经处理的种子播种一般难以发芽,需要进行层积催芽处理。湖北算盘子,多生于山坡灌丛中,耐干旱瘠薄,果期 6—9 月,与消落带成陆期一致。目前对这两种木本植物的适应机制还缺乏深入研究,初步分析认为,除与其耐干旱瘠薄,能够在消落带成陆期结实以及特殊的种子结构有关外,长时间淹水对于消除其种子萌发障碍可能还具有一定的促进作用。

3.2 物种多样性和植物生活型组成的时空变化分析

消落带海拔 156—172 m 区段的植物群落经历了 4 次水库水位涨落,而海拔 172—175 m 区段仅经历了 2 次水库水位涨落;海拔 156—172 m 区段每年持续水淹时间为 243—105 d,淹水深度在 3—19 m,而海拔 172—175 m 区段每年持续水淹时间约 30 d 左右,淹水深度在 0—3 m。虽然不同海拔区段的植物受到水库水位涨落干扰的强度和频次不同,但物种多样性变化总体呈下降的趋势是一致的。这与王强等在三峡水库蓄水初期研究消落带植物物种多样性空间分布格局的结论相吻合^[9]。一般认为,一个较成熟的群落往往具有较高的物种多样性、较高的均匀度和较低的生态优势度。如果植物群落朝正向演替(或正向波动),生态系统的物质和能量可得到进一步累积,生物多样性会相应提高;相反,若植物群落朝逆向演替(或负向波动),生物多样性

势必下降^[30]。根据本研究结果分析认为,目前,三峡库区消落带植物群落仍处在逆向演替的早期阶段,群落的物种组成和结构仍处在不稳定状态。

不同调查时期、不同海拔区段消落带植物生活型组成总的变化趋势是:乔木和灌木减少,草本植物增加。这与前人预测和调查的结果相一致^[1,6]。植物生活型是不同植物对相同生境趋同适应的外在表现^[31]。植物生活型对水陆生境变化的响应策略,决定了植物群落的物种组成和替代变化趋势,也是消落带植物群落在水陆生境变化下演替的基础。在三峡水库反复周期性水位涨落影响下,草本植物(包括一年生和多年生植物)生活型取代乔木和灌木生活型是三峡库区消落带植物生活型组成变化的必然趋势。

3.3 奉节以东巫山和秭归段与其他区域消落带植物群落动态特征的比较

三峡水库奉节以东巫山和秭归段库岸山高坡陡,森林资源丰富,且植被的自然度较高,而中部和西南部地区的库岸地势较平缓,以低山丘陵为主,因开发较早,海拔 600 m 以下大多被开垦为农耕地,自然植被已遭到严重破坏。对消落带植物群落的动态而言,水文条件变化是影响其最主导的因素,而植物区系、地形、土壤、人为干扰等也具有重要影响。然而以往的研究往往规避或未能充分考虑这些因素^[10]。王强等于 2008—2010 年监测位于奉节西部的开县典型消落带植被的结果表明,在坡度 15°的水田和旱地撂荒地 60 m×30 m 的样地上,经历水库水位涨落影响后,不同调查年份的优势植物有苍耳(*Xanthium sibiricum*)、双穗雀稗(*Paspalum paspaloides*)狗牙根、狗尾草等^[9];王业春等在库区西南部的忠县,选择 3 个地质地貌和土地利用历史相似的近自然消落带(土地利用历史为农用耕地),对不同水位高程(海拔 160 m 和 170 m)植物群落和土壤特征的研究结果表明,不同水位高程的植被物种组成完全相同,且盖度、生物量、生物多样性指数均没有显著差异,只是群落优势种存在差异^[10]。与本研究结果相比(表 2、表 3),奉节以东巫山和秭归段消落带的植物组成和优势种以及群落结构的变化等都与上述研究区域有所不同。另外,奉节以东巫山和秭归段消落带的坡度较大,土壤冲刷严重。土壤是植物生存和分布的基础条件,土壤流失速度快,消落带植物群落变化的速度也必然会相应加快。

3.4 消落带植被动态研究方法分析

获取经历水库水位涨落前消落带植物群落组成和结构的初始资料后,对经历水库水位涨落影响后植物的“消长”动态定位“跟踪”,再根据不同植物多年的“消长”变化趋势,确定用于消落带植被恢复的备选植物,较之“以空间代替时间”和一次性调查得出的结果具有一定的可靠性;同时,通过对不同植物和群落结构变化的长期监测,即可获得消落带植物群落演替的确凿证据。三峡水库运行初期是消落带植物群落种类组成和结构快速变化时期,在此时期,定位监测具有其它方法不可替代的重要意义。

固定样地监测的不足在于很难反映较大地理空间尺度上消落带植物群落的宏观变化趋势,而且受人力、物力的限制,很难做到大范围的定位观测。如何将固定样地监测与遥感数据的宏观监测相结合揭示较大地理空间尺度上消落带植物群落的动态变化规律还有待深入研究。

致谢:野外调查得到秭归县和巫山县林业局的大力支持,重庆药植所刘正宇研究员和华中农业大学的刘涛老师,湖北生态工程职业技术学院周火明副教授和姜涛、成功、石章华同学参加了本项目的外业调查,并在植物分类方面给予指导,中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所程瑞梅研究员、新疆分院的巴哈尔古丽高级实验师、塞罕坝机械化林场康义工程师、湖北林科院王晓荣助理研究员和国家林业局西北林业调查规划设计院王祥福工程师参加了部分年度的外业调查工作,谨此致谢!

参考文献(References):

- [1] 胡波,张平仓,任红玉,罗慧敏,岑奕.三峡库区消落带植被生态学特征分析.长江科学院院报,2010,27(11):81-85.
- [2] 熊俊,袁喜,梅朋森,张丽萍,许文年,黄应平.三峡库区消落带环境治理和生态恢复的研究现状与进展.三峡大学学报:自然科学版,2011,33(2):23-28.
- [3] 郭泉水,康义,洪明,金江群,朱妮妮,聂必红,王佐庆.三峡库区消落带陆生植被对首次水陆生境变化的响应.林业科学,2013,49(5):1-9.

- [4] 黄世能, 王伯荪. 热带次生林群落动态研究: 回顾与展望. 世界林业研究, 2000, 13(6): 7-13.
- [5] 熊平生, 谢世友, 谢金宁. 初探三峡水库湿地面临的问题及其对策. 国土与自然资源研究, 2004, (4): 62-63.
- [6] 王勇, 刘义飞, 刘松柏, 黄宏文. 三峡库区消涨带植被重建. 植物学通报, 2005, 22(5): 513-522.
- [7] 白宝伟, 王海洋, 李先源, 冯义龙, 智丽. 三峡库区淹没区与自然消落区现存植被的比较. 西南农业大学学报, 2005, 27(5): 684-691.
- [8] 卢志军, 李连发, 黄汉东, 陶敏, 张全发, 江明喜. 三峡水库蓄水对消涨带植被的初步影响. 武汉植物学研究, 2010, 28(3): 303-314.
- [9] 王强, 袁兴中, 刘红, 张跃伟, 陈忠礼, 李波. 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.
- [11] 肖文发, 周志翔, 黄志霖, 王鹏程, 吴昌广. 长江三峡库区森林景观格局与景观恢复研究. 北京: 科学出版社, 2012.
- [12] Whittaker R J, Willis K J, Field R. Scale and species richness: towards a general hierarchical theory of species diversity. Journal of Biogeography, 2001, 28(4): 453-470.
- [13] Wills K J, Whittaker R J. Species diversity-scale matters. Science, 2002, 295(5558): 1245-1248.
- [14] 黄忠良, 彭少麟, 易俗. 影响季风常绿阔叶林幼苗定居的主要因素. 热带亚热带植物学报, 2001, 9(2): 123-128.
- [15] 中国长江三峡集团公司水情信息网, 宜昌. <http://www.ctg.com.cn/inc/sqsk.php>.
- [16] 中国植被编辑委员会. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980.
- [17] 贺金生, 陈伟烈, 李凌浩. 中国中亚热带东部常绿阔叶林主要类型的群落多样性. 植物生态学报, 1988, 22(4): 304-311.
- [18] 方精云, 王襄平, 沈泽昊, 唐志尧, 贺金生, 于丹, 江源, 王志恒, 郑成洋, 朱江玲, 郭兆迪. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范. 生物多样性, 2009, 17(6): 533-548.
- [19] 丛静, 尹华群, 卢慧, 宿秀江, 杨敬元, 李迪强, 张于光. 神农架保护区典型植被的物种多样性和环境解释. 林业科学, 2013, 49(5): 30-35.
- [20] 李俊清. 森林生态学. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [21] Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science, 2002, 7(9): 405-410.
- [22] 常杰, 葛滢. 生态学. 杭州: 浙江大学出版社, 2001.
- [23] Baker H G, Stebbins G L. The Genetics of Colonizing Species. New York: Academic Press, 1965.
- [24] Grime JP, Mason G, Curtis AV, Rodman J, Band S R. A comparative study of germination characteristics in a local Flora. Journal of Ecology, 1981, 69(3): 1017-1059.
- [25] Bohumil M. Germination requirements of invasive and non-invasive *Atriplex* species: a comparative study. Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 2003, 198(1): 45-54.
- [26] Venable D L, Brown J S. The selective interactions of dispersal, dormancy and seed size as adaptations for reducing risk in variable environments. The American Naturalist, 1988, 131(3): 360-384.
- [27] Philippi T. Bet-hedging germination of desert annuals: variation among populations and maternal effects in *Lepidium lasiocarpum*. The American Naturalist, 1993, 142(3): 488-507.
- [28] Kevin J R, Andrew R D. Seed aging, delayed germination and reduced competitive ability in *Bromus tectorum*. Plant Ecology, 2001, 155(2): 237-243.
- [29] 洪明, 郭泉水, 聂必红, 康义, 裴顺祥, 金江群, 王祥福. 三峡库区消落带狗牙根种群对水陆生境变化的响应. 生态学报, 2011, 22(11): 2829-2835.
- [30] 李瑞. 植被动态研究进展及展望. 中国水土保持科学, 2012, 10(2): 115-120.
- [31] 蒋有绪, 郭泉水, 马娟. 中国森林群落分类及其群落学特征. 北京: 科学出版社, 1988.