

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

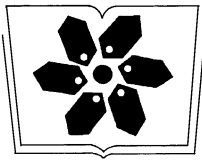
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第17期 Vol.32 No.17 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 17 期

2012 年 9 月 (半月刊)

目 次

基于生物生态因子分析的长序榆保护策略.....	高建国,章 艺,吴玉环,等 (5287)
闽江口芦苇沼泽湿地土壤产甲烷菌群落结构的垂直分布.....	余晨兴,仝 川 (5299)
涡度相关观测的能量闭合状况及其对农田蒸散测定的影响.....	刘 渡,李 俊,于 强,等 (5309)
地下滴灌下土壤水势对毛白杨纸浆林生长及生理特性的影响.....	席本野,王 焯,邸 楠,等 (5318)
绿盲蝽危害对枣树叶片生化指标的影响.....	高 勇,门兴元,于 毅,等 (5330)
湿地资源保护经济学分析——以北京野鸭湖湿地为例.....	王昌海,崔丽娟,马牧源,等 (5337)
湿地保护区周边农户生态补偿意愿比较.....	王昌海,崔丽娟,毛旭峰,等 (5345)
湿地翅碱蓬生物量遥感估算模型.....	傅 新,刘高焕,黄 舸,等 (5355)
增氮对青藏高原东缘典型高寒草甸土壤有机碳组成的影响.....	郑娇娇,方华军,程淑兰,等 (5363)
大兴安岭 2001—2010 年森林火灾碳排放的计量估算.....	胡海清,魏书精,孙 龙 (5373)
基于水分控制的切花百合生长预测模型.....	董永义,李 刚,安东升,等 (5387)
极端干旱区增雨加速泡泡刺群落土壤碳排放.....	刘殿君,吴 波,李永华,等 (5396)
黄土丘陵区土壤有机碳固存对退耕还林草的时空响应.....	许明祥,王 征,张 金,等 (5405)
小兴安岭 5 种林型土壤呼吸时空变异	史宝库,金光泽,汪兆洋 (5416)
疏勒河上游土壤磷和钾的分布及其影响因素.....	刘文杰,陈生云,胡凤祖,等 (5429)
COII 参与茉莉酸调控拟南芥吲哚族芥子油苷生物合成过程	石 璐,李梦莎,王丽华,等 (5438)
Gash 模型在黄土区人工刺槐林冠降雨截留研究中的应用	王艳萍,王 力,卫三平 (5445)
三峡水库消落区不同海拔高度的植物群落多样性差异.....	刘维湄,王 杰,王 勇,等 (5454)
基于 SPEI 的北京低频干旱与气候指数关系	苏宏新,李广起 (5467)
山地枣树茎直径对不同生态因子的响应.....	赵 英,汪有科,韩立新,等 (5476)
幼龄柠条细根的空间分布和季节动态	张 帆,陈建文,王孟本 (5484)
山西五鹿山白皮松群落乔灌木层的种间分离.....	王丽丽,毕润成,闫 明,等 (5494)
长期施肥对玉米生育期土壤微生物量碳氮及酶活性的影响.....	马晓霞,王莲莲,黎青慧,等 (5502)
基于归一化法的小麦干物质积累动态预测模型.....	刘 娟,熊淑萍,杨 阳,等 (5512)
上海环城林带景观美学评价及优化策略	张凯旋,凌焕然,达良俊 (5521)
旅游风景区旅游交通系统碳足迹评估——以南岳衡山为例.....	窦银娣,刘云鹏,李伯华,等 (5532)
一种城市生态系统现状评价方法及其应用.....	石惠春,刘 伟,何 剑,等 (5542)
黄海中南部细纹狮子鱼的生物学特征及资源分布的季节变化.....	周志鹏,金显仕,单秀娟,等 (5550)
蓝藻堆积和螺类牧食对苦草生长的影响.....	何 虎,何宇虹,姬娅婵,等 (5562)
黑龙江省黄鼬冬季毛被分层结构及保温功能.....	柳 宇,张 伟 (5568)
虎纹蛙选择体温和热耐受性在个体发育过程中的变化	樊晓丽,雷焕宗,林植华 (5574)
水丝蚓对太湖沉积物有机磷组成及垂向分布的影响	白秀玲,周云凯,张 雷 (5581)
专论与综述	
城市绿地生态评价研究进展.....	毛齐正,罗上华,马克明,等 (5589)
全球变化背景下生态学热点问题研究——第二届“国际青年生态学者论坛”	万 云,许丽丽,耿其芳,等 (5601)
研究简报	
雅鲁藏布江高寒河谷流动沙地适生植物种筛选和恢复效果.....	沈渭寿,李海东,林乃峰,等 (5609)
学术信息与动态	
生态系统服务时代的来临——第五届生态系统服务伙伴年会述评	吕一河,卫 伟,孙然好 (5619)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 334 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-09	



封面图说: 带雏鸟的白枕鹤一家——白枕鹤是一种体型略小于丹顶鹤的优美的鹤。体羽蓝灰色,腹部较深,背部较浅,脸颊两侧红色,头和颈的后部及上背为白色,雌雄相似。其虹膜暗褐色,嘴黄绿色,脚红色。白枕鹤常常栖息于开阔平原芦苇沼泽和水草沼泽地带,有时亦出现于农田和海湾地区,尤其是迁徙季节。主要以植物种子、草根、嫩叶和鱼、蛙、软体动物、昆虫等为食。繁殖区在我国北方和西伯利亚东南部。我国白枕鹤多在黑龙江、吉林、内蒙古繁殖,与丹顶鹤的繁殖区几乎重叠,为国家一级保护动物。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201102240211

刘维璋, 王杰, 王勇, 杨帆. 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(17): 5454-5466.

Liu W W, Wang J, Wang Y, Yang F. The differences of plant community diversity among the different altitudes in the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(17): 5454-5466.

三峡水库消落区不同海拔高度的植物群落多样性差异

刘维璋^{1,2}, 王 杰¹, 王 勇^{1,*}, 杨 帆^{1,*}

(1. 中国科学院武汉植物园/中国科学院水生植物与流域生态重点实验室, 武汉 430074;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 本文对三峡水库消落区不同海拔间植物多样性和植物群落结构差异进行了研究。从 α 多样性上来看, 上部和中部落区物种丰富度和均匀度差异不显著, 下部落区丰富度指数明显低于中上部。下部落区植物种间相遇几率较大, 植物种间相互依存性较强。从 β 多样性上来看, 由上部到中部再到下部, 随着海拔下降, 水库消落区植物物种的替代性减少是均质的; 不同地区间 β 多样性没有显著性差异, 但不同海拔间差异显著。从群落结构及稳定性上来看, 目前水库消落区植物群落结构稳定性中部 < 上部 < 下部, 上部消落区水淹胁迫较小, 植物物种多为竞争种 (C-对策种), 竞争力较强的杂草偏向形成优势群落; 下部落区水淹胁迫最强, 植物物种多为耐胁迫种 (S-对策种), 能忍受高强度水淹环境的物种形成了植物群落; 中部消落区, 处于物种定居和水淹胁迫的双重压力下, 竞争种和耐胁迫种间竞争明显, 更偏向于形成共优群落, 其群落稳定性较差。在目前情况下, 消落区下部的植物群落组成比较单一, 但是随着水库蓄水高程稳定在 175 m, 估计消落区上中部群落组成也会逐渐趋于单一化。

关键词: 三峡水库; 消落区; 植物群落; 物种多样性; 因子分析

The differences of plant community diversity among the different altitudes in the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir

LIU Weiwei^{1,2}, WANG Jie¹, WANG Yong^{1,*}, YANG Fan^{1,*}

1 Wuhan Botanical Garden/ Key Laboratory of Aquatic Botany and Watershed Ecology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The differences in plant diversity and plant community structure in the Water-Level-Fluctuating Zone (WFLZ) of the Three Gorges Reservoir (TGR) were studied in present study. As far as α diversity was concerned, significant differences in plant species richness and equitability between upside and middle side of the WFLZ were not found. The Plant species richness in the downside of the WFLZ is lower than that of the upside and middle side. Compared with the upside and middle side, the highest PIE (population encounter incidence) in the downside of the WFLZ manifested that the strongest interdependency among the plant species was existed. As far as β diversity was concerned, the substitution of plant species was homogeneous with the decrease of altitude in the WFLZ from upside to downside. Significant differences in β diversity were not found among different studied sites, but found among different altitude within the same studied site. Compared with the upside of the WFLZ, the plant community structural stability of downside is highest and the middle side is lower. In the upside of the WFLZ, the mildest flooding stress is benefit for the reciprocal competition of all kinds of species, and then many plant species can survive and be belonged to competitive species. The weeds which possessed higher competitive capacity formed their dominant communities. In the downside of the WFLZ, the survived species were screened by the strongest flooding stress. The plants belonging to tolerant species, which can tolerate high intensity flooding

基金项目: 国务院三峡办项目 (2008-7-JS-3-7-1); 湖北省移民局项目 (Y2392639261P0126)

收稿日期: 2011-02-24; 修订日期: 2011-08-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangyong@wbcas.cn; yangfan@wbcas.cn

stress, could survive and form their dominance community. The flooding stress in the middle side of the WFLZ is intermediate between upside and downside of the WFLZ. The plants in the middle side of the WFLZ were suffered from species reciprocal competitive stress and flooding stress. The plant species possessed stronger competitive capacity and flooding tolerance formed their dominance community. Therefore, the stability of the plant community was relative weak, and the plants formed their co-dominated communities. Under the present conditions, the plant community composition in the downside of the WFLZ was single than that of the upside and middle side. However, it is estimated that the plant community composition in the upside and middle side of the WFLZ will become single gradually with the stabilization to 175 meters of water-retention level.

Key Words: Factor analysis; Plant community; Species diversity; Three Gorges Reservoir; Water-level-Fluctuating Zone

植物群落种类组成、多样性及群落结构既是群落对生态环境的响应,是植物生物学特征和生态学特性的综合表现^[1-2];通过研究天然植物群落结构特征,可以有效评价一个群落的稳定程度。河流生态系统是人类利用最多、开发较早的生态系统,而筑坝建库是开发利用河流水利资源的普遍形式。然而筑坝建库破坏了生物多样性的维持并产生了大量的生态问题^[3-4]。一方面水库淹没自然消落区湿地,并带来自然消落区植物资源的消亡。据统计,到1997年,世界20%以上的河岸带植被已不复存在,剩余部分也在极迅速地消失中^[5];同时大坝截断了流域上下游之间物质、能量和信息的交流,破坏了消落区功能的完整性。另一方面产生新的退化的生态系统——水库消落区,水库消落区往往存在植被破坏严重、生物多样性下降、小气候恶化、河床及河岸遭受侵蚀等生态环境问题。退化湿地生态系统的修复已成为当今恢复生态学研究的重要内容之一^[6]。三峡水库消落区植被由于受到周期性、反季节、高强度水淹影响,植物多样性下降明显^[7-9]。王勇等对三峡库区自然消落区植物区系的研究表明,消落区分布有维管植物83科、240属、405种^[10-11],但2009年对蓄水后水库消落区植物区系的调查表明,维管植物只有61科169属231种,其中科、属、种分别减少了26.51%、29.58%、42.96%,植物群落结构也比较脆弱^[11-12]。白宝伟等对重庆段库区、重庆市主城区范围内消落区植被种类组成及群落分布特征进行研究^[13],杨朝东等对三峡库区秭归太平溪港至巴东楠木园的145 m—156 m消落带的植物分布进行研究^[14],王强等对三峡水库蓄水后澎溪河消落带植物群落格局及多样性进行研究^[15]。他们的研究结果都表明蓄水后水库消落区植被退化严重,群落单一,物种丰富度和多样性低。造成这种状况的主要原因是原来适应长江水位节律性变化的植物难以适应三峡水库消落区的反季节水位变化,逐步消失或死亡。目前三峡水库消落区植物以草本植物居多,其中又以一年生草本为主要代表^[11-12]。本研究以三峡水库消落区为研究区域,对周期水淹环境下水库消落区植物多样性、植物群落结构变化及群落稳定性进行研究,以为消落区生态恢复和植被重建工作提供依据。

1 研究地概况

三峡库区(29°16'—31°25' N, 106°20'—111°50' E)位于渝东、鄂西交界处,面积约58,000 km²^[18]。三峡工程建成后,三峡水库在每年10月汛末开始蓄水,在10月初水库水位由高程(吴淞)145 m上升至175 m;此后至次年5月,水位逐渐由高程175 m降低至145 m;在每年的6月至9月汛期内,水库水位一般保持高程145 m运行^[11, 16-17]。因此三峡水库的夏季水位低而冬季水位高,与长江原有的水文节律完全相反^[11, 18]。每年水位在高程145 m至175 m之间的变化,在库区两岸形成了水位涨落高差达30 m的水库消落区,其总面积达348.93 km²^[9, 19]。三峡水库运行后,自2006年后已经历了几次季节性水位涨落,2006年蓄水至156 m,历经两年;2008年蓄水至172 m,2010年10月26日蓄水至175 m,具体水位变化见图1。水库在低水位运行时,由于洪水影响,其水位存在一定波动。三峡水库消落区由于不同的蓄水年份、水淹强度,形成可明显区分的上、中、下三部分。

2 研究方法与数据处理

2.1 调查方法

笔者于2010年6—7月对三峡水库消落区干流及主要支流植物群落进行了调查,具体调查区域涉及重庆

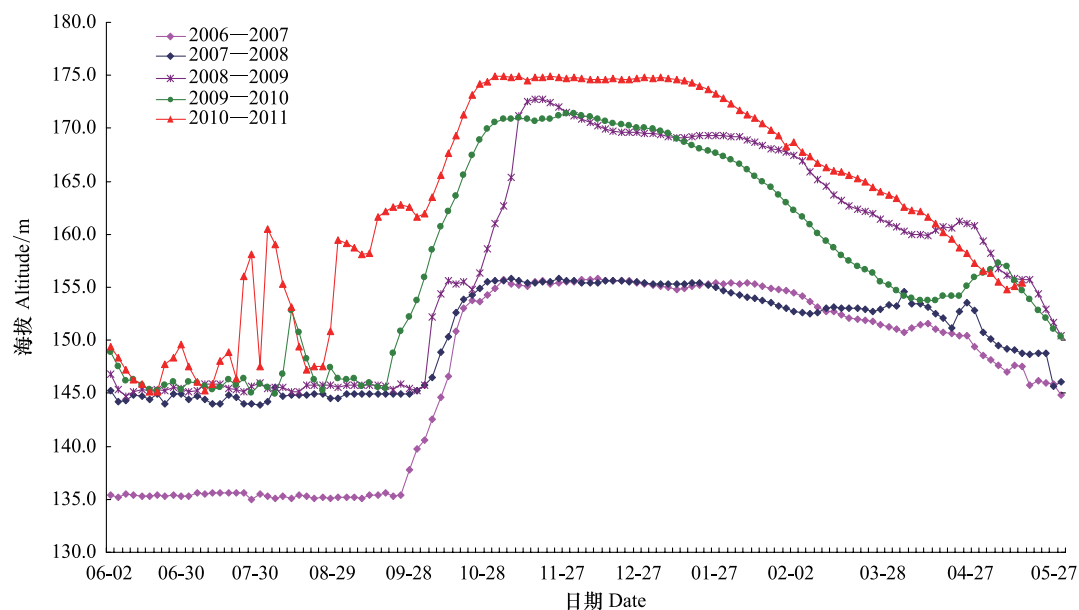


图1 三峡水库消落区水位变化图
Fig.1 Hydrological change of WLFZ in the TGR

市巴南区、长寿区、涪陵区、丰都县、忠县、万州区、开县、云阳县、奉节县、巫山县和湖北省巴东县、兴山县、秭归县等地区,采样点见图2。在每个调查区域的消落区,按照不同的海拔梯度,于海拔 145 m—156 m(下)、156 m—165 m(中)、165 m—175 m(上)分别设置 3 个 10 m×10 m 的大样方,在大样方中沿对角线选取 4 个 1 m×1 m 的草本样方,4 个 5 m×5 m 的灌木样方。由于水库消落区内灌木很少,故主要记录草本样方数据。共选取样方 192 个,样方具体地理信息见表 1。记录样方内植被的高度、盖度、频度等数据,计算每个物种的重要值^[2]。

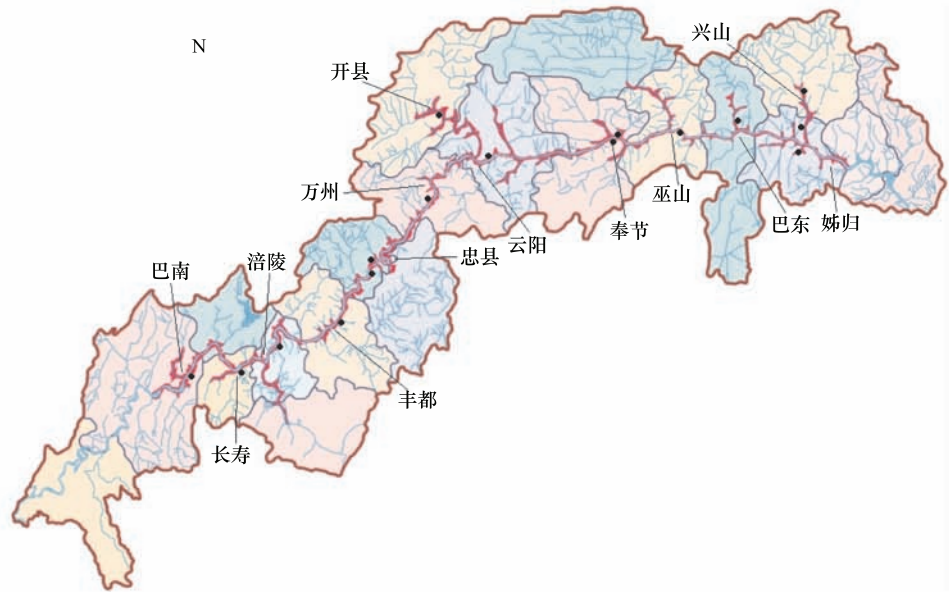


图2 三峡水库消落区采样点分布图
Fig.2 The scattergram of sampling point of WLFZ in TGR

2.2 数据分析

2.2.1 重要值计算

重要值作为研究某个种在群落中的地位和作用的综合数量指标,在植物群落研究中应用广泛,是相对密

表 1 2010 年三峡水库消落区 192 个样方坐标数据表

Table 1 The coordinate data of 192 quadrats of the WLFZ in the TGR in 2010

样地编号 No. of plots	地点 Site	样方编号 No. of quadrats	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔/m Elevation	坡位 Location	坡度 Slope	坡向 Direction
1	巴南*	1—4	29°21'24.3"N	106°26'51.0"E	158	下	5°	南偏西 30°
		5—8	29°21'28.7"N	106°26'53.0"E	162	中	5°	
		9—12	29°21'31.3"N	106°26'54.3"E	168	上	10°	
2	长寿	13—16	29°47'00.8"N	107°05'15.0"E	154	下	10°	北坡
		17—20	29°46'53.9"N	107°05'14.8"E	160	中	20°	
		21—24	29°46'50.4"N	107°05'15.1"E	170	上	25°	
3	涪陵	25—28	29°44'27.6"N	107°19'49.0"E	150	下	30°	南坡
		29—32	29°44'29.9"N	107°19'48.9"E	162	中	20°	
		33—36	29°44'33.7"N	107°19'49.0"E	170	上	20°	
4	丰都	37—40	29°59'05.9"N	107°50'05.9"E	148	下	10°	西偏北 30°
		41—44	29°59'00.7"N	107°50'07.0"E	162	中	15°	
		45—48	29°58'58.4"N	107°50'10.3"E	170	上	15°	
5	忠县	49—52	30°23'51.1"N	108°09'12.9"E	145	下	5°	西偏北 30°
		53—56	30°23'47.6"N	108°09'15.1"E	164	中	10°	
		57—60	30°23'44.3"N	108°09'17.7"E	170	上	15°	
6	忠县岛屿	61—64	30°22'28.4"N	108°05'22.6"E	148	下	5°	北坡
		65—68	30°22'24.7"N	108°05'22.9"E	158	中	10°	
		69—72	30°22'19.9"N	108°05'22.7"E	170	上	10°	
7	万州县	73—76	30°43'34.8"N	108°25'40.7"E	148	下	5°	西坡
		77—80	30°43'34.9"N	108°25'46.1"E	156	中	10°	
		81—84	30°43'34.5"N	108°25'49.3"E	165	上	15°	
8	开县	85—88	31°09'00.4"N	108°28'42.8"E	155	下	10°	东坡
		89—92	31°09'00.1"N	108°28'39.2"E	165	中	25°	
		93—96	31°09'00.9"N	108°28'37.6"E	172	上	30°	
9	云阳县	97—100	30°55'38.3 N"	108°47'12.3"E	148	下	10°	北偏西 30°
		101—104	30°55'33.6"N	108°47'14.9"E	160	中	10°	
		105—108	30°55'29.7"N	108°47'17.2"E	170	上	15°	
10	奉节县	109—112	31°00'49.8 N"	109°24'13.2"E	152	下	10°	南坡
		113—116	31°00'53.6"N	109°24'13.0"E	160	中	15°	
		117—120	31°00'57.3"N	109°24'13.1"E	170	上	25°	
11	奉节县白帝城	121—124	31°02'45.4"N	109°34'33.6"E	150	下	5°	西坡
		125—128	31°02'45.3"N	109°34'36.7"E	162	中	15°	
		129—132	31°02'45.1"N	109°34'38.9"E	170	上	25°	
12	巫山县	133—136	31°03'32.0"N	109°54'51.2"E	148	下	10°	北坡
		137—140	31°03'28.4"N	109°54'51.5"E	158	中	15°	
		141—144	31°03'25.8"N	109°54'51.3"E	170	上	15°	
13	巴东县	145—148	31°01'58.7"N	110°18'03.6"E	148	下	10°	西偏北 54°
		1149—152	31°01'54.3"N	110°18'07.4"E	160	中	25°	
		1153—156	31°01'51.9"N	110°18'10.2"E	172	上	30°	
14	兴山县	157—160	31°12'05.2"N	110°45'19.9"E	148	下	15°	西坡
		161—164	31°12'05.2"N	110°45'22.7"E	160	中	25°	
		165—168	31°12'05.1"N	110°45'24.9"E	170	上	30°	
15	秭归县香溪河	169—172	31°03'50.6"N	110°40'47.6"E	150	下	5°	西偏南 30°
		173—176	31°03'50.9"N	110°40'48.1"E	160	中	5°	
		177—180	31°03'51.1"N	110°40'48.4"E	172	上	10°	
16	秭归县兰陵溪	181—184	30°51'55.4"N	110°55'12.6"E	148	下	5°	西坡
		185—188	30°51'55.3"N	110°55'11.7"E	160	中	5°	
		189—192	30°51'55.4"N	110°55'11.2"E	170	上	5°	

* 由于受到洪水影响,巴南地区水库消落区下部数据为 8 月份补录数据

度、相对频度、相对优势度的总和,其值一般介于 0—300 之间。对三峡水库消落区植物群落而言,群落内多为草本,灌木和乔木较少,故本文采用相对频度、相对高度及相对盖度作为重要值的计算依据^[1,2]。

$$\text{重要值} = (\text{相对频度} + \text{相对高度} + \text{相对盖度}) / 3$$

$$\text{相对频度} = (\text{某种的频度} / \text{所有种的频度和}) \times 100\%$$

$$\text{相对高度} = (\text{某种的高度} / \text{所有种的高度和}) \times 100\%$$

$$\text{相对盖度} = (\text{某种的盖度} / \text{所有种的盖度和}) \times 100\%$$

2.2.2 α 多样性计算

在对群落 α 多样性指数测定估计的过程中,为了综合考虑,避免单一选取造成的不足,故选取物种丰富度指数 S , Shannon—Wiener 多样性指数 H' , Simpson 多样性指数 D , Pielou 均匀度指数 J_{sw} , Alatalo 均匀度指数 Ea , 种间相遇几率多样性指数 PIE ^[2, 20-22], 其中:

丰富度指数 S = 样方物种数

$$\text{Shannon—Wiener 多样性指数} \quad H' = -\sum P_i \ln P_i$$

$$\text{Simpson 多样性指数} \quad D = 1 / \sum P_i^2$$

$$\text{Pielou 均匀度指数} \quad J_{sw} = (-\sum P_i \ln P_i) / \ln S$$

$$\text{Alatalo 均匀度指数} \quad Ea = [1 / (\sum P_i^2) - 1] / [\exp(-\sum P_i \ln P_i) - 1]$$

$$\text{种间相遇几率多样性指数} \quad PIE = \sum [(N_i / N)(N - N_i) / (N - 1)]$$

以上 P_i 为种 i 的相对重要值; N_i 为种 i 的重要值; N 为种 i 所在样方的各个种的重要值之和; S 为种 i 所在样方的物种总数。通过 spss13.0 软件进行多元方差分析, 比较不同海拔与地区间 α 多样性指数的差异^[23]。

2.2.3 β 多样性计算

不同的 β 多样性指数应用的范畴不同, Wilson 等对 β 多样性指数做了比较全面的评价^[1-2], 针对三峡水库消落区植物群落现状, 本文采用应用比较广泛的二元属性数据测定法^[1], 选取 Whittaker 指数 β_w , Cody 指数 β_c , Routledge 指数 β_r 以及 Wilson 和 Shmida 指数 β_T 。

$$\beta_w = S / \alpha - 1$$

$$\beta_c = [g(H) + l(H)] / 2$$

$$\beta_r = [S^2 / (2r + S)] - 1$$

$$\beta_T = [g(H) + l(H)] / 2\alpha$$

以上 S 为所研究系统中记录的物种总数; α 为各样方或样本的平均物种数; $g(H)$ 是沿生境梯度 H 增加的物种数目; $l(H)$ 是沿生境梯度 H 失去的物种数目; r 为分布重叠的物种对数。

β_T 对沿环境梯度的群落更替具有更直观的反应^[1], 而三峡水库各个地区基本处于同一气候分布类型, 由上游向下并没有构成明显环境梯度(温度, 湿度等)^[32], 故需考虑 β_r 的适用范围。对于 β_c , 不能有效独立于 α 多样性指数^[1]。综合考虑, 使用不假设环境结构更为广泛的 β_w 等指数作为测定标准^[1-2]。

2.2.4 统计分析

测定不同地区不同海拔下 α 多样性指数, 通过 spss13.0 软件, 调整显著性水平为 0.05, 通过方差分析模块下的 Duncan 方法对其进行比较。

测定不同地区间, 由上部消落区到中部消落区, 以及由中部消落区到下部消落区的 β 多样性指数, 并对其配对均值比较。

以 β_w 为标准, 测定消落区三个不同高程、不同地区间的 β 多样性指数, 通过 spss13.0 软件, 调整显著性水平为 0.05, 通过方差分析模块下的 Duncan 方法对不同海拔进行比较^[24-25]。

2.2.5 计算因子得分模型

因子分析是指研究从变量群中提取共性因子的统计技术, 最早由英国心理学家 C. E. 斯皮尔曼提出。其主要目的是用来描述隐藏在—组测量到的变量中的一些更基本的, 但又无法直接测量到的隐性变量。在社会

科学和部分自然科学的研究中,因子分析多用于提取因子的成因性分析及总体得分排序,而每个提取因子下各变量的得分排序分析则使用较少。

而对于植物群落结构而言,在考虑植物群落成因的同时,我们更期待于探索群落内部各个植物种之间的关系,例如:哪种植物更倾向于形成单优群落;群落内部的几种植物间存在怎样的关系(竞争,互利共生等);一个沿环境梯度变化的群落结构其稳定性如何或处在群落演替的哪个阶段。

由于水库消落区在不同海拔植被分布不同(多样性差异),在进行模型分析时将水库消落区划分为上中下三部分。使用 spss13.0 软件提供的因子分析模块,以植物重要值为原始数据,对不同地区进行因子提取,得到拥有不同植被分布的数个公因子,即植被分布因子得分模型^[26-27]。由于每种因子都有可能代表了一种乃至几种环境因素或人为因素,故本研究弱化了代表各植被分布类型的因子成因,而侧重于每种植被类型下的植物群落结构。因子得分代表了该海拔下每种植物在不同群落中的优势程度(不同于优势度),关注每个主要提取因子下的变量(植物物种)得分及排序,就可以模拟该地区的植物群落结构,对模型进行评价,并对模拟群落结构进行分析。

3 研究结果

3.1 三峡水库消落区不同海拔间植被 α 多样性单因素方差分析结果

由表 2 可知,下部消落区植物群落在物种丰富度的 3 个指标上(S, H', D)明显低于中上部消落区,差异显著;对于 Pielou 均匀度指标 J ,下部消落区低于中、上部,Pielou 均匀度从下部到上部形成了一定的过渡;对于 PIE ,下部消落区区间相遇几率明显高于中上部,差异显著。

表 2 α 多样性指数单因素方差分析结果

Table 2 Univariate Test Results of α diversity index

多样性指数 Index of diversity	上部 UP		中部 Mid.		下部 Down	
	平均值 Mean	变异系数 CV	平均值 Mean	变异系数 CV	平均值 Mean	变异系数 CV
S	16.9±6.3a	0.374	14.1±5.6a, #	0.396	5.5±5.0b	0.902
H'	2.574±0.349a	0.136	2.386±0.415a	0.174	1.312±0.643b	0.490
D	0.907±0.031a	0.034	0.885±0.054a	0.061	0.647±0.180b	0.278
J	0.932±0.016a	0.018	0.928±0.033ab	0.035	0.898±0.057b	0.064
E	0.862±0.039a	0.046	0.865±0.057a	0.065	0.849±0.057a	0.067
PIE	1.465±0.192b	0.131	1.532±0.322b	0.210	2.467±1.211a	0.491

#, a, b 代表用 Duncan 统计分析后的显著性差异($P<0.05$)

3.2 三峡水库消落区不同海拔与地区间植被 β 多样性比较

3.2.1 三峡水库消落区同一地区不同海拔植被 β 多样性比较

从表 3 可以看出,对相同地区不同海拔间消落区植被,4 种 β 多样性指数进行配对均值比较, P 值均大于 0.05,可知由上部消落区到中部消落区,以及由中部消落区到下部消落区,其 β 多样性没有显著性差异。

表 3 不同海拔变化 β 多样性指数比较

Table 3 The comparison of β diversity index in different altitude

B 多样性指数 β diversity index	上部到中部 Up to Mid.		中部到下部 Mid to Down		配对均值检验 p 值 Paired-Samples T-test P -值 P -value
	平均值 Mean	变异系数 CV	平均值 Mean	变异系数 CV	
β_w	2.361±0.536	0.227	2.358±0.460	0.195	0.582
β_c	9.219±2.681	0.291	7.344±3.131	0.426	0.099
β_R	15.800±4.866	0.308	13.280±6.885	0.518	0.195
β_T	1.249±0.378	0.303	1.373±0.328	0.239	0.085

3.2.2 三峡水库消落区不同地区相同海拔间植被 β 多样性比较

由表 4 可知,在选取 β_w 为测定标准时,三峡水库消落区不同地区间,植被 β 多样性上部和中部差异不显

著,下部明显偏低。

表 4 β 多样性指数单因素方差分析结果
Table 4 Univariate Test Results of β diversity index

多样性指数 Index of diversity	上部 UP		中部 Mid.		下部 Down	
	平均值 Mean	变异系数 CV	平均值 Mean	变异系数 CV	平均值 Mean	变异系数 CV
β_W	2.373±0.336a, #	0.141	2.465±0.411a	0.167	1.562±0.595b	0.381 *
β_C	11.800±3.516a	0.298	9.633±2.705a	0.281	3.400±2.888b	0.849 *
β_R	19.657±6.175a	0.314	16.340±4.945a	0.303	5.685±5.367b	0.944 *
β_T *	0.298±0.090b	0.303	0.389±0.140b	0.360	0.517±0.271a	0.525 *

* 涪陵地区下部消落区样方内植被特异性较强,造成 CV 值整体偏高; * β_T 适用范围有限,以 β_W 为测定标准; #, a, b 代表用 Duncan 统计分析后的显著性差异 (P<0.05)

3.3 三峡水库消落区不同海拔植物群落因子得分模型分析结果

对不同地区进行因子提取,得到拥有不同植被分布的数个公因子。对模型进行检验,并使累计贡献率大于 70%,保证模型拥有足够信息量,具体数据见表 5。按照第一因子得分大小进行排列作图(图中已列出单个因子贡献率),为保证因子得分的可对比性,对原始因子得分进行贡献率加权处理。

表 5 因子得分模型检验表
Table 5 The test of Factor Score Model

位置 Area	公因子数量 Quantity of factors	累计贡献率 Cumulative	KMO 检验 KMO-Test
上部 Up	6	71.49%	0.759
中部 Mid.	6	74.33%	0.779
下部 Down	4	89.37%	pass

总体来看,水库消落区植物群落结构沿海拔梯度呈现单一化趋势,不同的植被间存在一定的依存与竞争关系。由图 3 可以看出,在水库消落区上部,形成了以狗尾草为优势种,龙葵为亚优势种的主要植物群落,其他的还有狼把草群落、黄花蒿群落、十字马唐群落和野黍-荻草共优群落等。狗尾草竞争力比较强,占据了第一因子中的优势地位,黄花蒿、狗牙根、苍耳、狼把草、牛鞭草、十字马唐、野黍等植物则倾向于形成各自的单优或共优群落,占据了其他因子中的主要地位,避免与狗尾草的竞争。龙葵、野胡萝卜、酸模叶蓼等植物则占据了各群落中的主要从属地位。

由图 4 可以看出,在水库消落区中部,主要的植物群落为狗牙根-水花生-苍耳-狼把草的共优群落以及狗尾草的单优群落,分别占据了第一和第二因子中的主要地位。此外,狗牙根和狼把草还形成了各自的优势群落。狗牙根-水花生-苍耳-狼把草的共优群落同狗尾草的单优群落间竞争明显,野黍、十字马唐、黄花蒿、苍耳等植物生长受到抑制,在群落中优势度下降。

由图 5 可以看出,在水库消落区下部,由于水淹强度、光照等环境因子影响显著,狗牙根的竞争力最强,其所代表的单优群落贡献率达 61.49%,狗尾草、扁穗莎草、苍耳等植物也形成了自己的群落,但竞争力明显不足。

4 分析与讨论

4.1 三峡水库消落区物种多样性变化

总体来讲,在三峡水库消落区,水淹季节、水淹强度、光照及出露时间决定了消落区植物多样性的变化。

α 多样性指数中,物种丰富度是物种多样性测度中较为简单且生物学意义明显的指数。物种均匀度从一定程度上反映了群落演替过程中的稳定性,均匀度较高的群落稳定性相对较差,均匀度较低的群落稳定性相对较高,并更接近演替终点。此外,种间相遇几率指数反映了群落内植物间的相互依存关系,相遇几率较大的植物群落,其植物间相互依存性更强^[2, 20-21]。 α 多样性测度下,丰富度变化明显,物种呈现减少的趋势;但均

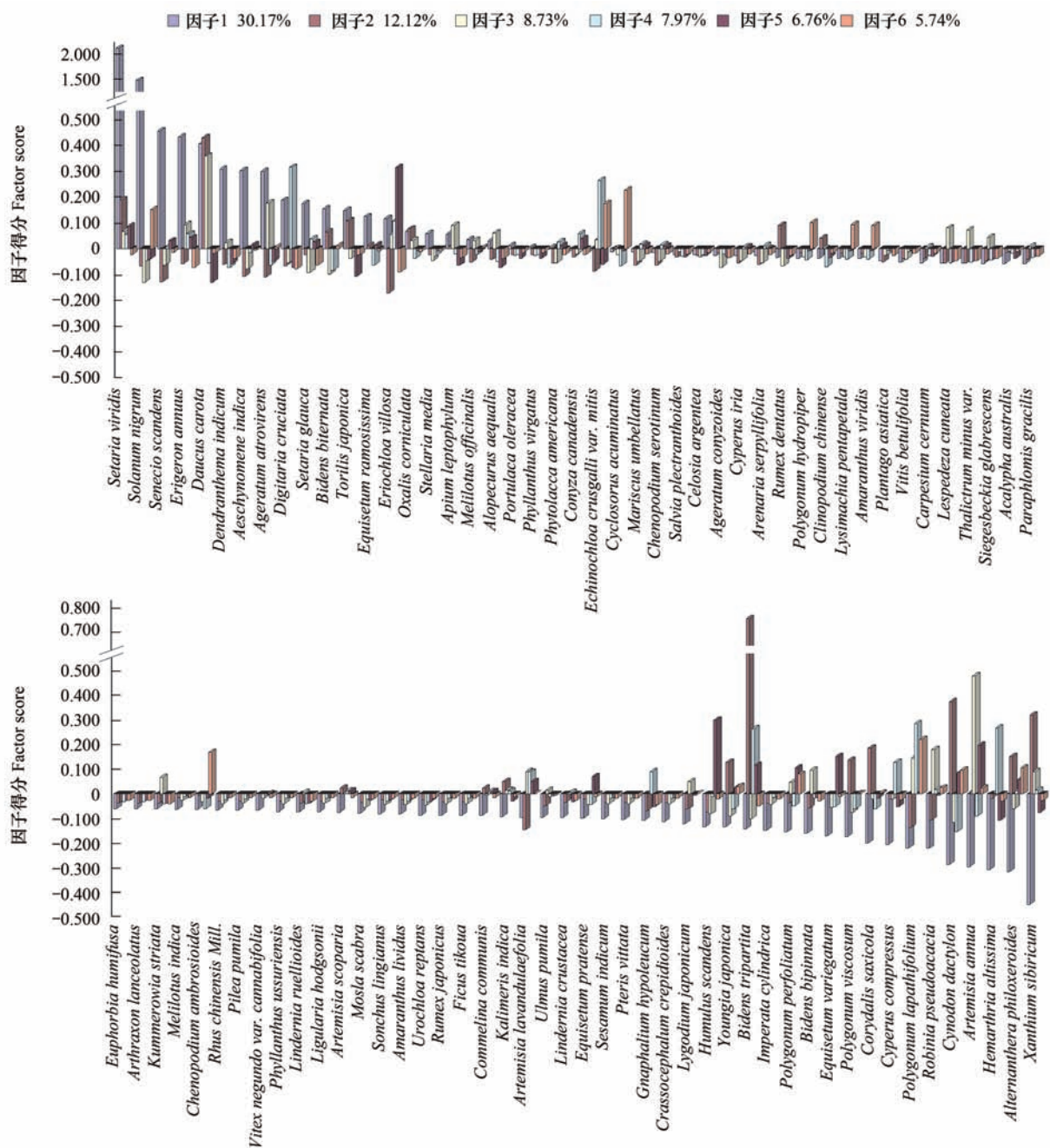


图3 三峡水库消落区上部植物群落结构因子得分图

Fig. 3 The factor score of plant community structure in the upward area of WLFZ in TGR

匀度变化不明显或下部略低,可见下部水库消落区植被更单一,稳定性相比中上部反而略高,这主要是由于在高强度的水淹环境下,除狗牙根等少数植物容易形成稳定群落外,其他植物都很难定居所致;种间相遇几率下部消落区也显著高于中上部,可见下部消落区植物间相互依存性更强,这主要是由于物种数较少所致,往往物种数和种间相遇几率成反比^[28-30]。

β 多样性可以定义为沿环境梯度的变化物种替代的程度。不同群落或某环境梯度上不同点之间的共有种越少, β 多样性越大,其生境多样性越丰富^[1-2]。 β 多样性测度下,由上部到中部再到下部, β 多样性指数变化不明显,说明在水淹环境的影响下,随着海拔下降,水库消落区植物物种的替代性减少是均质的,但这也可能由于梯度较少所致(仅有上中下三个梯度),如果要更进一步了解不同海拔的消落区物种替代的速度差异,则应该考虑在海拔上增加调查梯度。物种替代程度从一定角度反映了水库消落区植物对水淹环境的响应程

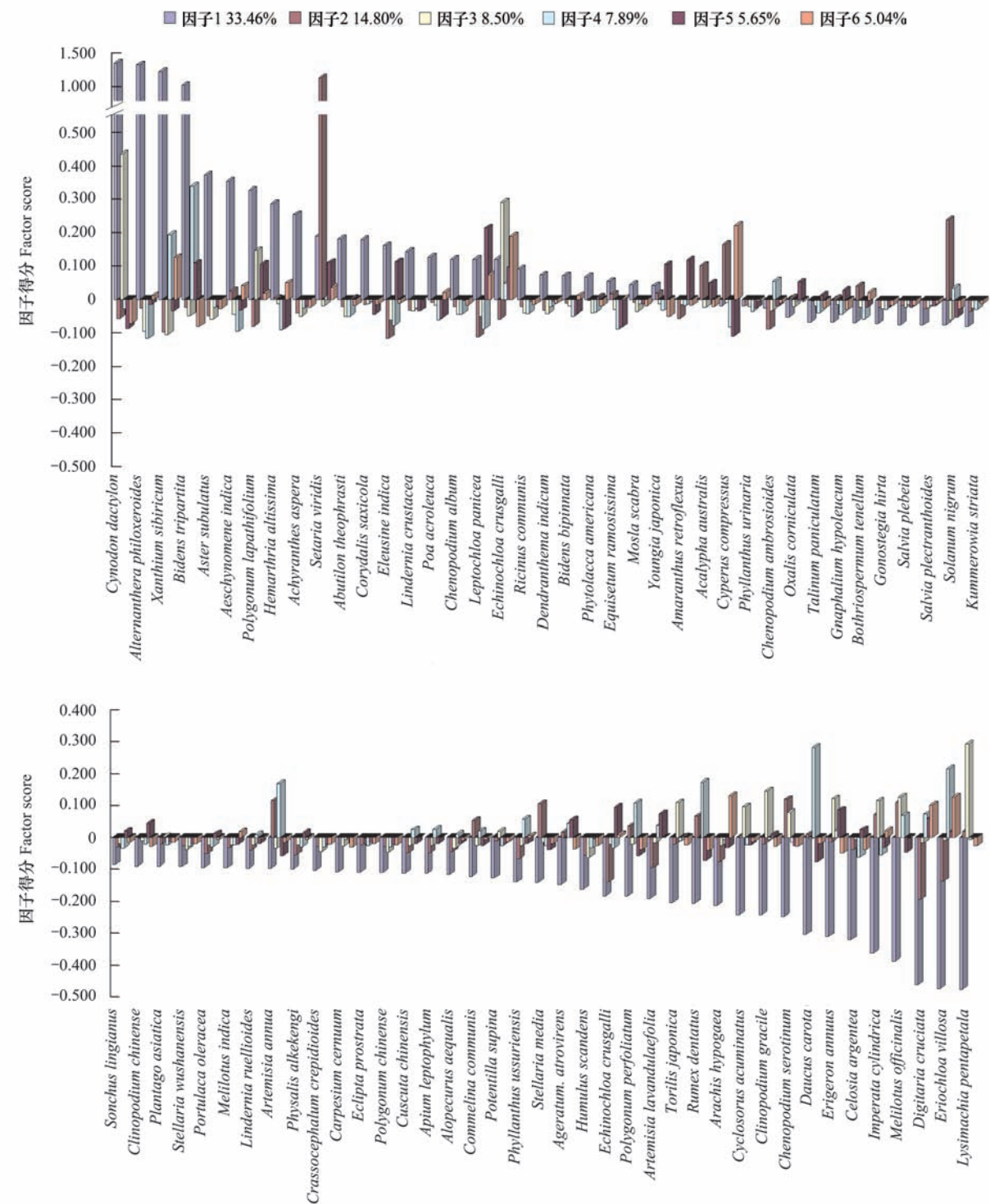


图4 三峡水库消落区中部植物群落结构因子得分图

Fig.4 The factor score of plant community structure in the middle area of WLFZ in TGR

度,物种替代程度越大,则说明在该海拔下响应越剧烈^[31-32],而响应剧烈程度相对较低的地区,更适合进行植被恢复工作的开展。比较同一海拔下地区间 β 多样性指数,没有显著性差异,说明在同一海拔下,三峡水库消落区各个地段生境多样性相似,生境分隔程度相同;但是在不同海拔上,上部和中部消落区的生境分隔程度要显著大于下部消落区,这主要是由于下部消落区受到水淹环境的影响较大,生境相似性也比上中部要高所致。

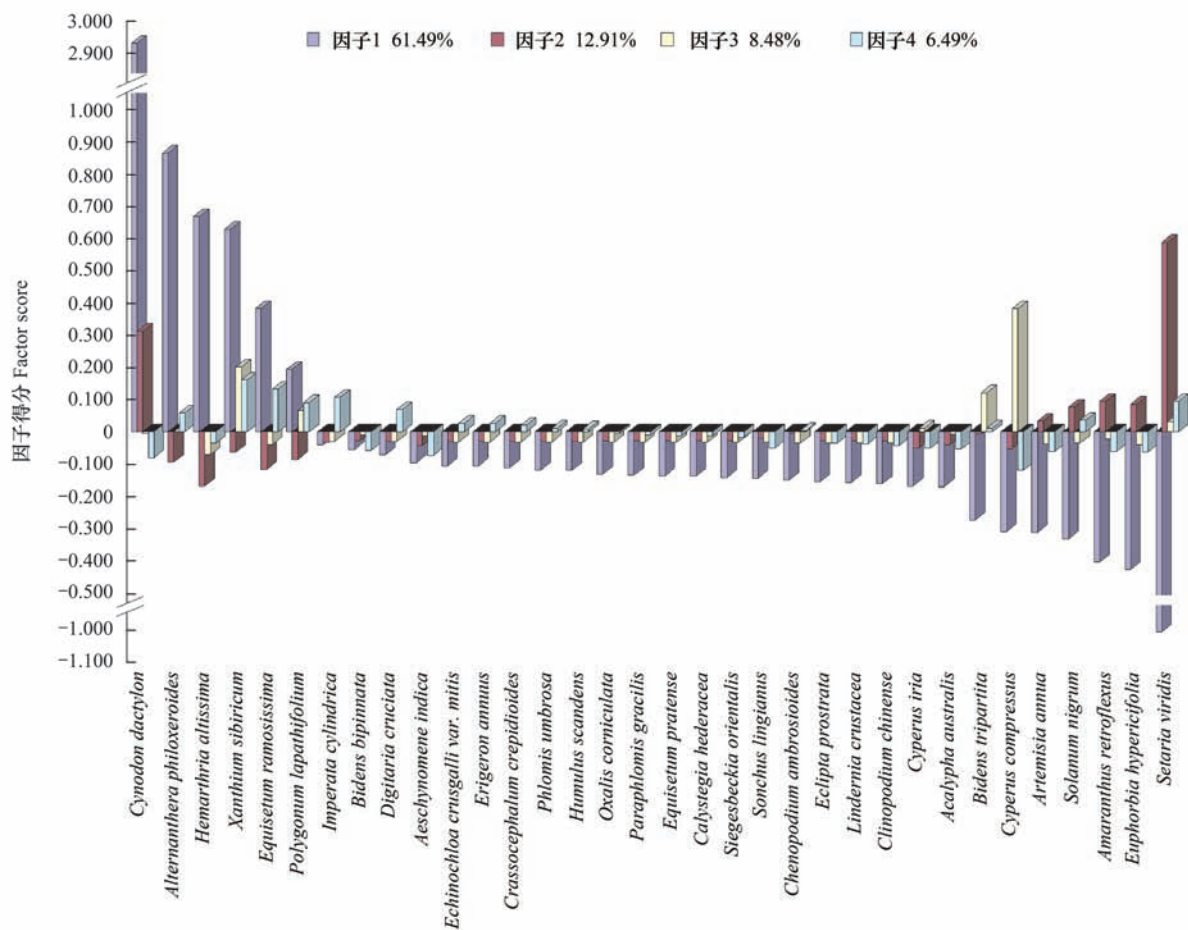


图5 三峡水库消落区下部植物群落结构因子得分图

Fig. 5 The factor score of plant community structure in the downward area of WLFZ in TGR

4.2 三峡水库消落区植物群落结构变化及群落稳定性分析

对于三峡地区而言,原有的自然消落区已经全部处于淹水线以下,新形成的水库消落区生存环境已发生了较大改变,在周期性反季节水淹环境下,形成了大量次生裸地,而众多水库消落区植物则在该环境下生长繁衍。总体来讲,消落区植物群落结构在不同的水淹环境影响下,海拔高程自上而下发生了较大变化。

由图3—图5可以看出,水库消落区上部受到水淹胁迫较小,物种定居最易,因子得分差距较大,其中狗尾草群落的优势度较为明显,其他植物群落多属于从属地位。水库消落区中部各植物群落得分相比上部差距缩小,主要是由于水淹胁迫进一步增强,植物物种进入更加困难,部分竞争种选择退避(如黄花蒿,野黍,十字马唐等),而另一部分耐水淹胁迫种竞争力上升(如狗牙根,莎草等),这就造成了水库消落区中部植物群落结构相比上部和下部都更为复杂,共优群落相比单优群落在竞争中更具有优势。水库消落区下部由于受到水淹胁迫最强,出露时间最短,仅有少数几种耐水淹胁迫种可以形成稳定群落(如狗牙根,牛鞭草等),植物群落结构趋于单一化,其因子得分的表现则为狗牙根群落的得分要远远大于其他植物群落。

自20世纪初以来,演替成为生态学中最重要而又多争议的基本概念之一。在一个从未生长过植物或者原来群落被完全破坏而不复存在的裸地上,一旦有植物种的个体或繁殖体迁入或以某种方式传播而出现,并开始定居、生长发育并繁衍后代,那么该裸地上的演替便已发生。

Grime提出了植物适应对策的C-R-S对策模型,R-对策种适应于临时性资源丰富的环境;C-对策种生存于资源一直处于丰富的生境中,竞争力强,称为竞争种;S-对策种生存于资源较为贫瘠的生境,抗逆性强,称之为耐胁迫种。次生演替过程中物种对策的格局是可以预测的,一般先锋种为R-对策种,演替中期多为C-对

策种,而顶级群落中多为 S-对策种^[1,2]。从群落稳定性上来看,目前消落区下部多为耐胁迫种,稳定性相对于消落区中上部略高。由于三峡水库 2006 年汛后提高蓄水位到 156 m 进入中水位运行,该阶段的水库消落区下部区域便已处在淹水线以下;自 2009 年起进行 175 m 的正常蓄水位运行,三峡水库大面积的消落区全面形成。故从时间上来看,水库消落区下部从受淹到基本形成已有 4 到 5 年,植物群落结构已经相对稳定,文章所调查的结果与此也比较吻合。但是就水库消落区整体植被而言,其群落结构尚未稳定,还处在一个逐渐变化的过程中,估计随着水库蓄水高程稳定在 175 m,消落区上中部群落组成也会逐渐趋于单一化,能够适应周期性、反季节、高强度水淹条件的耐胁迫种和利用有限的出露时间完成其生活史的竞争种,将成为水库消落区的主要植物种类。

Tilman 基于植物资源竞争理论,提出资源比率理论,该理论认为一个种在限制性资源比率为某一值时表现为强竞争者,而当限制性资源比率改变时,因为种的竞争力不同,组成群落的植物种也随之改变^[1-2]。演替是通过资源的变化而引起竞争关系变化而实现的。现阶段水库消落区下部,形成时间较长,由于受到水淹季节、水淹强度、光照时长等限制性因素影响,狗牙根呈现了较强的竞争力,并主导了该区域的植物群落结构。对于水库消落区上部,形成时间不长,植物群落结构稳定性并不强,狗尾草,黄花蒿等竞争种表现出了较强的竞争力。消落区中部处在一个过渡区域,随着水淹时长、强度的逐渐上升,光照的逐渐减少,环境资源结构发生改变,狗牙根、牛鞭草等耐胁迫种的竞争优势逐渐体现。这也从一个侧面反映了,随着外界环境的逐渐改变,具有不同竞争力的植物物种也随之改变,并逐渐趋于稳定。具体群落结构变化模型见图 6。

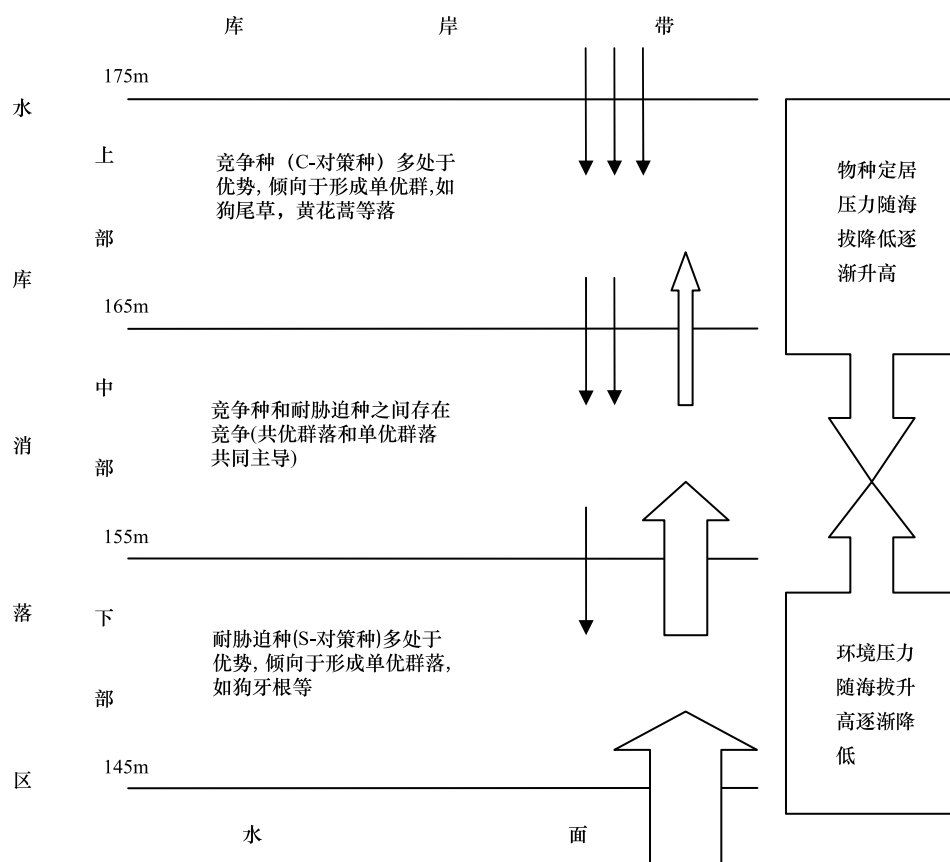


图 6 三峡水库消落区植物群落结构变化模型

Fig. 6 The model of plant community structure in WLFZ in TGR

综上所述,在受到不同程度的水淹条件下,三峡水库消落区植物多样性和植物群落结构沿海拔发生了较大改变。水淹强度越大,出陆时间越短,植物多样性越低;水淹强度越小,出陆时间越长,植物多样性越高。就植物群落结构和稳定性而言,环境资源结构决定了三峡水库消落区植物群落结构,各植物物种在不同的消落

区部位呈现出了不同的生存对策。目前水库消落区下部由于历经周期性水淹最久,其植物群落稳定性相对于中上部略高。但是由于水库消落区整体形成时间不长,其植物群落结构尚未稳定,还处在一定变化之中。

References:

- [1] Jiang Z G, Ma K P, Han X G. Conservation Biology. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1997.
- [2] Zhang J T. Quantitative Vegetation Ecology, Beijing: University of Science and Technology of China Press, 1995.
- [3] Dynesius M, Nilsson C. Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world. Science, 1994, 266(5186): 753-762.
- [4] Jungwirth M, Muhar S, Schmutz S. Re-establishing and assessing ecological integrity in riverine landscapes. Freshwater Biology, 2002, 47(4): 867-887.
- [5] Opheim T. Wetland losses continue but have slowed. National Wetlands Newsletter, 1997, 19(6): 7-9.
- [6] Johnson W C. Riparian vegetation diversity along regulated rivers: contribution of novel and relict habitats. Freshwater Biology, 2002, 47(4): 749-759.
- [7] Wang Y, Wu J Q, Huang H W, Liu S B. Quantitative analysis of plant communities in water-level-fluctuation zone within Three Gorges Reservoir Area of Changjiang River. Journal of Wuhan Botanical Research, 2004, 22(4): 307-314.
- [8] He J S, Chen W L, Jiang M X, Jin Y X, Hu D, Lu P. Plant species diversity of the degraded ecosystems in the Three Gorges Region. Acta Ecologica Sinica, 1998, 18(4): 399-407.
- [9] Wu J G, Huang J H, Han X G, Xie Z Q, Gao X M. Three-Gorges Dam-experiment in habitat fragmentation. Science, 2003, 300(5623): 1239-1240.
- [10] Wang Y, Li E H, Wu J Q. A preliminary study on the vascular plant flora of the water-level-fluctuating zone in the Three Gorge Reservoir area. Journal of Wuhan Botanical Research, 2002, 20(4): 265-274.
- [11] Yang F, Liu W, Wang J, Liao L, Wang Y. 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(2): 89-98.
- [12] Liu W W, Yang F, Wang J, Wang Y. A study on the plant species dynamic distribution in the water-level-fluctuating zone of main stream and bay of the Three Gorges Reservoir. Plant Science Journal, 2011, 29(3): 296-306.
- [13] Bai B W, Wang H Y, Li X Y, Feng Y L, Zhi L. A comparative study of the plant community of the future water-level-fluctuating zone and the natural water-level-fluctuating zone in the Three-Gorges Reservoir. Journal of Southwest Agricultural University: Natural Science, 2005, 27(5): 684-691.
- [14] Yang C D, Zhang X, Xiang J Y. Plant communities and distribution patterns in riparian zones of Three Gorge Reservoir Area. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(31): 13795-13796, 13866.
- [15] Wang Q, Liu H, Yuan X Z, Sun R, Wang J X. Pattern and biodiversity of plant community in water-level-fluctuation zone of Pengxi River after impoundment of Three Gorges Reservoir. Journal of Chongqing Normal University: Natural Science, 2009, 26(4): 48-54.
- [16] Zhang J C, Peng B Z. Study on riparian zone and the restoration and rebuilding of its degraded ecosystem. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(1): 56-63.
- [17] Wu J G, Huang J H, Han X G, Gao X M, He F L, Jiang M X, Jiang Z G, Primack R B, Shen Z H. The Three Gorges Dam: an ecological perspective. Frontiers in Ecology and Environment, 2004, 2(5): 241-248.
- [18] Wang Y, Liu Y F, Liu S B, Huang H W. Vegetation reconstruction in the water-level-fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir. Chinese Bulletin of Botany, 2005, 22(5): 513-522.
- [19] New T, Xie Z Q. Impacts of large dams on riparian vegetation: applying global experience to the case of China's Three Gorges Dam. Biodiversity and Conservation, 2008, 17(13): 3149-3163.
- [20] Zhang J T, Chen T G. A study on the biodiversity of plant communities in Guandi Mountains, Shanxi II: united diversity and β diversity. Journal of Shanxi University: Natural Science Edition, 2002, 25(2): 173-175.
- [21] Kang Y X, Kang B W, Liu J J, Li W H, Ji Z P. Structure and species diversity of *Xanthoceras sorbifolia* community in the Loess Plateau of North Shaanxi. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(16): 4328-4339.
- [22] Chen T G, Zhang J T. A comparison of fifteen species diversity indices. Henan Science, 1999, 17(S1): 55-57, 71.
- [23] Wang Y Y, Chen J W. The multivariate analysis of variance in processing clinical surgery longitudinal data. Chinese Journal of Health Statistics, 2009, 26(3): 244-246.
- [24] Shang Z H, Yao A X, Long R J, Guo X S, Xin M, Ma W Z. Diversity and quantitative analysis of plant communities of desert grassland in

- Xiangshan mountain of Ningxia Province. Journal of Gansu Agricultural University, 2004, 39(6): 644-650.
- [25] Liu L F, Cheng S X, Li Z L. Shengwu tongji, 2nd ed. Beijing: Beijing Normal University Press, 2007.
- [26] Wan L Q, Li X L, Su J K, Bai J R. Biomass estimation model of shrubs in Three Gorges Region of Yangtze River, China. Pratacultural Science, 2001, 18(5): 5-10, 15.
- [27] Sun G J, Liu P X, Pan J Y, Bai Y, Cheng Y. Influencing factors of modern agricultural implement and its countermeasures in Tongwei County, Gansu Province. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2009, 29(1): 179-181, 186.
- [28] Duan R Y, Wang X A, Huang M Y, Wang Z G, Wu G L. Ecological characteristics of *Larix chinensis* population near timberline on Taibai Mountain in China. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(2): 519-526.
- [29] Gao R M, Guo J P. Succession and prediction of the riparian forest in upper-reach of Wenyuhe Watershed. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(6): 1564-1572.
- [30] Jiang Z H, Jin G Z. Effects of selective cutting on intra-and interspecies competitions among major tree species in mixed broad leaved-Korean pine forest. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(9): 2179-2186.
- [31] Zhang L M, Chen B, Li Z Y. Analysis of the species diversity and community stability in local-community using the Neutral Theory. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(6): 1556-1563.
- [32] Chen B R, Li H S, Zhu Y X, Li G, Xin X P, Zhang H B, Zhou L. The spatial pattern and environmental interpretation of the plant community of Hulunber grassland. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(5): 1265-1271.

参考文献:

- [1] 蒋志刚, 马克平, 韩兴国. 保护生物学. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1997.
- [2] 张金屯. 植被数量生态学方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [7] 王勇, 吴金清, 黄宏文, 刘松柏. 三峡库区消涨带植物群落的数量分析. 武汉植物学研究, 2004, 22(4): 307-314.
- [8] 贺金生, 陈伟烈, 江明喜, 金义兴, 胡东, 路鹏. 长江三峡地区退化生态系统植物群落物种多样性特征. 生态学报, 1998, 18(4): 399-407.
- [10] 王勇, 厉恩华, 吴金清. 三峡库区消涨带维管植物区系的初步研究. 武汉植物学研究, 2002, 20(4): 265-274.
- [12] 刘维璋, 杨帆, 王杰, 王勇. 三峡水库干流和库湾消落区植被物种分布研究. 植物科学学报, 2011, 29(3): 296-306.
- [13] 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: 自然科学版, 2005, 27(5): 684-691.
- [14] 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, 13866.
- [15] 王强, 刘红, 袁兴中, 孙荣, 王建修. 三峡水库蓄水后澎溪河消落带植物群落格局及多样性. 重庆师范大学学报: 自然科学版, 2009, 26(4): 48-54.
- [16] 张建春, 彭补拙. 河岸带研究及其退化生态系统的恢复与重建. 生态学报, 2003, 23(1): 56-63.
- [18] 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.
- [20] 张金屯, 陈廷贵. 关帝山植物群落物种多样性研究 II. 统一多样性和 β 多样性. 山西大学学报: 自然科学版, 2002, 25(2): 173-175.
- [21] 康永祥, 康博文, 刘建军, 李文华, 李志平. 陕北黄土高原文冠果群落结构及物种多样性. 生态学报, 2010, 30(16): 4328-4339.
- [22] 陈廷贵, 张金屯. 十五个物种多样性指数的比较研究. 河南科学, 1999, 17(S1): 55-57, 71.
- [23] 王园园, 陈景武. 临床手术追踪数据的多元方差分析. 中国卫生统计, 2009, 26(3): 244-246.
- [24] 尚占环, 姚爱兴, 龙瑞军, 郭旭生, 辛明, 马文志. 宁夏香山荒漠草原区植物群落类型多样性及数量分析. 甘肃农业大学学报, 2004, 39(6): 644-650.
- [25] 刘来福, 程书肖, 李仲来. 生物统计 (第二版). 北京: 北京师范大学出版社, 2007.
- [26] 万里强, 李向林, 苏加楷, 白静仁. 长江三峡地区灌木生物量及产量估测模型. 草业科学, 2001, 18(5): 5-10, 15.
- [27] 孙国军, 刘普幸, 潘竟源, 白杨, 程英. 甘肃省渭源县现代农业影响因子分析及对策研究. 水土保持通报, 2009, 29(1): 179-181, 186.
- [28] 段仁燕, 王孝安, 黄敏毅, 王志高, 吴甘霖. 太白山林线附近太白红杉种群的生态特征. 生态学报, 2010, 30(2): 519-526.
- [29] 高润梅, 郭晋平. 文峪河上游河岸林的演替分析与预测. 生态学报, 2010, 30(6): 1564-1572.
- [30] 蒋子涵, 金光泽. 择伐对阔叶红松林主要组成树种种内、种间竞争的影响. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2179-2186.
- [31] 张立敏, 陈斌, 李正跃. 应用中理论分析局域群落中的物种多样性及稳定性. 生态学报, 2010, 30(6): 1556-1563.
- [32] 陈宝瑞, 李海山, 朱玉霞, 李刚, 辛晓平, 张宏斌, 周磊. 呼伦贝尔草原植物群落空间格局及其环境解释. 生态学报, 2010, 30(5): 1265-1271.

CONTENTS

Conservation strategies for <i>Ulmus elongata</i> based on the analysis of biological and ecological factors	GAO Jianguo, ZHANG Yi, WU Yuhuan, et al (5287)
Vertical distribution of methanogen community structures in <i>Phragmites australis</i> marsh soil in the Min River estuary	SHE Chenxing, TONG Chuan (5299)
Energy balance closure and its effects on evapotranspiration measurements with the eddy covariance technique in a cropland	LIU Du, LI Jun, YU Qiang, TONG Xiaojuan, et al (5309)
Effects of soil water potential on the growth and physiological characteristics of <i>Populus tomentosa</i> pulpwood plantation under subsurface drip irrigation	XI Benye, WANG Ye, DI Nan, et al (5318)
Physiological indices of leaves of jujube (<i>Zizyphus jujuba</i>) damaged by <i>Apolygus lucorum</i>	GAO Yong, MEN Xingyuan, YU Yi, et al (5330)
Economic analysis of wetland resource protection: a case study of Beijing Wild Duck Lake	WANG Changhai, CUI Lijuan, MA Muyuan, et al (5337)
Comparative studies on the farmers' willingness to accept eco-compensation in wetlands nature reserve	WANG Changhai, CUI Lijuan, MAO Xufeng, et al (5345)
Remote sensing estimation models of <i>Suaeda salsa</i> biomass in the coastal wetland	FU Xin, LIU Gaohuan, HUANG Chong, LIU Qingsheng (5355)
Effects of N addition on soil organic carbon components in an alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau	ZHENG Jiaojiao, FANG Huajun, CHENG Shulan, et al (5363)
Estimating carbon emissions from forest fires during 2001 to 2010 in Daxing'anling Mountain	HU Haiqing, WEI Shujing, SUN Long (5373)
Predicting the effects of soil water potential on the growth of cut lily	DONG Yongyi, LI Gang, AN Dongsheng, et al (5387)
Rain enrichment-accelerated carbon emissions from soil in a <i>Nitraria sphaerocarpa</i> community in hyperarid region	LIU Dianjun, WU Bo, LI Yonghua, et al (5396)
Response of soil organic carbon sequestration to the "Grain for Green Project" in the hilly Loess Plateau region	XU Mingxiang, WANG Zheng, ZHANG Jin, et al (5405)
Temporal and spatial variability in soil respiration in five temperate forests in Xiaoxing'an Mountains, China	SHI Baoku, JIN Guangze, WANG Zhaoyang (5416)
Distributions pattern of phosphorus, potassium and influencing factors in the upstream of Shule river basin	LIU Wenjie, CHEN Shengyun, HU Fengzu, et al (5429)
COI1 is involved in jasmonate-induced indolic glucosinolate biosynthesis in <i>Arabidopsis thaliana</i>	SHI Lu, LI Mengsha, WANG Lihua, et al (5438)
Modeling canopy rainfall interception of a replanted <i>Robinia pseudoacacia</i> forest in the Loess Plateau	WANG Yanping, WANG Li, WEI Sanping (5445)
The differences of plant community diversity among the different altitudes in the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir	LIU Weiwei, WANG Jie, WANG Yong, et al (5454)
Low-frequency drought variability based on SPEI in association with climate indices in Beijing	SU Hongxin, LI Guangqi (5467)
Response of upland jujube tree trunk diameter to different ecological factors	ZHAO Ying, WANG Youke, HAN Lixin, et al (5476)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a young <i>Caragana korshinskii</i> plantation	ZHANG Fan, CHEN Jianwen, WANG Mengben (5484)
Interspecific segregation of species in tree and shrub layers of the <i>Pinus bungeana</i> Zucc. ex Endl. community in the Wulu Mountains, Shanxi Province, China	WANG Lili, BI Runcheng, YAN Ming, et al (5494)
Effects of long-term fertilization on soil microbial biomass carbon and nitrogen and enzyme activities during maize growing season	MA Xiaoxia, WANG Lianlian, LI Qinghui, et al (5502)
A model to predict dry matter accumulation dynamics in wheat based on the normalized method	LIU Juan, XIONG Shuping, YANG Yang, et al (5512)
Optimization strategies and an aesthetic evaluation of typical plant communities in the Shanghai Green Belt	ZHANG Kaixuan, LING Huanran, DA Liangjun (5521)
Carbon footprint evaluation research on the tourism transportation system at tourist attractions; a case study in Hengshan	DOU Yindi, LIU Yunpeng, LI Bohua, et al (5532)
An urban ecosystem assessment method and its application	SHI Huichun, LIU Wei, HE Jian, et al (5542)
Seasonal variations in distribution and biological characteristics of snailfish <i>Liparis tanakae</i> in the central and southern Yellow Sea	ZHOU Zhipeng, JIN Xianshi, SHAN Xiujuan, et al (5550)
Effects of cyanobacterial accumulation and snail grazing on the growth of <i>vallisneria natans</i>	HE Hu, HE Yuhong, JI Yachan, et al (5562)
The structure and thermal insulation capability of <i>Mustela sibirica manchurica</i> winter pelage in Heilongjiang Province	LIU Yu, ZHANG Wei (5568)
Ontogenetic shifts in selected body temperature and thermal tolerance of the tiger frog, <i>Hoplobatrachus chinensis</i>	FAN Xiaoli, LEI Huanzong, LIN Zhihua (5574)
The influence of tubificid worms bioturbation on organic phosphorus components and their vertical distribution in sediment of Lake Taihu	BAI Xiuling, ZHOU Yunkai, ZHANG Lei (5581)
Review and Monograph	
Research advances in ecological assessment of urban greenspace	MAO Qizheng, LUO Shanghua, MA Keming, et al (5589)
Ecological hot topics in global change on the 2 nd International Young Ecologist Forum	WAN Yun, XU Lili, GENG Qifang, et al (5601)
Scientific Note	
Screening trial for the suitable plant species growing on sand dunes in the alpine valley and its recovery status in the Yarlung Zangbo River basin of Tibet, China	SHEN Weishou, LI Haidong, LIN Naifeng, et al (5609)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 17 期 (2012 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 17 (September, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元