

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 10 期 Vol.32 No.10 **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 10 期

2012 年 5 月 (半月刊)

目次

基于系统动力学的城市住区形态变迁对城市代谢效率的影响.....	李旋旗,花利忠 (2965)
居住-就业距离对交通碳排放的影响	童抗抗,马克明 (2975)
经济学视角下的流域生态补偿制度——基于一个污染赔偿的算例	刘涛,吴钢,付晓 (2985)
旅游开发对上海滨海湿地植被的影响.....	刘世栋,高峻 (2992)
汶川地震对大熊猫主食竹——拐棍竹竹笋生长发育的影响.....	廖丽欢,徐雨,冉江洪,等 (3001)
江西省森林碳蓄积过程及碳源/汇的时空格局.....	黄麟,邵全琴,刘纪远 (3010)
伊洛河流域草本植物群落物种多样性.....	陈杰,郭屹立,卢训令,等 (3021)
新疆绿洲农田不同连作年限棉花根际土壤微生物群落多样性.....	顾美英,徐万里,茆军,等 (3031)
荒漠柠条锦鸡儿 AM 真菌多样性.....	贺学礼,陈杰,郭辉娟,等 (3041)
彰武松、樟子松光合生产与蒸腾耗水特性	孟鹏,李玉灵,尤国春,等 (3050)
中亚热带常绿阔叶林粗木质残体呼吸季节动态及影响因素.....	刘强,杨智杰,贺旭东,等 (3061)
盐土和沙土对新疆常见一年生盐生植物生长和体内矿质组成的影响	张科,田长彦,李春俭 (3069)
长白山北坡林线灌木草本植物与岳桦的动态关系.....	王晓东,刘惠清 (3077)
不同生态条件对烤烟形态及相关生理指标的影响.....	颜侃,陈宗瑜 (3087)
基于因子分析的首蓿叶片叶绿素高光谱反演研究	肖艳芳,官辉力,周德民 (3098)
三峡库区消落带水淹初期土壤种子库月份动态.....	王晓荣,程瑞梅,唐万鹏,等 (3107)
三种利用方式对羊草草原土壤氨氧化细菌群落结构的影响.....	邹雨坤,张静妮,陈秀蓉,等 (3118)
西洋参根残体对自身生长的双重作用	焦晓林,杜静,高微微 (3128)
不同程度南方菟丝子寄生对入侵植物三叶鬼针草生长的影响	张静,闫明,李钧敏 (3136)
山东省部分水岸带土壤重金属含量及污染评价.....	张菊,陈诗越,邓焕广,等 (3144)
太湖蓝藻死亡腐烂产物对狐尾藻和水质的影响.....	刘丽贞,秦伯强,朱广伟,等 (3154)
不同生态恢复阶段无瓣海桑人工林湿地中大型底栖动物群落的演替.....	唐以杰,方展强,钟燕婷,等 (3160)
江西鄱阳湖流域中华秋沙鸭越冬期间的集群特征.....	邵明勤,曾宾宾,尚小龙,等 (3170)
秦岭森林鼠类对华山松种子捕食及其扩散的影响	常罡,王开锋,王智 (3177)
内蒙古草原小毛足鼠的活动性、代谢特征和体温的昼夜节律	王鲁平,周顺,孙国强 (3182)
温度和紫外辐射胁迫对西藏飞蝗抗氧化系统的影响.....	李庆,吴蕾,杨刚,等 (3189)
“双季稻-鸭”共生生态系统 C 循环	张帆,高旺盛,隋鹏,等 (3198)
水稻籽粒灌浆过程中蛋白质表达特性及其对氮肥运筹的响应.....	张志兴,陈军,李忠,等 (3209)
专论与综述	
海水富营养化对海洋细菌影响的研究进展	张瑜斌,章洁香,孙省利 (3225)
海洋酸化效应对海水鱼类的综合影响评述.....	刘洪军,张振东,官曙光,等 (3233)
入侵种薇甘菊防治措施及策略评估.....	李鸣光,鲁尔贝,郭强,等 (3240)
研究简报	
渭干河-库车河三角洲绿洲土地利用/覆被时空变化遥感研究	孙倩,塔西甫拉提·特依拜,张飞,等 (3252)
2009 年冬季东海浮游植物群集	郭术津,孙军,戴民汉,等 (3266)
新疆野生多伞阿魏生境土壤理化性质和土壤微生物.....	付勇,庄丽,王仲科,等 (3279)
塔里木盆地塔里木沙拐枣群落特征	古丽努尔·沙比尔哈孜,潘伯荣,段士民 (3288)
矿区生态产业共生系统的稳定性.....	孙博,王广成 (3296)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-05	



封面图说: 哈巴雪山和金沙江——“三江并流”自然景观位于青藏高原南延部分的横断山脉纵谷地区,由怒江、澜沧江、金沙江及其流域内的山脉组成。它地处东亚、南亚和青藏高原三大地理区域的交汇处,是世界上罕见的高山地貌及其演化的代表地区,也是世界上生物物种最丰富的地区之一。哈巴雪山在金沙江左岸,与玉龙雪山隔江相望。图片反映的是金沙江的云南香格里拉段,远处为哈巴雪山。哈巴雪山主峰海拔 5396 m,而最低江面海拔仅为 1550 m,山脚与山顶的气温差达 22.8℃,巨大的海拔差异形成了明显的高山垂直性气候。

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

DOI: 10.5846/stxb201104120479

王晓荣,程瑞梅,唐万鹏,肖文发,潘磊,史玉虎,封晓辉. 三峡库区消落带水淹初期土壤种子库月份动态. 生态学报, 2012, 32(10): 3107-3117.

Wang X R, Cheng R M, Tang W P, Xiao W F, Pan L, Shi Y H, Feng X H. Monthly dynamic variation of soil seed bank in water-level-fluctuating zone of Three Gorges Reservoir at the beginning after charging water. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(10): 3107-3117.

三峡库区消落带水淹初期土壤种子库月份动态

王晓荣^{1,2}, 程瑞梅^{1,*}, 唐万鹏², 肖文发¹, 潘磊², 史玉虎², 封晓辉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. 湖北省林业科学研究院, 武汉 430079)

摘要:干湿交替往往导致土壤种子库产生剧烈变化,严重影响着地上植被的自然恢复和生长。采用垂直空间梯度代替水淹时间梯度,研究了消落带水淹初期土壤种子库月份动态变化。结果表明:消落带内不同土地环境类型土壤种子库具有不同的月份变化趋势,分别是采伐迹地土壤种子库密度逐渐增加,弃耕地则逐渐降低。随着垂直空间梯度的升高,5、7、9月份消落带土壤种子库密度都表现为逐渐增加,说明水淹时间越长越不利于土壤种子的储存。不同月份共同出现的优势物种包括地果、黄鹌菜、具芒碎米莎草、毛马唐、婆婆纳、匍茎通泉草、鼠曲草、水田碎米荠、雾水葛、细穗腹水草、香附子、一年蓬、知风草、苎麻,这些物种构成了消落带土壤种子库的主要组成部分。各月份土壤种子库的物种生活型非常接近,主要以1年生草本和多年生草本为主,相对缺少乔灌木,且生活型百分比在不同海拔梯度存在差异。结合土壤种子库物种水分生态功能,将其划分为湿生植物、湿中生植物、中生植物、旱中生植物,发现其主要以中生植物为主,高海拔区段旱中生植物比例相对较高,低海拔区段湿中生植物比例相对较高,而湿生植物比例则变化较小,水淹导致种子库植物呈现向中生和湿中生植物类型的变化趋势。消落带土壤种子库植物具有较高的生物多样性,但不同海拔区段植物变异性较高,没有形成绝对优势的物种,植被群落明显处于演替早期。研究认为,消落带水淹初期,土壤生境、物种组成以及种子储量都发生着剧烈的变化,仅依靠土壤种子库进行消落带植被恢复与重建是不现实的,必须要给予更多的人为干预。

关键词:三峡库区;消落带;水淹初期;土壤种子库;水分生态类型

Monthly dynamic variation of soil seed bank in water-level-fluctuating zone of Three Gorges Reservoir at the beginning after charging water

WANG Xiaorong^{1,2}, CHENG Ruimei^{1,*}, TANG Wanpeng², XIAO Wenfa¹, PAN Lei², SHI Yuhu², FENG Xiaohui¹

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

2 Hubei Academy of Forestry, Wuhan 430079, China

Abstract: The periodical fluctuation of water-level-fluctuating zone in Three Gorges Reservoir led to the variation of the soil ecological environment between wet and dry state. This variation inevitably produce a greater change in the soil seed bank, which further affects the standing vegetation recovery and growth. In this paper, we studied the dynamic variation of soil seed bank in water-level-fluctuating zone of Three Gorges Reservoir at the beginning after charging water was studied by substituting flooding time gradient with vertical space gradient. As soil seed bank density of clear-cutting land increased gradually with time, the density of abandoned farmland decreased. With the vertical space gradient increasing, density of soil seed bank in water-level-fluctuating zone in May, July, September showed gradual increasing trend respectively. The

基金项目:林业科技支撑计划(2011BAD38B0403);国家林业局公益行业专项资助(20114008)

收稿日期:2011-04-12; 修订日期:2011-09-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chengrm@forestry.ac.cn

above results suggested that the longer flooding dures, the smaller soil seeds storage amount is. Co-occurring dominant species in different months, including *Ficus tikoua*, *Youngla japonica*, *Cyperus microiria*, *Digitaria chrysoblephara*, *Veronica didyma*, *Mazus miquelii*, *Gnaphalium affine*, *Cardamine lyrata*, *Pouzolzia zeylanica*, *Veronicastrum stenostachyum*, *Cyperus rotundus*, *Erigeron annuus*, *Eragrostis ferruginea* and *Boehmeria nivea*, were main components of soil seed bank. These species had a strong adaptability to the fluctuating environmental changes. The life-form composition of soil seed bank in different months was very similar. They were mainly composed of seeds of annual and perennial herbs, while being relatively lack of the seeds of shrub and arbor. Moreover, the life form composition proportions of soil seed banks of different altitude space were different. Combining with water ecological function of the soil seed bank, we can divided it into hygrophytes, hygromesophytes, mesophytes and mesoxerophytes. They were mainly mesophytes based, the proportion of mesoxerophytes in high-altitude section and that of hygromesophytes in low altitudes of were relatively high, while the proportion of hygrophytes in different altitude section in different months changes only a little. This indicated water flooded caused mesophytes and hygromesophytes gradually increasing in the soil seed bank, which was also the change trend of plant water ecological function type in water-level-fluctuating zone. The plants in soil seed bank had higher biological diversity as well as the plant species was high variable in different elevation sections and was lack of absolute dominant species. The vegetation communities were obviously in its early succession stage. In conclusion, from the results of the soil seed bank of water-level-fluctuating zone in Three Gorges Reservoir, vegetation restoration and reconstruction of the potential were unrealistic. This suggested that the changes of habitat, spesies composition and seed reserves of the soil seed bank were drastic at the beginning after charging water. In order to restore the vegetation of water-level-fluctuating zone more quickly, more manual intervention need to be introduced rather than only depending on the original ones.

Key Words: Three gorges reservoir; water-level-fluctuating zone; the beginning after charging water; soil seed bank; water ecotypes

土壤种子库是指存在于土壤表层凋落物和土壤中全部存活种子的总和^[1],在一定程度上可以反映以往植被的状况,也预示着未来的植被结构和演替动态。一般而言,种子库都是由于种子扩散产生的,种子借助各种媒介力量扩散进入土壤种子库,随着种子的被摄食、腐烂或萌发而形成一个动态的过程^[2],与植物的繁殖物候以及所处的环境紧密相关,且植物本身的生物学特性、传播方式以及水位变化、人为干扰等均均为影响土壤种子库动态的重要因素^[3-4]。所以,土壤种子库的动态变化过程以及受干扰程度,往往都会成为影响植物群落保护和恢复的关键。

消落带是由于季节性水位涨落而使水库周边被淹没土地出露水面的一段特殊区域,处于水陆生态系统过渡地带,已经成为人类急需需要保护和管理的生境类型之一。三峡水库属于反季节性的大型水库,水位周期性涨落产生了干湿交替的生境,同时水土资源的不合理利用彻底改变了自然的水文状况,原有植被早已破坏殆尽,区域生态系统产生了严重的生态退化现象^[5],表现出一定易变性、不稳定性和脆弱性^[6]。特别是水库消落带形成初期,水淹导致土壤生境承受着由于干到湿的剧烈变化,对区域内植物的光和作用、呼吸作用、生长发育、繁育及物候产生巨大的制约作用,使得原来多数喜旱生的植物因难以忍受长时间水淹而消失,如何快速恢复和重建消落带植被,恢复消落带生态系统的基本生态功能,已经成为消落带建设成功与否的关键。

近年来,通过土壤种子库研究来探讨植被自身恢复潜力已经成为生态学研究的一个热点。许多学者对水位变化干扰方式下的种子库进行了不同程度的探讨,包括河岸带土壤种子库物种的组成^[7]、不同植被的种子库储量和特征^[8-9]、分布格局^[4,10]、动态变化^[11-12]、种子库与地表植被的关系^[13-14]、水位涨落干扰对种子库的影响^[15-16]、种子库在植被恢复过程中的应用^[4,17]等方面,但对消落带区域水淹初期阶段土壤种子库月份动态变化却鲜见报道。

本研究采用选择垂直空间梯度代替水淹时间梯度的方法,以湖北省秭归县典型消落带为研究对象,研究

水淹初期不同月份消落带土壤种子库的数量、组成、结构、分布、变化规律,旨在探讨:(1)不同时间段消落带种子库的数量和组成的变化;(2)以垂直空间梯度代替水淹时间梯度,土壤种子库的物种组成特征的时空变化;(3)初步评价水淹初期消落带土壤种子库在其植被快速恢复和重建过程中的潜力。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

研究区域紧邻三峡大坝,其地理位置为北纬 30°38′14″—31°11′31″,东经 110°00′04″—110°18′41″。气候属亚热带大陆性季风气候,气候温暖湿润,四季分明,雨热同季,热量充沛。年平均气温为 17.9℃,≥10℃积温 5723.6℃,年平均降水量为 1006.8 mm,年日照时间 1631.5 h,无霜期平均为 260 d 左右。消落带回水区内地形起伏较大,土层瘠薄且易风化岩层出露较多,水土流失极其严重。

按照三峡水库预定运行调度方案,每年汛期(6—9月)水库水位降至最低的 145 m,于 10 月底开始蓄水到最高水位 175 m 且保持到 12 月,而后水位又重新逐次降低,这样在一年内库区周围形成垂直距离为 30 m 的消落带区域^[18]。2007 年试验性蓄水位为 156 m,2008 年最高蓄水位为 172.8 m,连续两年消落带未完全淹没。受人为种植、工程清库以及水位涨落等因素的影响,消落带内原生植被早已消失殆尽,存在以采伐迹地和弃耕地为主的土地环境类型。采伐迹地内主要优势木本植物包括地果(*Ficus tikoua*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)、乌桕(*Sapium sebiferum*)等,优势草本为毛马唐(*Digitaria ciliaris*)、野苘蒿(*Crassocephalum crepidioides*)、商陆(*Phytolacca acinosa*)、香附子(*Cyperus rotundus*)等,弃耕地的主要优势木本植物包括地果、茅莓(*Rubus parvifolius*)、盐肤木,优势草本为毛马唐、金盏银盘(*Bidens pilosa*)、具芒碎米莎草(*Cyperus microiria*)等。水位下降后,消落带内生长的优势乔灌植物多是以一些未被淹死而继续萌生生长的植物或者依赖土壤中贮存的种子萌发形成的植物为主,植株个体矮小且数量少、盖度低,形成以草本为主的植被外貌。

1.2 野外植被调查取样

2009 年,在消落带回水区选取地理条件相似且具有代表性的采伐迹地和弃耕地样地各 2 块,采伐迹地 145—185 m,弃耕地 145—175 m(弃耕地 175 m 以上一般都为耕地,故不存在原生植被),具体样地情况见表 1。以垂直空间梯度代替水淹时间梯度,在每块样地内分别以海拔 145 m、155 m、165 m、175 m、185 m 为分界线,平行水面将样地划分成 145—155 m、155—165 m、165—175 m、175—185 m 相邻的 4 段样带,且将存有原生植被的消落带缓冲带(175—185 m)作为对试样带。分别于水位下降初期(5 月)、水位下降中期(7 月)、水位上升前期(9 月),选择每个区段正中央,与分界线平行拉成样线,每隔 4 m 设置一个取样点,作为该区段的一个重复,每个区段共设 5 次重复。鉴于消落带土壤种子库主要分布于表层 5 cm 厚度土壤内^[19],应用内径 5 cm、高 5 cm 的环刀,在每一个取样点采用梅花型布样取 5 次,最后合为 1 份土样。这样,每个采样月份取 70 份土样,共取 210 份种子库土样。

表 1 三峡库区消落带固定样地概况
Table 1 Permanent plots of water-level-fluctuating zone of Three Gorges Reservoir

样地编号 Plot number	海拔/m Altitude	坡度/(°) Slope degree	坡向 Slope aspect	纬度 Latitude	经度 Longitude	地理位置 Geography location	土地环境类型 Land environmental types
1	145—185	32—42	北偏西	N30°51.81′	E 110°55.893′	秭归县松树坳	采伐迹地
2	145—175	27.5—37	北偏西	N30°52.41′	E 110°55.113′	秭归县杉木溪	弃耕地
3	145—175	30—33.2	北偏东	N30°53.05′	E 110°53.586′	秭归县中坝村	弃耕地
4	145—185	22—32	北偏东	N30°52.51′	E 110°54.726′	秭归县兰陵溪	采伐迹地

1.3 室内萌发

种子库萌发在中国林科院自动控温温室内进行。将采集的土样过 4 mm 筛子,除去石块和杂质等后混合

均匀,平均分成2份,平铺于装有厚度约为3 cm的干沙作为基质(用烘箱经过120℃高温烘烤12 h,确保沙子内的种子死亡)、大小为50 cm×50 cm的萌发盘内,厚度大约为1—2 cm。温室内光照充足,温度为20—25℃,每天适时浇水,保持土壤表面的湿润,保证土壤中的种子能够尽可能充分萌发。4 d为一个统计周期,鉴定幼苗,记录萌发幼苗的种类和数量,同时将其去除。对于未辨认出的幼苗进行移栽到单个花盆,待其长大直至可鉴定为止。当萌发数量较少时翻动土壤,保证其继续萌发,直至连续2周无种子萌发为止。2009年5月的样品采回后未立即进行萌发,在4℃光照培养箱中保存萌发^[11],其余月份样品则采回及开始萌发,实验于2009年8月17日开始,到2010年1月5日结束,共历时135 d。

1.4 数据分析

所有数据统计和作图采用SPSS 16.0和Microsoft Excel 2003软件进行处理和分析。将取样面积内的种子数量换算成1 m²的数量,以 $\log(x+1)$ 进行对数转换后,利用单因素方差分析(one-way ANOVA)的方法计算不同环境状况下土壤种子库密度的差异。

参照王相磊^[11]和李吉玫^[20]等人的研究,选取Shannon-Wiener和Simpson多样性指数、Pielou均匀度指数、Margalef丰富度指数计算种子库萌发物种的多样性:

$$\text{Simpson 多样性指数} \quad D = 1 - \sum_{i=1}^S \frac{N_i(N_i - 1)}{N(N - 1)}$$

$$\text{Shannon-Wiener 多样性指数} \quad H = - \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i)$$

$$\text{Margalef 丰富度指数} \quad D = \frac{S - 1}{\ln N}$$

$$\text{Pielou 均匀度指数} \quad E = H / \ln S$$

式中, N 表示全部种的个体总数; N_i 表示种 i 的个体数; P_i 为第 i 个物种占总物种数的比例; S 表示物种数。

土壤种子库萌发植物重要值的计算方法:

$$\text{重要值} = \text{相对密度} + \text{相对频度}$$

$$\text{相对密度} = \frac{\text{某个种的个体数}}{\text{所有种的个体总数}} \times 100$$

$$\text{相对频度} = \frac{\text{某个种的频度之和}}{\text{所有种的频度之和}} \times 100$$

2 结果与分析

2.1 不同月份消落带土壤种子库数量特征

2.1.1 不同月份不同土地环境类型土壤种子库密度

如图1所示,随着月份的延伸,消落带内两种土地环境类型土壤种子库密度具有不同的变化趋势,即采伐迹地表现为逐渐增加,弃耕地逐渐降低。对比两者差异可知,5月份和7月份,弃耕地较采伐迹地分别高157.80%和9.24%,9月份则是采伐迹地较弃耕地高41.09%。经方差分析,5月份采伐迹地和弃耕地种子库储量存在极显著差异($P < 0.01$),而7月份和9月份则不具有显著性差异($P > 0.05$),可见水位下降初期,二者土壤种子库储量具有较大的差异,而随种子的萌发生长以及外界影响,导致其差异性逐渐变小。

2.1.2 不同月份不同海拔梯度土壤种子库密度

分析整个消落带不同月份种子库密度随垂直空间梯度的变化(图2)。随着垂直空间梯度的升高,其受水淹时间会越短,5、7、9月份消落带土壤种子库密度都表现出逐渐增加的趋势,可见水淹时间越长越不适宜土壤种子库的留存。经方差分析,5月份不同海拔梯度间种子库不存在显著性差异($P > 0.05$),而7月份和9月份165—175 m区段的种子库密度极显著高于与其他区段($P < 0.01$)。就单一海拔区段种子库密度比较可知,随着月份的延伸,145—155 m区段和155—165 m区段表现为逐渐降低,与对照样带具有相同的变化,而165—175 m区段则为逐渐升高。

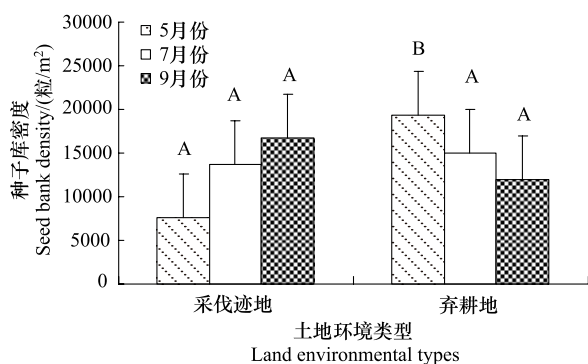


图1 不同月份不同土地环境类型种子库密度变化

Fig.1 Change of soil seed bank density of different land environmental types in different months

图中各组间表不同字母者表示组间差异显著 ($P < 0.01$); 标有相同大写字母者表示组间差异不显著 ($P > 0.01$)

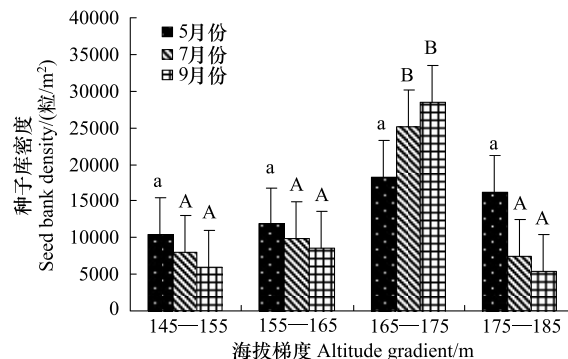


图2 不同月份种子库密度沿海拔梯度变化

Fig.2 Change of seed bank density along altitude gradient in different months

图中字母分别表示单个月份不同海拔区段种子库密度的方差分析,其中小写字母表示在0.05水平上具有显著性差异,大写字母表示在0.01水平上具有极显著性差异

2.2 不同月份消落带土壤种子库植物种类变化

2.2.1 不同月份土壤种子库物种组成

5月份消落带土壤种子库共出现了79种物种,隶属于36科66属,其优势科为菊科(13.92%)、禾本科(11.39%)、玄参科(10.13%)、荨麻科(5.06%)、十字花科(5.06%)、石竹科(5.06%),优势物种为鼠曲草(*Gnaphalium affine*)、具芒碎米莎草、雾水葛(*Pouzolzia zeylanica*)、细穗腹水草(*Veronicastrum stenostachyum*)、香附子、知风草(*Eragrostis ferruginea*);7月份种子库共出现了80种物种,隶属于35科69属,其优势科为菊科(15%)、禾本科(12.5%)、玄参科(10%)、十字花科(6.25%)、石竹科(5%)、报春花科(3.75%)等,优势物种为鼠曲草、具芒碎米莎草、细穗腹水草、苎麻(*Boehmeria nivea*)、香附子、雾水葛、毛马唐等;9月土壤种子库共出现了73种物种,隶属于32科64属,其优势科为菊科(16.44%)、禾本科(9.59%)、十字花科(8.22%)、玄参科(6.85%)、石竹科(5.48%)、莎草科(4.11%)等,优势物种为鼠曲草、一年蓬(*Erigeron annuus*)、水田碎米荠(*Cardamine lyrata*)、野苘蒿、香附子、细穗腹水草、毛马唐、具芒碎米莎草。

对比不同月份土壤种子库所出现的优势物种,5、7、9月份共同出现的优势物种包括地果、黄鹌菜(*Youngla japonica*)、具芒碎米莎草、毛马唐、婆婆纳(*Veronica didyma*)、匍茎通泉草(*Mazus miquelii*)、鼠曲草、水田碎米荠、雾水葛、细穗腹水草、香附子、一年蓬、知风草(*Eragrostis ferruginea*)、苎麻,这些物种构成了消落带种子库的主要组成部分,表明其对消落带退水环境变化具有较强的适应性。而单独在某个月出现的物种包括5月份的狗尾草和三数马唐(*Digitaria ternata*),9月份的反枝苋(*Amaranthus retroflexus*)和马唐(*Digitaria sanguinalis*),其种子储量存在一定变化,表明这些物种容易在某时期萌发,或者是水淹降低了这些物种的种子库储量(表2)。

2.2.2 不同月份不同海拔梯度土壤种子库物种生活型

通过对土壤种子库萌发植物特性进行物种生活型的归类统计,划分为1年生草本、多年生草本、灌木或藤本、乔木4个类别,以单个月份单海拔梯度的各生活型类型中萌发种子数量占其萌发种子数量总和的比例来表示生活型特征(表3)。5、7、9月份消落带土壤种子库均主要以1年生草本和多年生草本为主,占萌发总量的95%以上,且1年生草本种子数量高于多年生草本,而相对缺乏灌木和乔木种子,乔木种子只有在对照样带内存在,同时7月份和9月份灌木种子比例较5月份明显减少。另外,不同月份土壤种子生活型比例组成随海拔梯度的升高均表现出不同的变化趋势,即1年生草本在5月份先降低后逐渐升高,7月份先降低后升高再降低,9月份先逐渐升高后降低;多年生草本变化趋势与当月1年生草本变化趋势则刚好相反;灌木或藤本在各月份随海拔梯度具有相同的变化趋势,均表现为先升高后降低再升高。

表2 不同月份土壤种子库优势物种重要值
Table 2 Importance value of dominant species of soil seed bank in different months

物种 Species	科 Family	5 月份 May	7 月份 July	9 月份 September
酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	酢浆草科	3.494		4.584
地果 <i>Ficus tikoua</i>	桑科	3.935	5.950	4.977
反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	苋科			4.389
甘野菊 <i>Chrysanthemum seticuspe</i>	菊科	2.121	2.458	2.021
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	禾本科	2.695		
黄鹌菜 <i>Youngla japonica</i>	菊科	4.286	6.037	5.551
具芒碎米莎草 <i>Cyperus microiria</i>	莎草科	20.696	12.880	5.976
马兰 <i>Kalimeris indica</i>	菊科			3.878
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	禾本科	2.721	2.774	
毛马唐 <i>Digitaria chrysoblephara</i>	禾本科	5.803	7.478	6.208
婆婆纳 <i>Veronica didyma</i>	玄参科	3.509	3.003	3.209
匍茎通泉草 <i>Mazus miquelii</i>	玄参科	6.269	6.040	5.593
球序卷耳 <i>Cerastium glomeratum</i>	石竹科	7.718	3.580	
三数马唐 <i>Digitaria ternata</i>	禾本科	3.183		
蛇莓 <i>Duchesnea indica</i>	蔷薇科		2.664	3.164
鼠曲草 <i>Gnaphalium affine</i>	菊科	22.740	47.399	57.174
水田碎米荠 <i>Cardamine lyrata</i>	十字花科	6.734	6.714	8.966
粟米草 <i>Mollugo stricta</i>	番杏科	2.404	2.838	
雾水葛 <i>Pouzolzia zeylanica</i>	荨麻科	10.737	7.924	4.399
细穗腹水草 <i>Veronicastrum stenostachyum</i>	玄参科	10.599	10.270	7.351
香附子 <i>Cyperus rotundus</i>	莎草科	9.361	8.912	7.501
野茼蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i>	菊科			8.178
叶下珠 <i>Phyllanthus urinaria</i>	大戟科	4.375	2.621	
一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>	菊科	6.393	4.861	10.078
知风草 <i>Eragrostis ferruginea</i>	禾本科	9.305	4.623	4.708
苎麻 <i>Boehmeria nivea</i>	荨麻科	8.902	8.956	5.083
紫色翼蓼 <i>Torenia violacea</i>	玄参科	7.581	5.790	

表3 不同月份不同海拔梯度土壤种子库植物生活型变化
Table 3 Variations of plant life form of soil seed bank along altitude gradient in different months

月份 Month	海拔梯度/m Altitude gradient	1 年生草本/% Annual	多年生草本/% Perennial herb	灌木或藤本/% Shrub or fluorescence	乔木/% Arbor
5	A	63.51	35.36	1.13	0
	B	43.94	54.81	1.25	0
	C	61.85	37.56	0.59	0
	D	70.34	27.27	2.32	0.06
7	A	57.06	41.41	1.53	0
	B	46.87	50.77	2.36	0
	C	86.08	12.85	1.07	0
	D	54.99	40.90	3.97	0.14
9	A	58.95	39.41	1.64	0
	B	66.69	30.42	2.89	0
	C	89.45	10.12	0.43	0
	D	54.10	42.54	3.36	0

A: 145—155 m; B: 155—165 m; C: 165—175m; D: 175—185m

2.2.3 不同月份不同海拔梯度土壤种子库物种水分生态类型

植物由于受外界生态因素的影响,逐渐演化出各种各样的形态和结构来适应所生长的环境,其中影响最大的是植物生长环境周围水分的供应状况。依照植物与水分的关系,可以将植物分为旱生植物、中生植物和

水生植物等水分生态类型^[21]。结合消落带土壤种子库物种水分特性,将其划分为湿生植物、湿中生植物、中生植物、旱中生植物,分析不同月份不同海拔高程种子库各物种水分生态类型所占比例(表4)。5、7、9月份消落带种子库植物主要以中生植物为主,随着月份的延伸,消落带整体表现为中生植物比例上升,湿中生植物比例降低的趋势。比较不同海拔高程萌发植物则发现,高海拔区段旱中生植物比例相对较高,低海拔区段湿中生植物比例相对较高,而湿生植物比例则变化较小。可见在消落带水淹初期,土壤环境呈现由旱到湿的变化,土壤种子库植物呈现向中生和湿中生植物类型的变化趋势。由此也反映出,消落带水淹初期土壤种子库虽以中生植物为主,但湿化趋势较早化趋势更加明显。

表4 不同月份不同海拔梯度土壤种子库植物水分生态类型变化

Table 4 Variations of plant water ecotypes of soil seed bank along altitude gradient in different months

月份 Month	海拔梯度/m Altitude gradient/m	湿生植物/% Hygrophytes	湿中生植物/% Hygromesophytes	中生植物/% Mesophytes	旱中生植物/% Mesoxerophytes
5	A	1.67	20.04	65.37	12.72
	B	1.12	28.93	60.89	9.06
	C	6.53	24.83	39.65	28.99
	D	2.76	23.64	39.62	33.98
7	A	3.00	23.19	66.33	7.48
	B	3.85	17.83	67.57	10.69
	C	2.45	12.32	78.23	6.99
	D	3.97	22.44	50.21	23.39
9	A	5.62	7.69	76.58	10.11
	B	2.36	9.75	74.72	13.17
	C	3.88	3.28	79.44	13.40
	D	7.28	15.11	60.26	17.35

A: 145—155 m; B: 155—165 m; C: 165—175 m; D: 175—185 m

2.2.4 不同月份消落带土壤种子库物种多样性

如表5所示,随着不同海拔梯度升高,5月份消落带土壤种子库物种的Shannon-Wiener多样性指数和Pielou均匀度指数基本表现出逐渐增加的趋势,Simpson多样性指数基本无明显变化,而Margalef丰富度指数

表5 不同月份不同海拔梯度土壤种子库植物生物多样性指数表比较

Table 5 Comparison of several ecological indices of soil seed bank along altitude gradient in different months

月份 Month	海拔梯度 Altitude gradient/m	物种数量 Number of species	Simpson 指数 Simpson index	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	Margalef 指数 Margalef index	Pielou 指数 Pielou index
5	A	53	0.99	1.81	4.25	0.46
	B	32	0.99	2.57	2.52	0.74
	C	59	0.92	2.93	4.53	0.72
	D	39	0.92	2.85	3.17	0.78
7	A	54	0.89	2.75	4.42	0.69
	B	53	0.90	2.72	4.26	0.69
	C	34	0.64	1.97	2.51	0.56
	D	45	0.94	3.06	3.92	0.80
9	A	47	0.82	2.55	3.94	0.66
	B	48	0.91	2.79	3.90	0.72
	C	56	0.60	1.80	4.15	0.45
	D	37	0.89	2.73	3.30	0.76

A: 145—155 m; B: 155—165 m; C: 165—175 m; D: 175—185 m

产生无规律变化。7 月份和 9 月份消落带土壤种子库物种的 Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数以及 Pielou 均匀度指数均表现出规律的变化,145—155 m 和 155—165 m 区段以及对照样带维持较高的生物多样性,而 165—175 m 则降低较多,这可能与其未完全淹没有关系,而低海拔区域水淹后大量的 1 年生草本进入,提高了物种多样性,这可从不同月份不同海拔区段土壤种子库物种的 Margalef 丰富度指数波动较大分析得到。另外,随着不同月份的延伸,仅有 175—185 m 对照样带各多样性指数变化趋势都一致,且变化幅度都较小,其他区段则呈现无规律的变化。可见水淹初期消落带土壤内物种种类还是相对较丰富,但是变异性较大,没有形成绝对优势的物种,植物群落明显处于演替早期。

3 结论与讨论

土壤种子库的动态受种子输入和种子输出两个过程的影响,输入受制于种子雨的散布,输出主要是种子解除休眠后而萌发。一般来说,较多物种的种子散布后,在土壤中存留较短的时间就萌发了,而另外一些物种的种子除有一部分萌发外,另有一部分仍留存在土壤中,处于休眠状态^[11, 22],导致土壤种子库的组成和大小随时间呈现有规律的变化。

本文研究发现,随着月份的延伸,消落带种子库具有明显的动态变化,这与 Miao 等^[12]在研究美国佛罗里达州沼泽湿地种子库组成的季节性变化,以及王相磊等^[11]研究洪湖湿地退耕初期种子库的季节动态的研究结果相一致,说明土壤种子库的萌发和储存都会因生长季节不同,其物种的数量和组成呈现明显差异。同时,不同土地环境类型土壤种子库密度也存在着不同的变化趋势,即采伐迹地逐渐增加,弃耕地为逐渐降低,且采伐迹地种子库储量要远远低于弃耕地,这可能是由于其原生植被以乔灌木为主,大量的乔灌木种子在水淹后失活或者接近休眠,虽然生长季节许多种子萌发会减少种子库储量,但是外来进入的草本物种反而增加了种子库储量。而弃耕地由于以前人为耕作,致使之前大量的物种进入土壤更深层次,积累了较多的种子,且种子多以 1 年生的草本物种为主,在生长季节土壤种子的萌发使种子库储量呈现为逐渐降低的趋势,可见原有土地环境类型的不同,导致土壤种子库在应对干湿变化的响应存在差异,才会出现变化动态相反的情况。另外,就单个海拔高度而言,随着月份的延伸,145—155 m 区段和 155—165 m 区段表现为逐渐降低,这与对照样带具有一致的变化,说明随着生长季节的延伸,种子库会因种子的不断萌发而减少,而 165—175 m 区段则逐渐升高,这可能主要是由于此区段存在已淹水和未淹水两种生境类型的缘故,多样的小生境为许多物种提供了生存条件,导致此区域种子库储量随月份不断增加。

对消落带种子库而言,水文条件的变化成为决定其发生和发展的最主要因素,因为水位变化的强度、持续时间和频率,改变了土壤的氧气、营养和光照条件,都会显著影响种子库的物种组成和种子萌发格局^[23]。以垂直空间梯度代替水淹时间梯度,意味着较低海拔的消落带区段受水淹时间较长,高海拔的区段则被水淹时间较短。本研究中,不同月份种子库储量,随着垂直空间梯度的上升均表现为逐渐增加,说明水淹时间越长越不利于种子的储藏,影响着种子库萌发的数量,导致种子库储藏量降低^[9],或者是水淹造成了种子库物种的生理休眠,其需要特殊的萌发条件^[17],这与王正文等^[24]的研究结果相一致,但 Capson 等^[25]研究却表明水淹能够增加种子库密度,这可能是所研究的区域差异以及水淹时间长度和强度差异,导致研究结果不一致。根据野外调查发现,水位下降后消落带内地上植被生长的植物状况相对较差,多以 1 年生草本和多年生草本为主,但植被盖度较低,处于生态系统结构和功能退化严重的早期演替阶段。5、7、9 月份消落带土壤种子库物种主要以菊科、禾本科、玄参科等为主,共同出现的优势物种包括地果、黄鹌菜、具芒碎米莎草、毛马唐、婆婆纳、匍茎通泉草、鼠曲草、水田碎米荠、雾水葛、细穗腹水草、香附子、一年蓬、知风草、苕麻,这些物种构成了种子库的主要组成部分,表明其对消落带水位涨落变化具有较强的适应性。同时,优势物种生活型非常接近,土壤种子库的物种生活型主要以 1 年生草本和多年生草本为主,且 1 年生草本种子数量高于多年生草本,而相对缺乏灌木和乔木种子,这与过去的研究结果相一致^[3, 7, 19, 22],说明大幅度水淹条件根本不利于灌木和乔木植物种子萌发和保存,而只有草本植物才更容易生长,但具有地方特有成分缺乏、群落组成简单的特征^[5]。另外,消落带土壤环境由于旱到湿润的变化,其土壤种子库所储存的植物为了适应水因子势必会发生变化,通过

分析植物水分生态类型组成特点,可了解消落带生态系统对水因子的适应特征,以及环境变化和人为干扰对生态系统的影响及其变化趋势^[26]。本研究发现,水淹初期消落带土壤种子库植物水分生态功能类型主要以中生植物为主,但呈现逐渐向中生和湿中生植物类型过渡的变化趋势,可见消落带水淹初期土壤种子库正处于物种选择期,物种逐渐向着喜湿、耐淹的特征发展。综上可知,就三峡库区消落带水淹初期而言,反季节水淹时间较长且水淹强度较高必定会导致大量原有喜旱生种子发生死亡,破坏了原有土壤种子库的完整性,使原有物种因不适应新环境而难以继续存活。虽然水淹初期消落带土壤种子库具有较高的物种多样性和丰富度,但主要是因为水位下降后周围环境中大量野生杂草种子进入土壤所致,而且变异程度较高,植物群落明显处于不稳定状态。

很多研究也都已经证实了种子库对植被恢复的积极作用,只是植被恢复通常都是由于缺乏足量的种子数量而被限制^[4,27-28]。从以上可以看得出,水淹初期消落带土壤种子库所存在的优势物种,按物种生态特性而言,多是一些退水后能迅速占领消落带干燥环境的物种,其耐水淹程度较差,而且数量相对较少,优势度较低,三峡库区消落带完全处于严重的生态退化阶段,现有土壤种子库种子储量及组成根本不能满足消落带植被快速恢复的要求。据张咏梅等^[29]研究发现,并不是在任何地方,任何生境均能利用土壤种子库进行植被恢复,对于干扰严重、立地条件差,不利于种子定植、萌发和种苗生长的地域要结合人工重建及工程措施初建演替先锋种,逐步达到原有植被的恢复。而三峡库区消落带植被恢复面临长期淹水逆境、以及泥沙、干旱、立地条件差等环境的胁迫^[30],对物种的生物特性和抗逆性要求较高,所以此时仅依靠消落带自然恢复植被是不现实的。应该根据地带性规律、生态演替及生态位原理选择适合消落带水位涨落干湿变化的先锋物种,构建种群或生态系统,实行土壤、植被与生物同步分级恢复,以逐步使生态系统恢复到一定的功能水平,或者是人为补充适应性的种子,提高土壤种子库的储量,从而加速植被恢复的进程。同时,水位的涨幅变化是消落带最重要的决定因素,它不仅影响消落带生态环境的理化性质,而且也是选择生物群落的主要因素之一,在进行消落带植被恢复和重建时,除考虑土壤、植被、生物的恢复外,还必须要结合水位变化来考虑,此为消落带生态恢复和重建成败的关键因素^[31]。

一般而言,要预测土壤种子库发展的趋势以及植被自然恢复的潜力,需要了解现存植被的各组成种的生活史过程以及各阶段种群数量的变化。本研究虽然考虑到以垂直空间梯度代替水淹时间梯度来研究消落带种子库月份动态变化,但并没有进行控制实验的研究,且观测时间较短,导致消落带土壤种子库内的种子来源不明,土壤种子库中可能包括土壤原有的种子、退水后外界进入消落带的种子、水中沉降的种子,究竟这3部分种子所占比率大小如何,对从根本上了解消落带种子库的组成和结构动态变化相当关键。所以,未来消落带土壤种子库研究应在考虑水位涨落变化的同时,进行长期的定位观测和控制实验,以区分各种种子来源,从而可以精确的了解消落带种子库的变化情况,这对探讨此区域消落带植被自然恢复和生长具有十分重要的意义。

References:

- [1] Leck M A, Parker V T, Simpson R L. Ecology of Soil Seed Banks. San Diego: Academic Press, 1989: 149-209.
- [2] Onaindia M, Amezaga I. Seasonal variation in the seed banks of native woodland and coniferous plantations in Northern Spain. Forest Ecology and Management, 2000, 126(2): 163-172.
- [3] Tang Y, Cao M, Sheng C Y. Seasonal soil seed bank dynamics in tropical forests in Xishuangbanna. Guihaia, 2000, 20(4): 371-376.
- [4] Liu W Z, Zhang Q F, Liu G H. Seed banks of a river-reservoir wetland system and their implications for vegetation development. Aquatic Botany, 2009, 90(1): 7-12.
- [5] 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.
- [6] Battaglia L L, Collins B S. Linking hydroperiod and vegetation response in Carolina bay wetlands. Plant Ecology, 2006, 184(1): 173-185.
- [7] Vosse S, Esler K J, Richardson D M, Holmes P M. Effect of alien plant invasion on riparian seed bank assembly rules. South African Journal of Botany, 2007, 73(2): 320-320.

- [8] Xu H L, Ye M, Li J M, Wang Z R. Seasonal dynamics of soil seed bank in the lower reaches of Tarim River. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2008, 28(3): 17-22.
- [9] Xing F, Wang Y, Xu K, Yu L L, Lü X G. Characteristics of soil seed banks of community successional series in marshes in the Sanjiang Plain. *Wetland Science*, 2008, 6(3): 351-358.
- [10] Grelsson G, Nilsson C. Vegetation and seed-bank relationships on a lakeshore. *Freshwater Biology*, 1991, 26(2): 199-207.
- [11] Wang X L, Zhou J, Li W, Liu G H, Zhang X J. Seasonal dynamics of soil seed bank in Honghu wetland withdrawn from long-term rice culture. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27(3): 352-359.
- [12] Miao S L, Zou C B. Seasonal variation in seed bank composition and its interaction with nutrient enrichment in the Everglades wetlands. *Aquatic Botany*, 2009, 90(2): 157-164.
- [13] Touzard B, Amiaud B, Langlois E, Lemauiel S, Clément B. The relationships between soil seed bank, aboveground vegetation and disturbances in an eutrophic alluvial wetland of Western France. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 2002, 197(3): 175-185.
- [14] Leck M A. Seed-bank and vegetation development in a created tidal freshwater wetland on the Delaware River, Trenton, New Jersey, USA. *Wetlands*, 2003, 23(2): 310-343.
- [15] Peterson J E, Baldwin A H. Seedling emergence from seed banks of tidal freshwater wetlands; response to inundation and sedimentation. *Aquatic Botany*, 2004, 78(3): 243-254.
- [16] Xiao D R, Zhang L Q, Zhu Z C. A study on seed characteristics and seed bank of *Spartina alterniflora* at saltmarshes in the Yangtze Estuary, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2009, 83(1): 105-110.
- [17] Riddin T, Adams J B. The seed banks of two temporarily open/closed estuaries in South Africa. *Aquatic Botany*, 2009, 90(4): 328-332.
- [18] Su W C, Yang H, Luo Y X, Zhao C Y. Eco-environmental problems of the water-level-fluctuating zone in Three-gorges Reservoir and their countermeasures. *Research of Soil and Water Conservation*, 2003, 10(4): 196-198.
- [19] Wang X R, Cheng R M, Feng X H, Guo Q S, Xiao W F. Characteristics of soil seed banks in backwater area of Three Gorges Reservoir water-level-fluctuating zone at initial stage of river-flooding. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(12): 2891-2897.
- [20] Li J M, Xu H L, Zhang Z J, Ye M, Wang Z R, Li Y. Characteristics of standing vegetation and soil seed bank in desert riparian forest in lower reaches of Tarim River under effects of river-flooding. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(8): 1651-1657.
- [21] Liu J H, Li D W, Liu G B, Li X L, Hou X L. Traits of water ecotypes and life-form spectrum of vegetation under canopy of *Robinia pseudoacacia* forests. *Science of Soil and Water Conservation*, 2008, 6(2): 95-99.
- [22] Wang X R, Cheng R M, Xiao W F, Guo Q S, Feng X H, Wang R L. Relationship between standing vegetation and soil seed bank in Water-level-fluctuating Zone of Three Gorges Reservoir at the beginning after charging water. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(21): 5821-5831.
- [23] Liu G H, Xiao Z, Chen S F, Zhang Q F. The role of soil seed bank in wetland restoration and biodiversity conservation in the middle and lower reaches of the Yangtze River. *Progress in Natural Science*, 2007, 17(6): 741-747.
- [24] Wang Z W, Zhu T C. The seed bank features and its relations to the established vegetation following flooding disturbance on Songnen steppe. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1392-1398.
- [25] Capon S J, Brock M A. Flooding, soil seed bank dynamics and vegetation resilience of a hydrologically variable desert floodplain. *Freshwater Biology*, 2006, 51(2): 206-223.
- [26] Yang L M, Han M, Lin H M. Study on biomass changes of plant ecological type groups in the *Leymus chinensis* communities along Northeast China transect. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2005, 27(5): 514-518.
- [27] Vécir M P, Gréville F, Muller S. The contribution of persistent soil seed banks and flooding to the restoration of alluvial meadows. *Journal for Nature Conservation*, 2007, 15(1): 59-69.
- [28] Kardol P, van der Wal A, Bezemer T M, de Boer W, Duyts H, Holtkamp R, van der Putten W H. Restoration of species-rich grasslands on ex-arable land: seed addition outweighs soil fertility reduction. *Biological Conservation*, 2008, 141(9): 2208-2217.
- [29] Zhang Y M, He J, Pan K W, Chen H Z, Zhao Y F. Potential contribution of the soil seed banks to the restoration of native plants. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2003, 9(3): 326-332.
- [30] Li Q, Ding W Q, Zhu Q H, Song L, Cao Y M, Jiang S Q, Wang G X. Influence of silt deposition and sand deposition on *Cynodon dactylon* population in Low-Water-Level Zone of Three Gorges Reservoir during 172m water accumulation. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(6): 1567-1573.
- [31] Yan C Z, Jin X C, Zhao J Z, Ye C, Wang Z Q. Ecological restoration and reconstruction of degraded lakeside zone ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(2): 360-364.

参考文献:

- [3] 唐勇, 曹敏, 盛才余. 西双版纳热带森林土壤种子库的季节变化. *广西植物*, 2000, 20(4): 371-376.

- [5] 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.
- [8] 徐海量, 叶茂, 李吉枚, 王增如. 塔里木河下游土壤种子库的季节差异分析. 水土保持通报, 2008, 28(3): 17-22.
- [9] 邢福, 王莹, 许坤, 于丽丽, 吕宪国. 三江平原沼泽湿地群落演替系列的土壤种子库特征. 湿地科学, 2008, 6(3): 351-358.
- [11] 王相磊, 周进, 李伟, 刘贵华, 张学江. 洪湖湿地退耕初期种子库的季节动态. 植物生态学报, 2003, 27(3): 352-359.
- [18] 苏维词, 杨华, 罗有贤, 赵纯勇. 三峡库区涨落带的主要生态环境问题及其防治措施. 水土保持研究, 2003, 10(4): 196-198.
- [19] 王晓荣, 程瑞梅, 封晓辉, 郭泉水, 肖文发. 三峡库区消落带回水区水淹初期土壤种子库特征. 应用生态学报, 2009, 20(12): 2891-2897.
- [20] 李吉玫, 徐海量, 张占江, 叶茂, 王增如, 李媛. 河水漫溢对塔里木河下游荒漠河岸林地地表植被与土壤种子库的影响. 应用生态学报, 2008, 19(8): 1651-1657.
- [21] 刘江华, 李登武, 刘国彬, 李小利, 侯禧禄. 刺槐林下植被的水分生态型和生活型谱特征. 中国水土保持科学, 2008, 6(2): 95-99.
- [22] 王晓荣, 程瑞梅, 肖文发, 郭泉水, 封晓辉, 王瑞丽. 三峡库区消落带水淹初期地上植被与土壤种子库的关系. 生态学报, 2010, 30(21): 5821-5831.
- [23] 刘贵华, 肖藏, 陈漱飞, 张全发. 土壤种子库在长江中下游湿地恢复与生物多样性保护中的作用. 自然科学进展, 2007, 17(6): 741-747.
- [24] 王正文, 祝廷成. 松嫩草地水淹干扰后的土壤种子库特征及其与植被关系. 生态学报, 2002, 22(9): 1392-1398.
- [26] 杨利民, 韩梅, 林红梅. 中国东北样带羊草群落植物水分生态类型功能群生物量变化研究. 吉林农业大学学报, 2005, 27(5): 514-518.
- [29] 张咏梅, 何静, 潘开文, 陈宏志, 赵云锋. 土壤种子库对原有植被恢复的贡献. 应用与环境生物学报, 2003, 9(3): 326-332.
- [30] 李强, 丁武泉, 朱启红, 宋力, 曹优明, 蒋山泉, 王国祥. 三峡库区泥、沙沉降对低位狗牙根种群的影响. 生态学报, 2011, 31(6): 1567-1573.
- [31] 颜昌宙, 金相灿, 赵景柱, 叶春, 王中琼. 湖滨带退化生态系统的恢复与重建. 应用生态学报, 2005, 16(2): 360-364.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 10 May, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Landscape aesthetic assessment based on experiential paradigm assessment technology	LI Xuanqi, HUA Lizhong (2965)
Significant impact of job-housing distance on carbon emissions from transport: a scenario analysis	TONG Kangkang, MA Keming (2975)
The watershed eco-compensation system from the perspective of economics: the cases of pollution compensation	LIU Tao, WU Gang, FU Xiao (2985)
The tourism development impact on Shanghai coastal wetland vegetation	LIU Shidong, GAO Jun (2992)
Effects of the Wenchuan Earthquake on shoot growth and development of the umbrella bamboo (<i>Fargesia robusta</i>), one of the giant panda's staple bamboos	LIAO Lihuan, XU Yu, RAN Jianghong, et al (3001)
Forest carbon sequestration and carbon sink/source in Jiangxi Province	HUANG Lin, SHAO Quanqin, LIU Jiyuan (3010)
Species diversity of herbaceous communities in the Yiluo River Basin	CHEN Jie, GUO Yili, LU Xunling, et al (3021)
Microbial community diversity of rhizosphere soil in continuous cotton cropping system in Xinjiang	GU Meiying, XU Wanli, MAO Jun, et al (3031)
Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of <i>Caragana korshinskii</i> Kom. in desert zone	HE Xueli, CHEN Zheng, GUO Huijuan, et al (3041)
Characteristics of photosynthetic productivity and water-consumption for transpiration in <i>Pinus densiflora</i> var. <i>zhangwuensis</i> and <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	MENG Peng, LI Yuling, YOU Guochun, et al (3050)
Seasonal dynamic and influencing factors of coarse woody debris respiration in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest	LIU Qiang, YANG Zhijie, HE Xudong, et al (3061)
Influence of saline soil and sandy soil on growth and mineral constituents of common annual halophytes in Xinjiang	ZHANG Ke, TIAN Changyan, LI Chunjian (3069)
Dynamics change of <i>Betula ermanii</i> population related to shrub and grass on treeline of northern slope of Changbai Mountains	WANG Xiaodong, LIU Huiqing (3077)
Effects of ecological conditions on morphological and physiological characters of tobacco	YAN Kan, CHEN Zongyu (3087)
A study on the hyperspectral inversion for estimating leaf chlorophyll content of clover based on factor analysis	XIAO Yanfang, GONG Huili, ZHOU Demin (3098)
Monthly dynamic variation of soil seed bank in water-level-fluctuating zone of Three Gorges Reservoir at the beginning after charging water	WANG Xiaorong, CHENG Ruimei, TANG Wanpeng, et al (3107)
Effects of three land use patterns on diversity and community structure of soil ammonia-oxidizing bacteria in <i>Leymus chinensis</i> steppe	ZOU Yukun, ZHANG Jingni, CHEN Xiurong, et al (3118)
Autotoxicity and promoting: dual effects of root litter on American ginseng growth	JIAO Xiaolin, DU Jing, GAO Weiwei (3128)
Effect of differing levels parasitism from native <i>Cuscuta australis</i> on invasive <i>Bidens pilosa</i> growth	ZHANG Jing, YAN Ming, LI Junmin (3136)
Heavy metal concentrations and pollution assessment of riparian soils in Shandong Province	ZHANG Ju, CHEN Shiyue, DENG Huanguang, et al (3144)
Effect of decomposition products of cyanobacteria on <i>Myriophyllum spicatum</i> and water quality in Lake Taihu, China	LIU Lizhen, QIN Boqiang, ZHU Guangwei, et al (3154)
Succession of macrofauna communities in wetlands of <i>Sonneratia apetala</i> artificial mangroves during different ecological restoration stages	TANG Yijie, FANG Zhanqiang, ZHONG Yanting, et al (3160)
Group characteristics of Chinese Merganser (<i>Mergus squamatus</i>) during the wintering period in Poyang Lake watershed, Jiangxi Province	SHAO Mingqin, ZENG Binbin, SHANG Xiaolong, et al (3170)
Effect of forest rodents on predation and dispersal of <i>Pinus armandii</i> seeds in Qinling Mountains	CHANG Gang, WANG Kaifeng, WANG Zhi (3177)
Circadian rhythms of activity, metabolic rate and body temperature in desert hamsters (<i>Phodopus roborovskii</i>)	WANG Luping, ZHOU Shun, SUN Guoqiang (3182)
Effects of temperature stress and ultraviolet radiation stress on antioxidant systems of <i>Locusta migratoria tibetensis</i> Chen	LI Qing, WU Lei, YANG Gang, et al (3189)
Carbon cycling from rice-duck mutual ecosystem during double cropping rice growth season	ZHANG Fan, GAO Wangsheng, SUI Peng, et al (3198)
Protein expression characteristics and their response to nitrogen application during grain-filling stage of rice (<i>Oryza Sativa</i> L.)	ZHANG Zhixing, CHENG Jun, LI Zhong, et al (3209)
Review and Monograph	
Advances in influence of seawater eutrophication on marine bacteria	ZHANG Yubin, ZHANG Jiexiang, SUN Xingli (3225)
A review of comprehensive effect of ocean acidification on marine fishes	LIU Hongjun, ZHANG Zhendong, GUAN Shuguang, et al (3233)
Evaluation of the controlling methods and strategies for <i>Mikania micrantha</i> H. B. K.	LI Mingguang, LU Erbei, GUO Qiang, et al (3240)
Scientific Note	
Dynamics of land use/cover changes in the Weigan and Kuqa rivers delta oasis based on Remote Sensing	SUN Qian, TASHPOLAT. Tiyp, ZHANG Fei, et al (3252)
Phytoplankton assemblages in East China Sea in winter 2009	GUO Shujin, SUN Jun, DAI Minhan, et al (3266)
On the physical chemical and soil microbial properties of soils in the habitat of wild Ferula in Xinjiang	FU Yong, ZHUANG Li, WANG Zhongke, et al (3279)
The community characteristics of <i>Calligonum roborowskii</i> A. Los in Tarim Basin	Gulnur Sabirhazi, PAN Borong, DAUN Shimin (3288)
Stability analysis of mine ecological industrial symbiotic system	SUN Bo, WANG Guangcheng (3296)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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 10 期 (2012 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 10 (May, 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:100071	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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@csppg.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