

中国百种杰出学术期刊  
中国精品科技期刊  
中国科协优秀期刊  
中国科学院优秀科技期刊  
新中国 60 年有影响力的期刊  
国家期刊奖

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 4 期  
Vol.31 No.4  
**2011**



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 31 卷 第 4 期      2011 年 2 月      (半月刊)

## 目 次

短期增温对青藏高原高寒草甸植物群落结构和生物量的影响 ..... 李 娜,王根绪,杨 燕,等 (895)

三峡库区 9 种植物种子萌发特性及其在植被恢复中的意义 ..... 陶 敏,鲍大川,江明喜 (906)

白蜡虫及其 3 种优势寄生蜂的时空生态位 ..... 王自力,陈 勇,陈晓鸣,等 (914)

宁夏盐池荒漠草原步甲物种多样性 ..... 贺 奇,王新谱,杨贵军 (923)

脂肪酸对中华哲水蚤摄食两种海洋微藻的指示作用 ..... 刘梦坛,李超伦,孙 松 (933)

安徽菜子湖大型底栖动物的群落结构特征 ..... 徐小雨,周立志,朱文中,等 (943)

乐清湾潮间带大型底栖动物群落分布格局及其对人类活动的响应 ..... 彭 欣,谢起浪,陈少波,等 (954)

海蜇养殖对池塘底泥营养盐和大型底栖动物群落结构的影响 ..... 冯建祥,董双林,高勤峰,等 (964)

竹巴笼矮岩羊 (*Pseudois schaeferi*) 昼间行为节律和时间分配 ..... 刘国库,周材权,杨志松,等 (972)

干热河谷植物叶片,树高和种子功能性状比较 ..... 郑志兴,孙振华,张志明,等 (982)

石羊河中游沙漠化逆转过程土壤种子库的动态变化 ..... 马全林,张德魁,刘有军,等 (989)

基于 TM 影像、森林资源清查数据和人工神经网络的森林碳空间分布模拟 .....  
..... 汪少华,张茂震,赵平安,等 (998)

山地视觉景观的 GIS 评价——以广东南昆山国家森林公园为例 ..... 裘亦书,高 峻,詹起林 (1009)

基于功能分类的城市湿地公园景观格局——以西溪湿地公园为例 ..... 李玉凤,刘红玉,郑 因,等 (1021)

水分胁迫下丛枝菌根 AM 真菌对民勤绢蒿生长与抗旱性的影响 ..... 贺学礼,高 露,赵丽莉 (1029)

农田灌溉对印度区域气候的影响模拟 ..... 毛慧琴,延晓冬,熊 喆,等 (1038)

高大气 CO<sub>2</sub> 浓度下小麦旗叶光合能量利用对氮素和光强的响应 ..... 张绪成,于显枫,马一凡,等 (1046)

豌豆过氧化氢酶在烟草叶绿体中的过量表达提高了植物的抗逆性 ..... 王凤德,衣艳君,王海庆,等 (1058)

不同小麦品种对低温胁迫的反应及抗冻性评价 ..... 王树刚,王振林,王 平,等 (1064)

基于遥感与模型耦合的冬小麦生长预测 ..... 黄 彦,朱 艳,王 航,等 (1073)

喷施 ABA 对两个穗型不同小麦穗颈节伤流、穗部性状及产量的影响 ..... 崔志青,尹燕枰,田奇卓,等 (1085)

“稻鸭共生”生态系统稻季 N、P 循环 ..... 张 帆,隋 鹏,陈源泉,等 (1093)

红壤丘陵区粮食生产的生态成本 ..... 李 晓,谢永生,张应龙,等 (1101)

甘南牧区草畜平衡优化方案与管理决策 ..... 梁天刚,冯琦胜,夏文韬,等 (1111)

黄龙钙化滩流地物种-面积关系 ..... 黄宝强,罗毅波,安德军,等 (1124)

杉木人工林细根寿命的影响因素 ..... 凌 华,袁一丁,杨智杰,等 (1130)

长白落叶松林龄序列上的生物量及碳储量分配规律 ..... 巨文珍,王新杰,孙玉军 (1139)

生物肥与甲壳素和恶霉灵配施对香蕉枯萎病的防治效果 ..... 张志红,彭桂香,李华兴,等 (1149)

北京城区不同水质水体可培养细菌数量的季节动态变化 ..... 高 程,黄满荣,陶 爽,等 (1157)

**专论与综述**

整树水力导度协同冠层气孔导度调节森林蒸腾 ..... 赵 平 (1164)

植物寄生对生态系统结构和功能的影响 ..... 李钧敏,董 鸣 (1174)

加拿大一枝黄花的入侵机理研究进展 ..... 杨如意,答树婷,唐建军,等 (1185)

## 三峡库区 9 种植物种子萌发特性及其 在植被恢复中的意义

陶 敏<sup>1,2,3</sup>, 鲍大川<sup>1,2,3</sup>, 江明喜<sup>1,2,\*</sup>

(1. 中国科学院武汉植物园水生植物与流域生态学重点实验室, 武汉 430074; 2. 中国科学院武汉植物园, 武汉 430074;  
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:**三峡大坝蓄水后形成的库区消涨带面临植被消亡、生态退化等问题。为了筛选出适用于库区消涨带植被恢复的植物, 将 9 种 1 年生植物种子放置在库区消涨带不同海拔进行水淹(W 165—8 m, 121 d; W 155—18 m, 230 d; W 147—26 m, 271 d), 然后在实验室条件下进行萌发, 研究在消涨带淹水胁迫下这些种子的萌发特性。结果表明: (1) 除马唐(*Digitaria sanguinalis*)、小蓬草(*Conyza canadensis*)、金色狗尾草(*Setaria glauca*)种子在各条件下萌发率都较低外, 不同水淹条件对萌发率影响不同: 与新鲜种子相比, W 165 水淹后, 旱稗(*Echinochloa hispidula*)和婆婆针(*Bidens bipinnata*)种子萌发率显著上升, 其余种子萌发率均显著下降; W 155 水淹后, 所有种子的萌发率都显著下降且只有鳢肠(*Eclipta prostrate*)、黄花蒿(*Artemisia annua*)、合萌(*Aeschynomene indica*)3 个物种有萌发, 萌发率分别为 11.0%、7.3% 和 2.7%; W 147 水淹后, 旱稗和婆婆针种子萌发率显著上升, 鳢肠种子无显著差异, 其余种子萌发率显著下降。(2) 鳢肠、黄花蒿、婆婆针和旱稗种子比其它物种更耐水淹。W 165 水淹后, 鳢肠、黄花蒿、婆婆针、旱稗种子萌发率分别为 44.7%、42%、20.7% 和 4.3%, W 147 水淹后分别为 76.3%、23%、15% 和 26.3%, 高于其他物种。(3) 水淹后种子萌发时间格局也受到影响, 大部分种子起始萌发时间推迟、萌发速度变慢。鳢肠、黄花蒿、婆婆针和旱稗的种子对三峡库区消涨带的水淹胁迫具有一定的适应能力, 可根据它们对水淹条件适应能力的差异在消涨带不同海拔高度进行植被恢复。

**关键词:**消涨带; 三峡; 植被恢复; 种子萌发; 水淹

## Effects of submergence on seed germination of nine annual plant species in the Three Gorges Reservoir region and their implication to vegetation restoration

TAO Min<sup>1,2,3</sup>, BAO Dachuan<sup>1,2,3</sup>, JIANG Mingxi<sup>1,2,\*</sup>

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

2 Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China

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

**Abstract:** The water-level-fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir was assumed to be completely formed in 2009 and the water level would range from 145 m in flood season (summer) to 175 m during non-flood season (winter). This hydrologic regime is the opposite of the Yangtze River's natural regime before the Three Gorges Dam construction when the peak flows occurred in summer and low flows occurred in winter. The reversal of flooding time, prolonged flooding duration will dramatically alter environmental conditions in the riparian zone. The fragility of the water-level-fluctuation zone has been widely recognized by Chinese scientific community and governments. It is common view that vegetation should give a priority for ecological restoration in the water-level fluctuation zone. Considering the special hydrological environment, annual plant species was assumed to be dominant component of the vegetation communities for their ability to fulfill their life history during the drawdown period. In order to select suitable annual plant resources for vegetation restoration, we examined the germination characteristics of fresh, cold stored and submerged (W 165—8 m, 121 d; W 155—18 m,

**基金项目:**国家科技支撑计划(2006BAC10B01); 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-07)

**收稿日期:**2010-01-19; **修订日期:**2010-04-26

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mxjiang@wbgcas.cn

230 d; W 147—26 m, 271 d) seeds of nine annual plant species (*Eclipta prostrata*, *Bidens pilosa*, *Artemisia annua*, *Aeschynomene indica*, *Digitaria sanguinalis*, *Echinochloa hispidula*, *Conyza canadensis*, *Bidens bipinnata*, *Setaria glauca*), which growing in the Three Gorges Reservoir region. The submerged seeds were placed in the water-level-fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir. The results indicated that effects of submergence in relation to fresh seeds on the germination percentage varied with the submergence conditions. In W 165 submergence treatment, germination percentages of seven species decreased significantly, and tow, *E. hispidula* and *B. bipinnata* had opposite trends. Germination percentages of six species decreased significantly, and three species germinated with low germination percentages 11.0%, 7.3% and 2.7% respectively in W 155. In W 147, germination percentages of *E. hispidula* and *B. bipinnata* also increased significantly, while germination percentages of *E. prostrata* showed no difference, and other species decreased significantly. No significant submergence effect was detected for *D. sanguinalis*, *C. Canadensis* and *S. glauca*, because they had very low germination percentages in all treatments. Seeds of *E. prostrata*, *A. annua*, *B. bipinnata* and *E. hispidula* demonstrated better tolerance to water submergence. In W 165 submergence treatment, their germination percentages were 44.7%, 42%, 20.7% and 4.3%, respectively. In W 147, germination percentages were 76.3%, 23%, 15% and 26.3%, respectively, and they were higher than other species. The temporal patterns of seed germination were also significantly influenced by submergence, manifesting in two ways, days to initial germination increased and the germination speed decreased for most of the species. It can be concluded that the seeds of *E. prostrata*, *A. annua*, *B. bipinnata* and *E. hispidula* are submergence-tolerant, and the plants are able to accomplish their life history during the drawdown period. The result of this experiment suggests great potential of annual plant species in vegetation restoration of water-level-fluctuation zone in the Three Gorges Reservoir. And we should apply them according their different biological characters. *E. prostrata* and *E. hispidula* can be used at the lower elevations of water-level-fluctuation zone while *A. annua* and *B. bipinnata* should be planted at the upper elevations.

**Key Words:** water-level-fluctuation zone; Three Gorges Reservoir; vegetation restoration; seed germination; submergence

三峡大坝蓄水后,根据其运行调度方案,6—9月份,水库水位降至 145 m,10月份开始蓄水后,最高水位达到 175 m,将形成最大水位落差 30 m,面积约 350 km<sup>2</sup>的消涨带<sup>[1]</sup>。消涨带的形成将改变原有生境,许多植物可能会不适应新生境而难以生存,原有植被逐渐消亡,进而可能造成库岸剥蚀和滑坡、水土流失、库区景观质量下降等一系列生态问题<sup>[2-3]</sup>。消涨带植被是消涨带功能的主体<sup>[4]</sup>,对植被的恢复和重建是消涨带恢复和保护的重点。水库型消涨带植被恢复被认为是较困难的一项工作<sup>[5]</sup>,但也有一些实验工作初见成效,如在我国华南地区的几个水库消涨带已经筛选出几种适用于植被恢复的植物<sup>[6-7]</sup>。Dreesen 等<sup>[2]</sup>提出一系列消涨带植被恢复种植的目标、具体操作方法和技术,并列举了一些在美国 Rio Grande 和 Gila 等自然河流消涨带的植被恢复种植工程。但这些研究都仅限于短时间或低水位的水淹,而三峡水库消涨带淹水面积广,深度大,持续时间长,植被恢复的规模和难度要远大于这些工程。三峡库区消涨带的植被恢复已成为一个亟待解决的科学和管理问题。

植被恢复首先需要筛选出适宜的物种。三峡水库 2008 年第一次蓄水达到 173 m,此前对于三峡库区落差 30 m 消涨带植被恢复只是一些构想<sup>[4, 8-9]</sup>。主要研究工作集中在淹水处理条件下植物响应的生理机制方面<sup>[10-14]</sup>。但这些研究都侧重于多年生草本和灌木,1年生草本植物对于植被恢复的潜在贡献很少提及。而 1年生植物作为先锋种,在干扰生境中占优势<sup>[15]</sup>,应重视其在消涨带植被恢复中的作用。由于种子比植物成株具有更强的耐胁迫能力,更能逃避干扰、疾病和捕食的损害,且具有随水文条件变化而运动的特点,因此种子库在植被遭受破坏后的自然恢复中常常起着关键作用<sup>[16]</sup>。

经观察发现,在水库蓄水前即 9 月份,一些草本植物种子已成熟,表明它们在库区低水位运行期间可以完成生活史。这些 1 年生植物具有为消涨带植被恢复提供种源支持的巨大潜力。探讨水淹后这些植物种子

的萌发特性如何是理解消涨带植被恢复中植物定居、建群过程和适应生态学特征的首要条件。因此,在三峡库区消涨带选择了 9 种常见 1 年生草本植物作为植被恢复备选物种,这些植物都喜生于潮湿环境中,常见于河滩、荒地、山坡、沟渠等处,生境适应性强,生长茂盛,9—10 月份是种子成熟期。本实验目的是研究它们的成熟种子在不同水淹条件下的萌发特性,找出哪些植物种子能够耐受三峡库区消涨带深达 30 m,长达 6 个月的水淹胁迫。期望通过上述研究筛选出适宜于生长在新形成的库区消涨带的物种,为三峡库区消涨带的植被恢复提供科学数据。

## 1 研究地概况

种子采集地重庆市忠县石宝镇(30°03'03"—30°35'35"N, 107°32'42"—108°14'00"E),地处三峡库区腹心地带,属暖湿亚热带东南季风气候<sup>[17]</sup>。四季分明,雨量充沛,日照充足。 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 5787  $^{\circ}\text{C}$ ,年均温 18.2  $^{\circ}\text{C}$ ,年平均降雨量 1200 mm<sup>[18]</sup>。

## 2 材料和方法

### 2.1 材料采集

2008 年 9 月,在重庆市忠县石宝镇消涨带 173 m 水位以下采集当时已成熟的 9 种植物种子:鳢肠(*Eclipta prostrate*)、鬼针草(*Bidens pilosa*)、黄花蒿(*Artemisia annua*)、合萌(*Aeschynomene indica*)、马唐(*Digitaria sanguinalis*)、旱稗(*Echinochloa hispidula*)、小蓬草(*Conyza canadensis*)、婆婆针(*Bidens bipinnata*)、金色狗尾草(*Setaria glauca*)。自然风干后装入布袋,每种种子平均分成 5 份。一份带回实验室立即做新鲜种子萌发实验(CK 0),一份置于冰箱中 4 $^{\circ}\text{C}$  冷藏至翌年进行萌发实验(CK),一份当时置于水位 147 m(W 147),另两份分别放入布袋中,用两层纱网包裹,在水位涨到 155 m(W 155)和 165 m(W 165)之前用铁丝绑在相应水位处固定的木桩上。将种子 2008—2009 年蓄水最高水位 173 m,因此, W 165 水淹深度为 8 m,水淹时间 121 d(2007 年 10 月 31 日—2008 年 2 月 28 日); W 155 水淹深度为 18 m,水淹时间 230 d(2007 年 10 月 5 日—2008 年 5 月 22 日); W 147 水淹深度为 26 m,水淹时间 271 d(2007 年 9 月 10 日—2008 年 6 月 7 日)。水退之后取回种子、自然风干,实验室内进行萌发。新鲜种子萌发实验于 2008 年 11 月进行,冷藏种子和 W 165 种子于 2009 年 4 月进行, W 155 和 W 147 种子于 2009 年 6 月进行。

### 2.2 种子萌发实验

萌发实验在光照培养箱中进行,每个处理 3 个重复,每个重复 100 粒种子,将种子均匀置于垫有双层滤纸的直径 9 cm 的培养皿中,光照培养箱条件根据实验地 4—5 月情况设置为温度 25  $^{\circ}\text{C}$ ,光照强度 3000 lx, 12 h,相对湿度 75%。每天加入蒸馏水以保证滤纸湿润,同时记录萌发种子数并将其移走。胚根突破种皮视为种子萌发的标志,持续 30 d 无种子萌发的或者萌发 30 d 后连续 5 d 没有萌发的视为萌发结束。

### 2.3 种子萌发观测指标

累积萌发率:萌发结束后萌发种子数所占的百分比;

起始萌发时间:从播种到第 1 粒种子萌发所需天数;

萌发持续时间:从开始萌发到萌发结束所需天数;

$T_{50}$ 和  $T_{90}$ 分别表示达累积萌发率 50% 和 90% 的萌发天数。

### 2.4 数据分析方法

采用 SPSS16.0 软件统计分析数据,方差不齐的数据用平方根反正弦或倒数转换后,通过 One-way ANOVA 在 95% 的置信度水平上,用 LSD 显著性检验方法来比较不同处理间的差异。进行数据转换后仍不能满足方差齐性的数据用非参数 Kruskal-Wallis 检验进行比较分析。

## 3 结果分析

### 3.1 水淹处理对种子萌发率的影响

#### 3.1.1 新鲜和冷藏种子的萌发率

新鲜种子萌发率达到 60% 以上的物种有鳢肠、鬼针草和黄花蒿,尤其鳢肠的萌发率高达 90%。合萌萌

发芽率 16.0%，其余均小于等于 2.0% (表 1)。冷藏种子发芽率与新鲜种子相比，黄花蒿、婆婆针发芽率显著增加，鬼针草显著下降。马唐、小蓬草、金色狗尾草、鳢肠、合萌差异不显著，且马唐、小蓬草、金色狗尾草、旱稗发芽率均小于 3.5%。

### 3.1.2 不同水淹处理条件下的种子发芽率

马唐、小蓬草、金色狗尾草的发芽率在各水淹处理下都很低 (< 2.0%)。鬼针草各水淹处理均未萌发。

对其余 5 个物种来说，W 155 种子的发芽率最低。与新鲜种子比较，除婆婆针发芽率无显著差异外，其余全部显著下降，且只有 3 个物种萌发。

与新鲜种子比较，W 165 水淹后除旱稗和婆婆针的发芽率有显著上升外，其余均显著下降。W 147 水淹后旱稗、婆婆针发芽率显著上升，鳢肠无显著差异，黄花蒿和合萌显著下降。W 147 种子与 W 165 种子相比，鳢肠和旱稗发芽率显著上升，黄花蒿显著下降，合萌、婆婆针无显著差异。

鳢肠、黄花蒿、婆婆针和旱稗种子水淹后的发芽率高于其它种子。W 165 水淹后，鳢肠、黄花蒿、婆婆针种子发芽率分别 44.7%、42% 和 20.7%，W 147 水淹后鳢肠、黄花蒿、婆婆针和旱稗种子发芽率分别为 76.3%、23%、15% 和 26.3%。

表 1 不同处理下 9 种草本植物种子累积发芽率比较

Table 1 Comparison of Seed germination percentage (mean  $\pm$  SE) of 9 annual species between different treatments

植物种 Species	新鲜种子(CK 0) Freshness	冷藏种子(CK) Cold storage	W 165 8 m, 121 d submergence	W 155 18 m, 230 d submergence	W 147 26 m, 271 d submergence
鳢肠 <i>Eclipta prostrate</i>	90.0 $\pm$ 5.0a	98.7 $\pm$ 0.7a	44.7 $\pm$ 1.8b	11.0 $\pm$ 1.2c	76.3 $\pm$ 4.2a
鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	88.0 $\pm$ 3.0a	53.7 $\pm$ 0.3b	0c	0c	0c
黄花蒿 <i>Artemisia annua</i>	67.0 $\pm$ 5.0a	78.7 $\pm$ 0.7b	42.0 $\pm$ 1.00c	7.3 $\pm$ 1.7d	23.0 $\pm$ 4.2e
合萌 <i>Aeschynomene indica</i>	16.0 $\pm$ 2.1a	23.3 $\pm$ 4.5a	2.7 $\pm$ 0.3b	2.7 $\pm$ 0.9b	0.7 $\pm$ 0.3b
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	2.0 $\pm$ 1.0ab	3.3 $\pm$ 0.9a	1.7 $\pm$ 0.7a	0c	0.3 $\pm$ 0.3bc
旱稗 <i>Echinochloa hispidula</i>	1.7 $\pm$ 0.7a	0ac	4.3 $\pm$ 0.3b	0c	26.3 $\pm$ 2.3d
小蓬草 <i>Conyza canadensis</i>	1.7 $\pm$ 0.7a	1.0 $\pm$ 0.6ab	0.3 $\pm$ 0.3ab	0b	0b
婆婆针 <i>Bidens bipinnata</i>	0a	14.3 $\pm$ 3.2b	20.7 $\pm$ 2.7b	0a	15.0 $\pm$ 2.5b
金色狗尾草 <i>Setaria glauca</i>	0a	1.0 $\pm$ 0.6a	0a	0a	0.3 $\pm$ 0.3a

同一行相同的字母表示差异不显著，不同的字母表示差异显著；W 165：在海拔 165 m 水位处，经历 121 d，8 m 水淹；W 155：在海拔 155 m 水位处，经历 230 d，18 m 水淹；W 147：在海拔 147 m 水位处，经历 271 d，26 m 水淹

### 3.2 水淹处理对种子萌发时间格局的影响

总体上，相对新鲜种子和其它各水淹处理种子来说，冷藏种子的起始萌发时间、 $T_{50}$ 、 $T_{90}$  要早，萌发持续时间短。鬼针草水淹后未萌发，新鲜种子和冷藏种子的萌发时间格局差异不显著。以下对发芽率较高的鳢肠、黄花蒿、合萌、旱稗和婆婆针的萌发格局进行不同处理间的比较(图 1)。

各处理对起始萌发时间的影响：鳢肠种子各处理起始萌发时间都很快，而且各处理内结果一致。新鲜种子与 W 155 种子第 3 天萌发，其余都是第 2 天即开始萌发。黄花蒿新鲜种子和冷藏种子第 1 天即萌发，W 165 种子推迟为第 2 天开始萌发，W 155 和 W 147 种子起始萌发时间显著推迟。合萌各处理间差异不显著，旱稗 W 147 种子起始萌发时间反而显著提前。婆婆针 W 165 种子和冷藏种子没有显著差异，但 W 147 种子起始萌发时间显著推迟。

各处理对  $T_{50}$  的影响：鳢肠冷藏和 W 165 种子的  $T_{50}$  比新鲜种子显著提前 ( $P=0.034$ )，但 W 147 种子与冷藏种子相比显著推迟。黄花蒿新鲜种子、冷藏和 W 165 种子没有差别，但 W 155 和 W 147 种子显著推迟。合萌在冷藏后的  $T_{50}$  明显比新鲜种子要早，W 165 种子变化不显著，但 W 155 和 W 147 种子显著推迟。旱稗水淹后  $T_{50}$  显著推迟。婆婆针 W 165 种子与冷藏对比差异不显著，W 147 种子显著推迟。

各处理对  $T_{90}$  的影响：鳢肠在冷藏后  $T_{90}$  显著比新鲜种子要早，W 165 种子与冷藏种子相比差异不显著，

但 W 147 种子显著推迟。黄花蒿种子冷藏后  $T_{90}$  显著要早, W 155 和 W 147 种子显著推迟。合萌新鲜种子、冷藏种子、W 165 和 W 147 种子没有显著差异, 只有 W 155 种子显著推迟。旱稗 W 165 种子没有显著变化, 但 W 147 种子显著推迟。婆婆针 W 165 和 W 147 种子的  $T_{90}$  显著推迟。

各处理对萌发持续时间的影响: 鳢肠在冷藏后萌发持续时间比新鲜种子显著缩短, 各水淹处理与冷藏种子相比, 萌发持续时间都显著延长。黄花蒿、婆婆针各处理之间差异不显著。合萌除 W 147 种子萌发持续时间显著缩短外, 其余处理间没有显著差异, 旱稗 W 147 种子萌发持续时间显著延长。

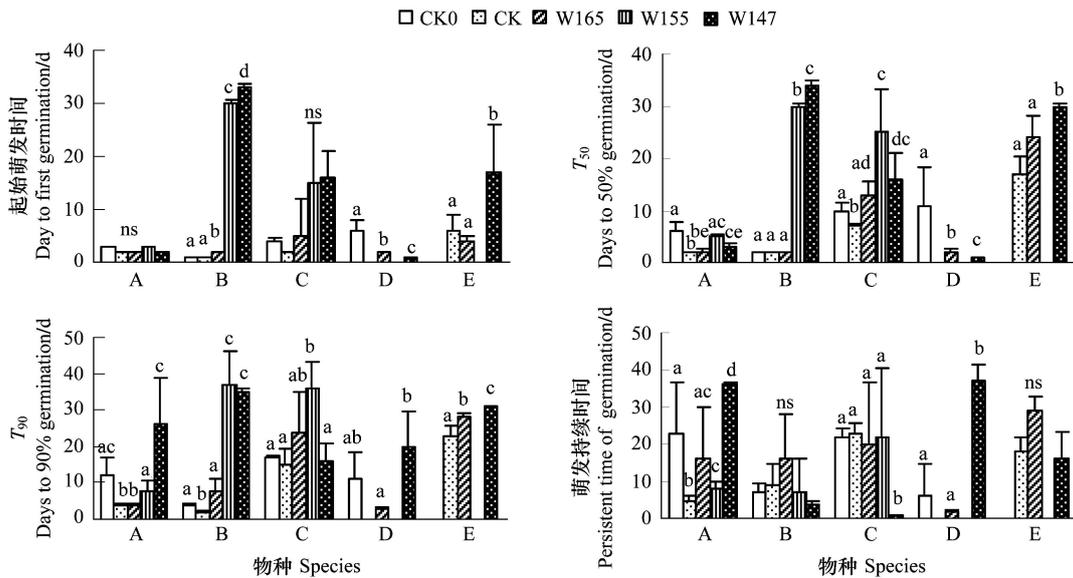


图 1 不同处理下 5 种植物种子的萌发时间格局比较

Fig. 1 Temporal patterns of seed germination of five species under different conditions

不同的字母表示差异显著, ns 表示没有显著差异; CK 0: 新鲜种子; CK: 冷藏种子; W 165: 经历 121 d, 8 m 水淹; W 155: 经历 230 d, 18 m 水淹; W 147: 经历 271 d, 26 m 水淹;  $T_{50}$ : 达累积萌发率 50% 的萌发天数;  $T_{90}$ : 达累积萌发率 90% 的萌发天数; A: 鳢肠 *Eclipta prostrata*; B: 黄花蒿 *Artemisia annua*; C: 合萌 *Aeschynomene indica*; D: 旱稗 *Echinochloa hispidula*; E: 婆婆针 *Bidens bipinnata*

## 4 讨论

### 4.1 不同处理条件下各物种的萌发特性

马唐和金色狗尾草在各处理下的萌发率都很低, 但据 2009 年退水后野外调查发现它们在消涨带仍大量生长, 且长势繁茂。这可能是由于它们的萌发对策所致。刘志民等<sup>[19]</sup>将金色狗尾草归为中间型植物。其萌发率低, 萌发时间短, 在土壤中留存的时间长。也就是说野外这些马唐和金色狗尾草可能是 1a 甚至几年前的种子萌发的。朴英等人<sup>[20]</sup>的研究结果显示狗尾草的种子埋藏 5a 后, 仍有 10% 的种子具有发芽能力。Thomas<sup>[21]</sup>在实验中也发现 1 年生和 2 年生植物的种子比多年生植物种子在土壤中的留存时间要长, 易形成土壤持久种子库。种子通过这种使萌发在时间上分布的策略来避免大量集中萌发所导致的幼苗在空间上的过分竞争<sup>[22]</sup>, 对于高度干扰环境中后代延续有积极作用。

小蓬草在各处理条件下的萌发率也都极低。这种植物在三峡大坝蓄水前大量存在于消涨带, 但水退后野外观察极少见。小蓬草的种子小而轻, 且带有冠毛, 能随风及水流传播。所以是否是种子传播到下游或消涨带上部值得商榷。

另一方面, 马唐、金色狗尾草和小蓬草一个花序所结出的种子很多, 种子量非常大, 即使按每百粒萌发 1 粒来说, 所产生的后代数量也是可观的, 这也可能是它们在实验室内萌发率低但野外大量生长的一个原因。

除鬼针草外, 所有种子都是冷藏处理后的萌发率最高, 说明它们都需要经过种子的后熟过程, 打破休眠<sup>[23-24]</sup>。然而对于鬼针草来说, 冷藏后的萌发率反而下降, 可能是鬼针草种子储藏的环境因子导致部分种

子出现休眠<sup>[25]</sup>,也可能是由于储藏物消耗导致种子活力下降,如杜利霞<sup>[26]</sup>的实验中黄花苜蓿在贮藏 7 个月 后萌发率从 54% 下降到 7%。各水淹深度的鬼针草萌发率都为 0,且切开发现大部分种子都已腐烂,说明鬼 针草种子耐淹性极弱。合萌萌发特性属于典型的中间型<sup>[19]</sup>,但水淹后萌发率显著下降,也说明合萌种子不 耐淹。

水淹后仍保持较高萌发率的物种有:鳢肠、黄花蒿、旱稗和婆婆针。鳢肠、黄花蒿的新鲜种子和冷藏种子 萌发率都很高,且萌发速度快。鳢肠水淹后的萌发率大小依次是 W 147 > W 165 > W 155, W 147 种子的 萌发率与新鲜种子萌发率无显著差异, W 165 和 W 155 种子显著下降;黄花蒿水淹后萌发率都显著下降,且 W 165 > W 147 > W 155。旱稗新鲜种子、冷藏种子、W 165、W 155 种子萌发率都很低,而 W 147 种子萌发 率显著上升,可能是由于其本身休眠特性很强,经长时间低温处理,并且种子本身耐淹,所以萌发率上升。 婆婆针新鲜种子萌发率很低,但冷藏种子和 W 165、W 147 种子萌发率有显著上升, W 155 种子萌发率为 0。

这 4 种种子经水淹后,都是 W 155 种子萌发率最低,鳢肠和旱稗是 W 147 种子的萌发率大于 W 165 种 子,黄花蒿和婆婆针则相反。结合水淹时间、深度以及含氧量来看, W 147 水淹时间最长, W 165 最短,约为 W 155 处理的一半。可能对于鳢肠和旱稗来说,由于 W 147 处理的氧气少,水温低,种子的呼吸作用大大减 弱,消耗储藏物少,种子活力得以保存。很多相关研究都表明储藏温度越低,种子的活力越高<sup>[27-28]</sup>。而有些 种子,如黄花蒿和婆婆针,不能承受深水淹,故 W 147 处理的萌发率低,而 W 165 水淹时间短,且只维持 10 d 左右水位就不断下降,因此能在此水淹条件下仍然保持活力。W 155 的环境介于两者之间,其萌发率最低 的原因可能是一方面因为含氧量相对于 W 165 和 W 147 处于中间水平,种子的呼吸作用比 W 147 种子要强, 储藏物消耗多,品质下降<sup>[29]</sup>。另一方面水淹时间又很长,种子经受不住长时间浸泡和呼吸消耗,因此导 致种子的活力丧失。

对大部分种子来说, W 165 种子的萌发时间格局相对新鲜种子和冷藏种子差异不大。W 155 和 W 147 种子与其它处理比较,萌发起始时间晚,萌发缓慢,持续时间长。说明长期水淹对种子的萌发时间格局有一 定影响,导致种子萌发晚,萌发周期增长。但旱稗异于其它种子, W 147 处理后萌发起始时间和  $T_{50}$  提早。

#### 4.2 本研究对三峡库区消涨带植被恢复的意义

种子萌发实验结果表明,鳢肠、黄花蒿、旱稗、婆婆针种子在经过 26 m 水淹后仍能保持较高的萌发率,尤 其是鳢肠,萌发率高、萌发速率快,应作为三峡库区消涨带恢复时予以优先考虑的物种。其中,黄花蒿和婆 婆针 W 165 种子比 W 147 种子萌发率要高,可用于水库海拔稍高地带的植被恢复,鳢肠和旱稗 W 147 种子 萌发率较高,因此这二者可偏重应用于水库低海拔地带的植被恢复。

而且,这 4 个物种的生活史基本与三峡库区“冬蓄夏排”的运行节律一致,它们能在水库 9 月份蓄水前完 成生活史,形成下一代种子,至翌年退水后又迅速开始萌发,补充消涨带被淹死的植被,进行自然恢复和维 持,形成一个健康的生态系统。

#### References:

- [ 1 ] Liang F Q. The protection and utilization of the water-level-fluctuating zone in the Three Gorges Reservoir of the Yangtze River. *Wetland Science*, 2008, 6 (2): 326-329.
- [ 2 ] Dreesen D, Harrington J, Subirge T, Stewart P, Fenchel G. Riparian restoration in the southwest species selection, propagation, planting methods, and case studies//National proceedings forest and conservation nursery associations 1999, 2000 and 2001. Ogden (UT): USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2002: 253-272.
- [ 3 ] Kang Z, Yang D Q, Jing Y X. Vegetation recovery research of reservoir bank. *China Rural Water and Hydropower*, 2007, (10): 22-25.
- [ 4 ] 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.
- [ 5 ] Nilsson C, Jansson R, Zinko U. Long-Term responses of river-margin vegetation to water-level regulation. *Science*, 1997, 276 (2): 798-800.
- [ 6 ] Fang H, Chen T F, Lin J P. The water and soil conservation of *Leersia hexandra* and its application in the water-level-fluctuation zone of Xinfengjiang reservoir. *Tropical Geography*, 2003, 23 (3): 214-217.

- [ 7 ] Fu Q F, Fang H, Lin J P. Plant filtration for ecological restoration of water-level-fluctuation zone in South China. *Ecology and Environment*, 2008, 17 ( 6 ): 2325-2329.
- [ 8 ] Ren X M, Yang D Y, Xu Y H, Zhou B. Eco-vegetation project on water-level-fluctuating zone of Three Gorges Reservoir. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2006, 26 ( 1 ): 42-43.
- [ 9 ] Dai F X, Xu W N, Liu D F, Chen F Q. Pondering over falling zone ecosystem of Three Gorges Reservoir and its ecological rehabilitation. *Soil and Water Conservation in China*, 2006, ( 1 ): 34-36.
- [ 10 ] Luo F L, Wang L, Zeng B, Ye X Q, Chen T, Liu D, Zhang Y H, Arnd Kuhn. Photosynthetic responses of the riparian plant *Arundinella anomala* Steud. in Three Gorges Reservoir region as affected by simulated flooding. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 ( 11 ): 3602-3609.
- [ 11 ] Xue Y H, Chen F Q, Fan D Y, Xie Z Q. Ecophysiological responses of *Buxus ichangensis* to summer waterlogging. *Biodiversity Science*, 2007, 15 ( 5 ): 542-547.
- [ 12 ] Chen F Q, Li Y, Qie G W. Ecophysiological responses of *Polygonum hydropiper* to simulate submergence. *Ecology and Environment*, 2008, 17 ( 3 ): 1096-1099.
- [ 13 ] Wang H F, Zeng B, Qiao P, Li Y, Luo F L, Ye X Q. Survival and growth response of *Vetiveria zizanioides*, *Acorus calamus* and *Alternanthera philoxeroides* to long-term submergence. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 ( 6 ): 2571-2580.
- [ 14 ] Tan S D, Zhu M Y, Zhang Q F. Physiological responses of bermudagrass ( *Cynodon dactylon* ) to submergence. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2010, 32: 133-140.
- [ 15 ] Hou Z Y, Xie Y H, Yu X Y, Ren B, Yang G. Research method, content, and prospect on seed bank of freshwater wetland. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27 ( 8 ): 1400-1405.
- [ 16 ] 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.
- [ 17 ] Zuo W, Zhou H Z, Wang Q, Li S, Zhang G L. Comprehensive assessment and mapping of the regional ecological safety — a case study of Zhongxian County, Chongqing City. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41 ( 2 ): 203-209.
- [ 18 ] Chen W L, Zhang X Q, Liang S Y, Jin Y X, Yang Q X. Vegetation and integrated agroecosystem in Three Gorges Reservoir region. Beijing: Science Press, 1994.
- [ 19 ] Liu Z M, Li X H, Li R P, Jiang D M, Chao Y C. A comparative study on seed germination of 15 grass species in Keeqin Sandyland. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14 ( 9 ): 1416-1420.
- [ 20 ] Pu Y, Fu Y C, Hu F. Studies on germinating factors for weed seeds of *Setaria Viridis* and *Amaranthus Retro Flexus*. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2004, ( 4 ): 23-24.
- [ 21 ] Thompson K, Bakker J P, Bakker R M. Ecological correlates of seed persistence in the soil in the north-west European flora. *Journal of Ecology*, 1998, 86: 163-169.
- [ 22 ] Espelta J M, Riba M, Retana J. Patterns of seedling recruitment in West-Mediterranean *Quercus ilex* forests influenced by canopy development. *Journal of Vegetation Science*, 1995, 6: 465-472.
- [ 23 ] Liu G H, Yuan L Y, Su R L, Li W. Effects of storage condition and duration on seed germination of six wetland perennials. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 ( 2 ): 371-374.
- [ 24 ] Song S Q, Chen H Y, Jiang X C. Seed Biology. Beijing: Science Press, 2008.
- [ 25 ] Li X H, Jiang D M, Liu Z M, Li X L. Seed germination characteristics of annual species in temperate semi-arid region. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 ( 4 ): 1194-1199.
- [ 26 ] Du L X, Li Q F, Liu Y. Effects of different storage time on the germination characteristics of forage seed. *Grassland of China*, 2005, 27 ( 1 ): 17-21.
- [ 27 ] Harrington J F. Seed Biology. New York: Academic Press, 1972:145-245.
- [ 28 ] Roberts E H. Viability of Seed. Norwich, Norfolk: Chapman and Hall Limited, 1972: 448.
- [ 29 ] Justice O L, Bass L N. Principles and practices of seed storage. Agriculture Handbook, 506. Washington, DC: US Government Printing Office, 1978: 78-81.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 梁福庆. 长江三峡水库消落区保护利用研究. *湿地科学*, 2008, 6 ( 2 ): 326-329.
- [ 3 ] 康志, 杨丹菁, 靖元孝. 水库库岸消涨带植被恢复研究. *中国农村水利水电*, 2007, ( 10 ): 22-25.
- [ 4 ] 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.
- [ 6 ] 方华, 陈天富, 林建平. 李氏禾的水土保持特性及其在新丰江水库消涨带的应用. *热带地理*, 2003, 23 ( 3 ): 214-217.

- [ 7 ] 付奇峰, 方华, 林建平. 华南地区水库消涨带生态重建的植物筛选. 生态环境, 2008, 17 (6): 2325-2329.
- [ 8 ] 任雪梅, 杨达源, 徐永辉, 周彬. 三峡库区消落带的植被生态工程. 水土保持通报, 2006, 26 (1): 42-43.
- [ 9 ] 戴方喜, 许文年, 刘德富, 陈芳清. 对构建三峡库区消落带梯度生态修复模式的思考. 中国水土保持, 2006, (1): 34-36.
- [ 10 ] 罗芳丽, 王玲, 曾波, 叶小齐, 陈婷, 刘焱, 张艳红, Arnd Kuhn. 三峡库区岸生植物野古草光合作用对水淹的响应. 生态学报, 2006, 26 (11): 3602-3609.
- [ 11 ] 薛艳红, 陈芳清, 樊大勇, 谢宗强. 宜昌黄杨对夏季淹水的生理生态学响应. 生物多样性, 2007, 15 (5): 542-547.
- [ 12 ] 陈芳清, 李永, 鄢光武. 水蓼对模拟水淹的生理生态学响应. 生态环境, 2008, 17 (3): 1096-1099.
- [ 13 ] 王海峰, 曾波, 乔普, 李娅, 罗芳丽, 叶小齐. 长期水淹条件下香根草、菖蒲、和空心莲子草的存活及生长响应. 生态学报, 2008, 28 (6): 2571-2580.
- [ 15 ] 侯志勇, 谢永宏, 于晓英, 任勃, 杨刚. 淡水湿地种子库的研究方法、内容与展望. 生态学杂志, 2008, 27 (8): 1400-1405.
- [ 16 ] 张咏梅, 何静, 潘开文, 陈宏志, 赵云峰. 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.
- [ 17 ] 左伟, 周慧珍, 王桥, 李硕, 张桂兰. 区域生态安全综合评价与制图——以重庆市忠县为例. 土壤学报, 2004, 41 (2): 203-209.
- [ 18 ] 陈伟烈, 张喜群, 梁松筠, 金义兴, 杨启修. 三峡库区的植物与复合农业生态系统. 北京: 科学出版社, 1994.
- [ 19 ] 刘志民, 李雪华, 李荣平, 蒋德明, 曹成有. 科尔沁沙地 15 种禾本科植物种子萌发特性比较. 应用生态学报, 2003, 14 (9): 1416-1420.
- [ 20 ] 朴英, 付迎春, 胡凡. 狗尾草和反枝苋种子萌发条件的研究. 黑龙江农业科学, 2004, (4): 23-24.
- [ 23 ] 刘贵华, 袁龙义, 苏睿丽, 李伟. 储藏条件和时间对六种多年生湿地植物种子萌发的影响. 生态学报, 2005, 25 (2): 371-374.
- [ 24 ] 宋松泉, 程红焱, 姜孝成. 种子生物学. 北京: 科学出版社, 2008.
- [ 25 ] 李雪华, 蒋德明, 刘志民, 李晓兰. 温带半干旱地区一年生植物种子的萌发特性. 生态学报, 2006, 26 (4): 1194-1199.
- [ 26 ] 杜利霞, 李青丰, 刘义. 不同贮藏时间对牧草种子萌发特性的影响. 中国草地, 2005, 27 (1): 17-21.

CONTENTS

Short-term effects of temperature enhancement on community structure and biomass of alpine meadow in the Qinghai-Tibet Plateau ... LI Na, WANG Genxu, YANG Yan, et al (895)

Effects of submergence on seed germination of nine annual plant species in the Three Gorges Reservoir region and their implication to vegetation restoration ... TAO Min, BAO Dachuan, JIANG Mingxi (906)

Temporal-spatial niches of Chinese White Wax Scale insect (*Ericerus pela*) and its three dominant parasitoid wasps ... WANG Zili, CHEN Yong, CHEN Xiaoming, et al (914)

Species diversity of carabid beetles in desert-steppe in Yanchi of Ningxia, China ... HE Qi, WANG Xinpu, YANG Guijun (923)

Identification of trophic relationships between marine algae and the copepod *Calanus sinicus* in a fatty acid approach ... LIU Mengtan, LI Chaolun, SUN Song (933)

Community structure of macrozoobenthos in Caizi Lake, China ... XU Xiaoyu, ZHOU Lizhi, ZHU Wenzhong, et al (943)

The community distribution pattern of intertidal macrozoobenthos and the responses to human activities in Yueqing Bay ... PENG Xin, XIE Qilang, CHEN Shaobo, et al (954)

The effects of jellyfish (*Rhopilema esculentum* Kishinouye) farming on the sediment nutrients and macrobenthic community ... FENG Jianxiang, DONG Shuanglin, GAO Qinfeng, et al (964)

Diurnal activity rhythm and time budgets of the Dwarf Blue Sheep (*Pseudois schaeferi*) in Zhubalong Nature Reserve ... LIU Guoku, ZHOU Caiquan, YANG Zhisong, et al (972)

Comparison of leaf, height and seed functional traits of species in dry-hot valleys ... ZHENG Zhixing, SUN Zhenhua, ZHANG Zhiming, et al (982)

Dynamics of soil seed banks in the reversion process of desertification in the middle reaches of the Shiyang River ... MA Quanlin, ZHANG Dekui, LIU Youjun, et al (989)

Modelling the spatial distribution of forest carbon stocks with artificial neural network based on TM images and forest inventory data ... WANG Shaohua, ZHANG Maozhen, ZHAO Pingan, et al (998)

The GIS-based visual landscape evaluation in mountain area: a case study of Mount Nan-kun National Forest Park, Guangdong Province ... QIU Yishu, GAO Jun, ZHAN Qilin (1009)

A functional classification method for examining landscape pattern of urban wetland park: a case study on Xixi Wetland Park, China ... LI Yufeng, LIU Hongyu, ZHENG Nan, et al (1021)

Effects of AM fungi on the growth and drought resistance of *Seriphidium minchinense* under water stress ... HE Xueli, GAO Lu, ZHAO Lili (1029)

Modeled impact of irrigation on regional climate in India ... MAO Huiqin, YAN Xiaodong, XIONG Zhe, et al (1038)

The responses of photosynthetic energy use in wheat flag leaves to nitrogen application rates and light density under elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration ... ZHANG Xucheng, YU Xianfeng, MA Yifan, et al (1046)

Enhanced drought and photooxidation tolerance of transgenic tobacco plants overexpressing pea catalase in chloroplasts ... WANG Fengde, YI Yanjun, WANG Haiqing, et al (1058)

Evaluation of wheat freezing resistance based on the responses of the physiological indices to low temperature stress ... WANG Shugang, WANG Zhenlin, WANG Ping, et al (1064)

Predicting winter wheat growth based on integrating remote sensing and crop growth modeling techniques ... HUANG Yan, ZHU Yan, WANG Hang, et al (1073)

Effects of spraying ABA on bleeding intensity in neck-panicle node, spike traits and grain yields of two different panicle-type winter wheat ... CUI Zhiqing, YIN Yanping, TIAN Qizhuo, et al (1085)

Nitrogen and phosphorus cycling from rice-duck mutual ecosystem during late rice growth season ... ZHANG Fan, SUI Peng, CHEN Yuanquan, et al (1093)

Initial exploration of the ecological costs of food production in the hilly red soil region of Southern China ... LI Xiao, XIE Yongsheng, ZHANG Yinglong, et al (1101)

Optimization strategy and management decision-making in balancing forage and livestock in Gannan pastoral area ... LIANG Tiangang, FENG Qisheng, XIA Wentao, et al (1111)

Species-area relationship in travertine area in Huanglong valley, Sichuan ... HUANG Baoqiang, LUO Yibo, AN Dejun, et al (1124)

Influencing factors of fine root lifespans in two Chinese fir plantations in subtropical China ... LING Hua, YUAN Yiding, YANG Zhijie, et al (1130)

Age structure effects on stand biomass and carbon storage distribution of *Larix olgensis* plantation ... JU Wenzhen, WANG Xinjie, WANG Xinjie (1139)

Effects on controlling banana Fusarium wilt by bio-fertilizer, chitosan, hymexazol and their combinations ... ZHANG Zhihong, PENG Guixiang, LI Huaxing, et al (1149)

Seasonal dynamics of culturable bacterium numbers in freshwater bodies of different water quality in Beijing ... GAO Cheng, HUANG Manrong, TAO Shuang, et al (1157)

**Review and Monograph**

On the coordinated regulation of forest transpiration by hydraulic conductance and canopy stomatal conductance ... ZHAO Ping (1164)

Impacts of plant parasitism on structure and function of ecosystems ... LI Junmin, DONG Ming (1174)

Invasion mechanisms of *Solidago canadensis* L.: a review ... YANG Ruyi, ZAN Shuting, TANG Jianjun, et al (1185)

# 2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊\*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 4 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 31 No. 4 2011

**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

**主 编** 冯宗炜  
**主 管** 中国科学技术协会  
**主 办** 中国生态学会  
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

**出 版** 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

**印 刷** 北京北林印刷厂  
**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

**订 购** 全国各地邮局  
**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

**广告经营** 京海工商广字第 8013 号  
**许 可 证**

**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

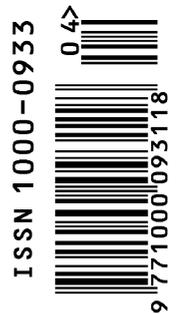
**Editor-in-chief** FENG Zong-Wei  
**Supervised** by China Association for Science and Technology  
**Sponsored** by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

**Published** by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

**Printed** by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China

**Distributed** by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel:(010)64034563  
E-mail:journal@cspg.net

**Domestic** All Local Post Offices in China  
**Foreign** China International Book Trading  
Corporation  
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



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