

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 30 卷 第 23 期
Vol.30 No.23
2010



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 30 卷 第 23 期 2010 年 12 月 (半月刊)

目 次

1940—2002 年长江中下游平原乡村景观区域中耕地类型及其土壤氮磷储量的变化	武俊喜,程 序,焦加国,等 (6309)
海洋生态资本概念与属性界定	陈 尚,任大川,李京梅,等 (6323)
海洋生态资本价值结构要素与评估指标体系	陈 尚,任大川,夏 涛,等 (6331)
黔中喀斯特山区退化生态系统生物量结构与 N、P 分布格局及其循环特征	杜有新,潘根兴,李恋卿,等 (6338)
长白山阔叶红松林样地槭属树木木生真菌的群落组成和分布	魏玉莲,戴玉成,袁海生,等 (6348)
内蒙古退化荒漠草原土壤细菌群落结构特征	吴永胜,马万里,李 浩,等 (6355)
盐度对尖瓣海莲幼苗生长及其生理生态特性的影响	廖宝文,邱凤英,张留恩,等 (6363)
基于树轮火疤塔河蒙克山樟子松林火灾的频度分析	胡海清,赵致奎,王晓春,等 (6372)
不同农业景观结构对麦蚜种群动态的影响	赵紫华,石 云,贺达汉,等 (6380)
黑河中游荒漠灌丛斑块地面甲虫群落分布与微生境的关系	刘继亮,李锋瑞,刘七军,等 (6389)
刺槐树冠光合作用的空间异质性	郑 元,赵 忠,周 慧,等 (6399)
南海北部夏季基础生物生产力分布特征及影响因素	宋星宇,刘华雪,黄良民,等 (6409)
怒江三种裂腹鱼属鱼类种群遗传结构	岳兴建,汪登强,刘绍平,等 (6418)
大型水生植物对重金属的富集与转移	潘义宏,王宏镔,谷兆萍,等 (6430)
依据大规模捕捞统计资料分析东黄渤海白姑鱼种群划分和洄游路线	徐兆礼,陈佳杰 (6442)
正交试验法分析环境因子对苦草生长的影响	朱丹婷,李铭红,乔宁宁 (6451)
基于中分辨率 TM 数据的湿地水生植被提取	林 川,官兆宁,赵文吉 (6460)
基于 CVM 的三江平原湿地非使用价值评价	敖长林,李一军,冯 磊,等 (6470)
耕地易地补充经济补偿的生态价值——以江阴市和兴化市为例	方 斌,杨 叶,郑前进,等 (6478)
自然旅游地居民自然保护态度的影响因素——中国九寨沟和英国新森林国家公园的比较	程绍文,张 捷,徐菲菲 (6487)
基于 PSR 方法的区域生态安全评价	李中才,刘林德,孙玉峰,等 (6495)
灌浆期高温对水稻光合特性、内源激素和稻米品质的影响	滕中华,智 丽,吕 俊,等 (6504)
秦岭北坡不同生境栓皮栎实生苗生长及其影响因素	马莉薇,张文辉,薛瑶芹,等 (6512)
子午岭三种生境下辽东栎幼苗定居限制	郭 华,王孝安,朱志红 (6521)
温度、盐度对龟足胚胎发育和幼虫生长的联合影响	饶小珍,林 岗,张殿彩,等 (6530)
锡林郭勒盟气候干燥度的时空变化规律	王海梅,李政海,韩国栋,等 (6538)
北京市水足迹及农业用水结构变化特征	黄 晶,宋振伟,陈 阜 (6546)
延安北部丘陵沟壑区退耕还林(草)成效的遥感监测	孙智辉,雷延鹏,卓 静,等 (6555)
冰川前缘土壤微生物原生演替的生态特征——以乌鲁木齐河源 1 号冰川为例	王晓霞,张 涛,孙 建,等 (6563)
储藏方式和时间对三峡水库消落区一年生植物种子萌发的影响	申建红,曾 波,施美芬,等 (6571)
云南普洱季风常绿阔叶林演替系列植物和土壤 C、N、P 化学计量特征	刘万德,苏建荣,李帅锋,等 (6581)
青藏高原高寒矮蒿草草甸碳增汇潜力估测方法	曹广民,龙瑞军,张法伟,等 (6591)
基于 CEVSA2 模型的亚热带人工针叶林长期碳通量及碳储量模拟	顾峰雪,陶 波,温学发,等 (6598)
太原盆地土壤呼吸的空间异质性	张义辉,李洪建,荣燕美,等 (6606)
专论与综述	
热带森林碳汇或碳源之争	祁承经,曹福祥,曹受金 (6613)
景观对河流生态系统的影响	欧 洋,王晓燕 (6624)
自由空气中臭氧浓度升高对大豆的影响	杨连新,王云霞,赵秩鹏,等 (6635)
研究简报	
基于生态系统服务价值的区域生态补偿——以山东省为例	王女杰,刘 建,吴大千,等 (6646)
鹤伴山国家森林公园土壤甲螨群落结构	许士国,付荣恕 (6654)
栓皮栎人工林树干液流对不同时间尺度气象因子及水面蒸发的响应	桑玉强,张劲松,孟 平,党宏忠,等 (6661)
赤眼蜂发育速率对梯度恒温的响应	陈洪凡,岑冠军,黄寿山 (6669)
学术信息与动态	
GIS 和遥感技术在生态安全评价与生物多样性保护中的应用	李文杰,张时煌 (6674)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 374 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 42 * 2010-12	

储藏方式和时间对三峡水库消落区 一年生植物种子萌发的影响

申建红, 曾波*, 施美芬, 刘建辉, 阿依巧丽

(三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆市三峡库区植物生态与资源重点实验室, 西南大学生命科学学院, 重庆 400715)

摘要:为了明确不同储藏方式和储藏时间对三峡水库消落区 4 种 1 年生植物稗 (*Echinochloa crusgalli*)、苍耳 (*Xanthium sibiricum*)、合萌 (*Aeschynomene indica*) 和水蓼 (*Polygonum hydropiper*) 种子萌发能力的影响, 筛选出有利于其萌发的最佳储藏方式及时间, 采取 5 种储藏方式 (室温、冷藏、冷冻、干沙、湿沙)、8 个储藏时间段 (30、60、90、120、150、180、210、240 d) 对种子进行储藏实验。在光照培养箱昼 25 °C/夜 20 °C 和周期性光照 (昼 12 h/夜 12 h, 光强 $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 条件下进行种子萌发, 每次萌发持续时间为 30 d。结果显示: (1) 稗、苍耳和水蓼的种子在湿沙储藏条件下萌发起始时间缩短, 种子萌发率、萌发指数高于其它储藏方式; 湿沙储藏条件下, 稗的种子储藏 90—180 d 萌发率达到 80% 以上, 苍耳的种子储藏 180 d 萌发率达 $(64 \pm 2)\%$, 水蓼的种子储藏 30—240 d 萌发率均超过 90%。 (2) 冷冻储藏能有效地解除合萌种子休眠, 显著提高其种子萌发率和发芽指数; 冷冻储藏 90—180 d 合萌的种子萌发率均超过 80%, 之间没有显著差异。 (3) 果皮是限制苍耳种子萌发的主要因素之一, 而去除果皮对合萌种子萌发没有显著影响。研究结果建议: 采用种子来进行消落区植被恢复和重建时, 稗、苍耳和水蓼的最佳储藏方式是湿沙储藏, 合萌的最佳储藏方式是冷冻储藏。结合三峡水库水位调度原则, 在适宜的储藏方式下, 本实验中储藏 120—180 d 的种子能够应用于消落区实地播种中。

关键词: 稗; 苍耳; 合萌; 水蓼; 种子储藏; 种子萌发; 植被恢复; 三峡水库消落区

Effects of storage condition and duration on seed germination of four annual species growing in water-level-fluctuation zone of Three Gorges Reservoir

SHEN Jianhong, ZENG Bo*, SHI Meifen, LIU Jianhui, Ayiqiaoli

Key Laboratory of Eco-environment in Three Gorges Reservoir Region (Ministry of Education), Chongqing Key Laboratory of Plant Ecology and Resources Research in Three Gorges Reservoir Region, School of Life Science, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: *Echinochloa crusgalli*, *Xanthium sibiricum*, *Aeschynomene indica* and *Polygonum hydropiper* are four common annual species growing in water-level-fluctuation zone of Three Gorges Reservoir. We found that seeds of these four species could tolerate long-term submergence and germinate successfully after water recession through our field observation, accordingly they could be used as promising species for revegetation and restoration of water-level-fluctuation zone. In this research, we studied the effects of storage condition and duration on the seed germination of the four species in order to find suitable ways to store and germinate them, providing information to restore vegetation by seeds in water-level-fluctuation zone of Three Gorges Reservoir. To select the best storage condition and time, we conducted storage experiments on seeds of the four species. We chose five different storage conditions, i. e. dry at room temperature, dry at 4 °C, dry at -18 °C, dry at room temperature under 10 cm sand layer and wet at room temperature under 10 cm sand layer. Fresh mature seeds of the four species under different storage conditions were stored through 8 different storage time (30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 d). Seed germination experiments were carried out in an illumination incubator (25 °C in day and 20 °C at night, light period: 12h; 12h and $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ day light intensity) and germination duration time was 30 d. The

基金项目: 国家自然科学基金 (30770406; 31070474); 教育部新世纪优秀人才支持计划项目 (NCET-06-0773)

收稿日期: 2010-01-27; **修订日期:** 2010-11-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: bzeng@swu.edu.cn

results showed that: (1) Seeds of *E. crusgalli*, *X. sibiricum* and *P. hydropiper* needed less time to start germination and had a higher seed germination percentage and a higher germination index under wet sand storage condition than under other conditions. In wet sand storage, the seed germination percentage of *E. crusgalli* after storage time of 90—180 d was higher than 80%, that of *X. sibiricum* after 180 d was $(64 \pm 2)\%$, and that of *P. hydropiper* after 30—240 d all exceeded 90%. (2) For *A. indica*, freezing storage was effective to break its seed dormancy, increasing its seed germination percentage and germination index. Seed germination percentage of *A. indica* was higher than 80% after storage time of 90—180 d. (3) In addition, we found that pericarp was one of the most important factors impeding the seed germination of *X. sibiricum*, while having no significant effects on the seed germination of *A. indica*. From the results we concluded that the best storage condition for seeds of *E. crusgalli*, *X. sibiricum* and *P. hydropiper* is wet sand storage, while that for *A. indica* is freezing storage. Under appropriate storage condition, seeds of the four annual species having been stored for 120—180 d had higher germination percentage and shorter time needed to start germination, basing on the operation principle of Three Gorges Reservoir water level, these seeds could be used in field planting in water-level-fluctuation zone of Three Gorges Reservoir.

Key Words: *Echinochloa crusgalli*; *Xanthium sibiricum*; *Aeschynomene indica*; *Polygonum hydropiper*; seed storage; seed germination; restoration; water-level-fluctuation zone of Three Gorges Reservoir

种子萌发是植物生活史中的一个关键环节^[1-2],种子能否顺利萌发是植物繁衍种族、扩散分布区域、增加遗传变异、提高对多变环境适应的主要途径^[3]。影响种子萌发的因素很多,除种子的自身结构外,环境因素也能影响种子的萌发^[2]。在环境因素中,储藏条件(温度、湿度等)和时间是影响种子萌发的重要外界因素。一方面,储藏条件影响种子的休眠、萌发及活力^[4-5]。例如,吴声敢等^[6]研究得出室内常温储藏 12 个月可以打破稗(*Echinochloa crusgalli*)种子的休眠,而冰箱(0—5℃)中储藏的稗种子一直处于休眠状态;Budelsky 和 Galatowitsch^[7]对 5 种苔草属(*Carex*)湿地植物种子储藏试验的萌发研究表明,湿冷储藏(saturated/4℃)2.5a 后这 5 种植物的种子仍保持高水平的活力,而其中 3 种苔草的种子经过长期干燥冷藏(4℃)其活力和萌发率下降。另一方面,储藏时间也能够影响种子的休眠、萌发与活力。例如,在 4 个月的储藏时间内,埋藏于地下的稗种子随时间的延长逐渐解除休眠,萌发率增大^[6];结缕草(*Zoysia japonica*)种子储藏 45 个月后其发芽力和活力指数明显低于储藏 9 个月的种子^[8];刘贵华等^[9]研究表明将普通野生稻(*Oryza rufipogon*)、柳叶箬(*Isachne globosa*)、野荸荠(*Heleocharis plantagineiformis*)和小慈姑(*Sagittaria potamogetifolia*)的种子储藏于干-冷条件下,其发芽率随储藏时间的延长显著提高。由此可见,对于一些草本植物的种子,可以通过控制其储藏方式和储藏时间来加快解除休眠的速率,促进萌发。

1 年生植物多数为杂草,繁殖力强,最能适应持久和强度干扰,其 1a 繁殖 1 次的特点非常有利于在不利的环境中生存,环境恶劣时能通过种子休眠而安度,对特殊生境的恢复进程有着积极的作用^[10-12]。对三峡水库消落区进行实地考察时发现,自 2003 年三峡水库开始蓄水以来,稗、苍耳(*Xanthium sibiricum*)、合萌(*Aeschynomene indica*)和水蓼(*Polygonum hydropiper*)等一些 1 年生植物在消落区退水之后的某些地段,特别是一些平缓的区域呈大面积分布,在消落区可以形成植被。对其生活史的调查结果显示,其种子的成熟期与水库水位涨落基本一致,成熟的种子能够耐受长期的水淹,并且在退水后能够快速萌发、生长并成功繁殖,种群可以自我维持下来。这些植物可以作为消落区植被恢复和重建优先考虑的物种,对于加快消落区植被恢复、丰富消落区生物多样性、稳定消落区生态系统具有积极的生态学意义。

采用种子来进行消落区植被恢复成本较低且适合大面积作业,但是由于三峡水库消落区面积广,仅凭植物种子自身的扩散能力是很难实现的,这就需要在库区大量收集种子,依靠人力来扩大种群的分布范围。在这一过程中,就必须对收集来的种子选取有效的方式进行储藏以保持种子活力,同时通过控制其储藏条件(温度、湿度)和储藏时间来提高种子的萌发率,为种子在消落区实地播种提供量化指导。本实验中,以三峡水库消落区生长的稗、苍耳、合萌和水蓼的种子为研究对象,对其采取不同储藏方式和时间,以明确不同储藏

条件和储藏时间对其萌发率的影响,为采用种子来进行三峡水库消落区植被恢复和重建提供科学指导。

1 材料和方法

1.1 研究植物及种子来源

本实验研究植物为稗、苍耳、合萌和水蓼 4 种 1 年生草本植物。其中:稗为禾本科稗属植物,高 50—150 cm,颖果小,花果期夏秋季。苍耳为菊科苍耳属植物,高 30—90 cm,瘦果 2 枚,外面包有带刺的总苞,花期 7—8 月份,果期 9—10 月份。合萌为豆科田皂角属植物,高 30—100 cm,荚果,夹节 4—8 (—10),不开裂,花期 7—8 月份,果期 8—10 月份。水蓼为蓼科蓼属植物,高 40—70 cm,瘦果长 2—3 mm,花期 5—9 月份,果期 6—10 月份。

2008 年 10 月,从重庆市忠县(107°30′—108°14′E,30°03′—30°35′N)涂井乡三峡水库消落区采集上述 4 种植物成熟的种子(或果实)。种子采集自多个植株个体,然后将种子充分混合并置于通风条件良好的室内风干。

1.2 储藏方式和时间

通过文献查阅并结合生产实践经验,选择以下 5 种常见的种子储藏方式:①室内常温干储,②冰箱干燥冷藏(4℃),③冰箱干燥冷冻(-18℃),④室内常温 10 cm 沙层下干储,⑤室内常温 10 cm 沙层下湿储(使沙子处于水分饱和状态,含水量>25%)。

2008 年 11 月 20 日开始储藏种子(储藏前去除杂质、病粒和瘪种子),分别在第 30、60、90、120、150、180、210、240d 时取出部分种子进行萌发实验。

1.3 种子萌发实验

种子萌发实验均在光温自动控制的培养箱(GXZ-300D 型培养箱,宁波江南仪器厂)内进行。将种子置于直径为 90 mm(苍耳为 120 mm)的培养皿中萌发,培养皿内预先铺放 0.5 cm 厚度的河沙(120℃高温灭菌 12 h)。稗、水蓼和合萌的种子直接摆放在河沙表面,苍耳的种子半埋于河沙中(由于苍耳瘦果外的总苞和合萌荚果的果皮较厚、致密、不易腐烂,为了模拟实地播种条件,将苍耳的总苞和合萌的果皮保留)。每个物种每种处理 50 粒,5 次重复。在昼 25℃/夜 20℃的温度和周期性光照(昼 12 h/夜 12 h,光强 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)条件下进行萌发,萌发过程中保持河沙湿润。每次萌发持续时间为 30 d,每 24 h 检测 1 次,以长出胚根为发芽标志,将已萌发的种子拣出。实验截止日期为 2009 年 8 月 17 日。

1.4 苍耳和合萌去除果皮的种子萌发实验

为了验证苍耳的总苞和合萌的果皮是否会影响种子的萌发。取出不同储藏方式条件下储藏 180 d 的部分果实,采用手剥或剪刀剥离的方式去除其果皮(苍耳为总苞,本文中统一称为果皮)后进行萌发。每组 50 粒,5 次重复,萌发持续时间为 30 d。萌发方式同上。

1.5 种子活力测定

每次种子萌发实验结束后,将培养皿中未萌发的种子取出,分别记录腐烂和外观完好的种子。用溴麝香草酚兰法(BTB 法)^[13]对外观完好的种子进行活力检测,将检测出有活力的种子作为休眠的种子。

1.6 种子萌发特征

本实验中,采用种子萌发的起始日期、发芽指数、种子萌发率和种子休眠率作为种子萌发特征的指标。

种子萌发的起始日期定义为受试种子放入培养箱内到培养皿内第 1 粒种子开始萌发所需的天数(d)。

发芽指数计算公式^[14]为 $I_g = \sum \frac{G_t}{D_t}$ (G_t 为 t 日当天的发芽数, D_t 为相应的发芽日数)。种子萌发率为发芽种子占受试种子的百分比。种子休眠率为培养皿内未萌发种子中有活力的种子占受试种子的百分比。

1.7 数据分析

用 SPSS13.0 进行实验数据的处理和分析。不同储藏方式和时间条件下的发芽指数、种子萌发率和种子休眠率采用单因素方差分析(One-way ANOVA),不同处理间差异显著性用 Duncan 多重比较(Duncan's multiple range test)来检验,不同储藏方式条件下保留果皮和去除果皮后苍耳和合萌的种子萌发特征采用独立

样本 t 检验 (Independent-Samples T Test) 进行分析。

2 结果

2.1 储藏方式和时间对种子萌发的影响

2.1.1 种子萌发起始时间

总体来看,稗、苍耳和水蓼的种子在湿沙储藏条件下萌发起始时间低于其它几种储藏方式(图 1)。在所有的储藏时间段内,稗和水蓼湿沙储藏的种子在 2—4 d 即可开始萌发。对苍耳种子而言,湿沙储藏 120—240 d 后其萌发起始时间大大缩短,在 3—4 d 即可开始萌发;而其余 4 种储藏方式下的萌发起始时间均需要 15 d 左右甚至更长。合萌湿沙储藏 30—90 d 种子萌发起始时间只需 2 d,湿沙储藏 90 d 后随着储藏时间的延长其种子萌发起始时间有增加的趋势。

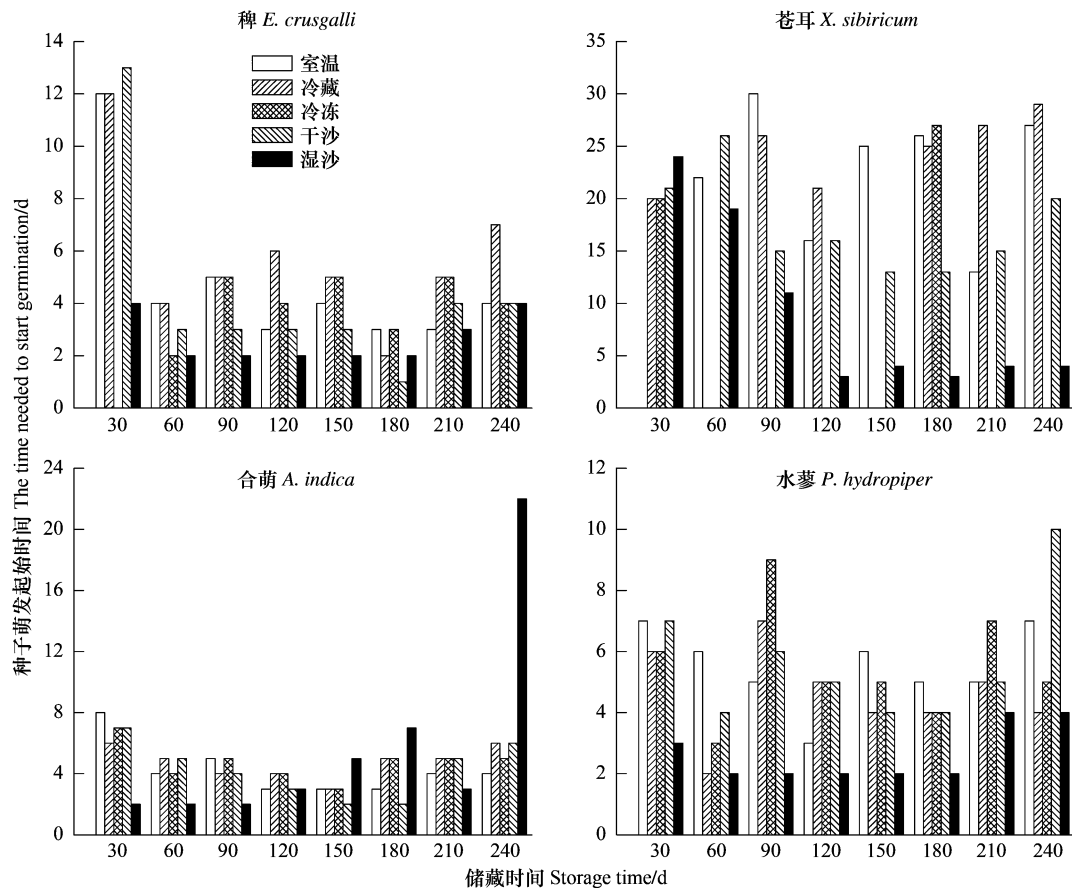


图 1 5 种储藏方式条件下,不同储藏时间稗、苍耳、合萌和水蓼的种子萌发起始时间

Fig. 1 The time needed to start seed germination of *Echinochloa crusgalli*, *Xanthum sibiricum*, *Aeschynomene indica* and *Polygonum hydropiper* under five storage conditions with different storage time

2.1.2 发芽指数

在不同储藏方式条件下,稗和苍耳的发芽指数随着储藏时间的延长呈现先上升后下降的趋势;其中,稗的发芽指数在储藏 150—180 d 达到最大值,苍耳在储藏 180 d 达到最大值(图 2)。稗在冷藏储藏和冷冻储藏条件下种子的发芽指数始终处于较低的水平,湿沙储藏 30—180 d 的发芽指数显著高于其它几种储藏方式($P < 0.05$)。苍耳湿沙储藏 60—240 d 的发芽指数显著高于其它 4 种储藏方式($P < 0.05$)。合萌在冷冻储藏和水蓼在湿沙储藏条件下的种子始终保持较高的发芽指数,其发芽指数显著大于其它几种储藏方式($P < 0.01$)(图 2)。

2.1.3 种子萌发率

不同储藏方式条件下,稗和苍耳的种子萌发率随着储藏时间的延长呈现先上升后下降的趋势(图 3)。稗

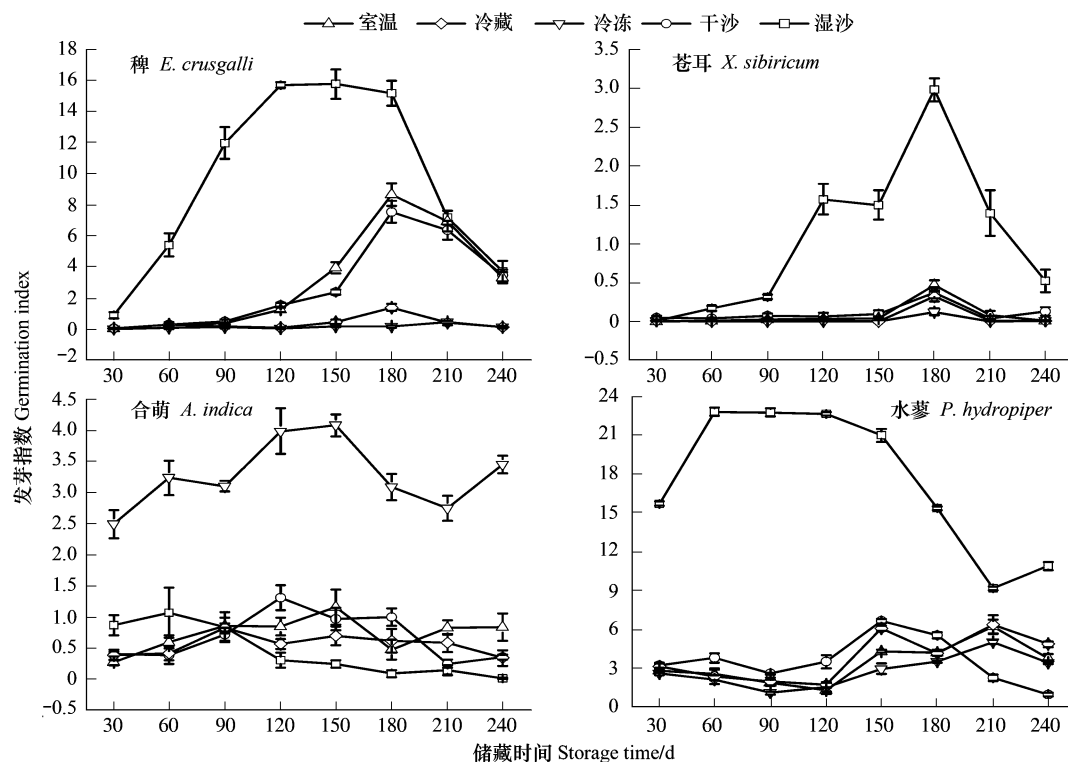


图2 5种储藏方式条件下,不同储藏时间稗、苍耳、合萌和水蓼的发芽指数 (Mean $\pm$ S. E.)

Fig. 2 Germination index (Mean $\pm$ S. E.) of *Echinochloa crusgalli*, *Xanthum sibiricum*, *Aeschynomene indica* and *Polygonum hydropiper* under five storage conditions with different storage time

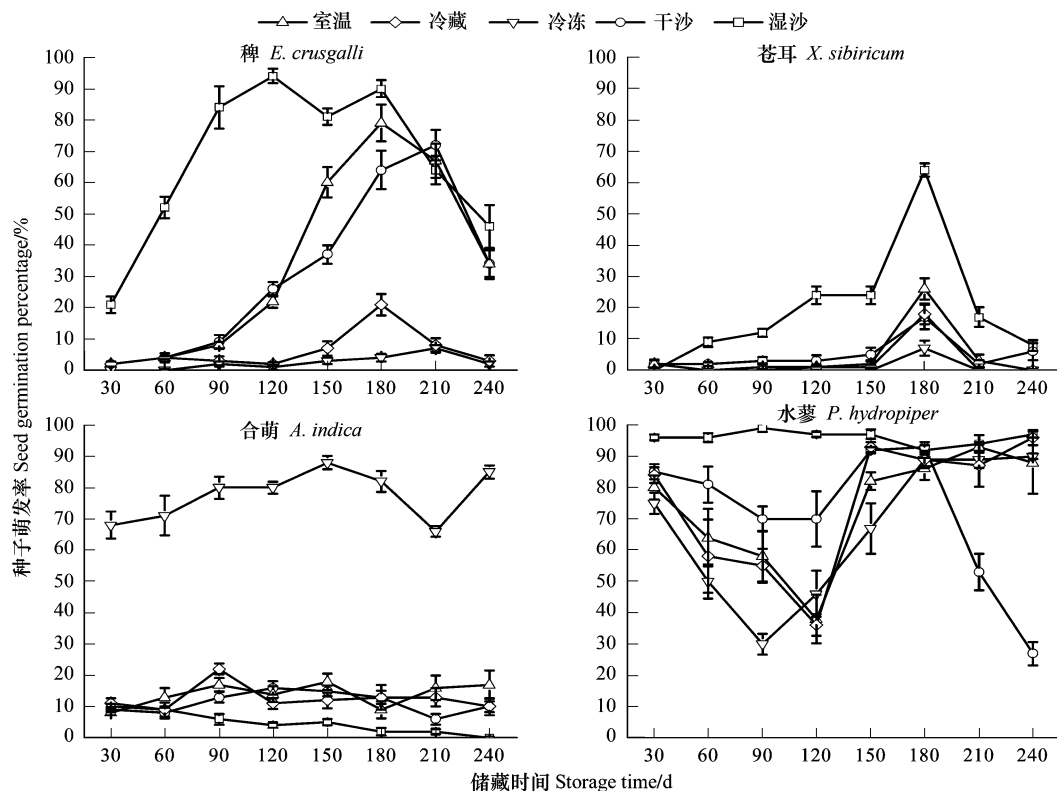


图3 5种储藏方式条件下,不同储藏时间稗、苍耳、合萌和水蓼的种子萌发率 (Mean $\pm$ S. E.)

Fig. 3 Seed germination percentage (Mean $\pm$ S. E.) of *Echinochloa crusgalli*, *Xanthum sibiricum*, *Aeschynomene indica* and *Polygonum hydropiper* under five storage conditions with different storage time

湿沙储藏 30—120 d 种子萌发率显著高于其它 4 种储藏方式 ($P < 0.01$), 其中在 90—180 d 萌发率都达到 80% 以上, 然而稗的种子在冷藏和冷冻储藏条件下的萌发率一直比较低。对苍耳来说, 其种子在 5 种储藏方式条件下储藏 180 d 时种子萌发率均达到最高, 而其它储藏时间段的萌发率则相对较低; 湿沙储藏 180 d 苍耳的种子萌发率达到 $(64 \pm 2)\%$, 显著高于其它 4 种储藏方式 ($P < 0.01$)。合萌的种子经冷冻储藏的萌发率在所有储藏时间段内均显著高于其它 4 种储藏方式 ($P < 0.01$), 冷冻储藏 90—180 d 其种子萌发率都达到 80% 以上, 没有显著差异 ($P > 0.05$); 而在室温、冷藏、干沙和湿沙储藏方式条件下, 所有储藏时间段种子萌发率均低于 25% (图 3)。对于不同储藏方式和时间的水蓼种子而言, 其在湿沙储藏 240 d 内各储藏时间段始终保持 90% 以上的萌发率 (图 3); 在室温、冷藏和冷冻储藏条件下, 其种子萌发率呈现先下降后上升的趋势, 储藏至 180—240 d 萌发率趋于平稳, 达到 80% 以上, 没有显著差异 ($P > 0.05$); 而在干沙储藏条件下, 其萌发率在储藏 180 d 后急剧下降, 干沙储藏 240 d 萌发率只有 $(27 \pm 4)\%$ 。

2.1.4 种子休眠率

在不同储藏方式条件下, 稗和苍耳的种子随储藏时间的延长休眠率呈现先下降后上升的趋势 (图 4)。稗冷藏和冷冻储藏的种子在所有储藏时间段一直保持较高的休眠率, 分别高达 75% 和 80% 以上; 湿沙储藏 90—180 d 种子休眠率均小于 10%, 显著低于其它储藏时间段 ($P < 0.01$); 室温 and 干沙储藏 180—210 d 种子休眠率较低, 显著低于其它储藏时间段 ($P < 0.01$)。苍耳种子室温、冷藏、冷冻和干沙储藏 30—120 d 休眠率达到 90% 以上; 湿沙储藏 180 d 的休眠率在所有储藏方式中最低, 为 30%。对室温、冷藏、干沙和湿沙储藏的合萌种子而言, 在所有储藏时间内休眠率均高达 75% 以上; 冷冻储藏的休眠率在所有储藏方式中最低, 在所有储藏时间段内均显著低于其它几种储藏方式 ($P < 0.01$) (图 4)。水蓼种子湿沙储藏在所有储藏时间内种子都没有休眠发生; 其它 4 种储藏方式种子休眠率呈现先上升后下降的趋势, 储藏 90—120 d 的休眠率最高,

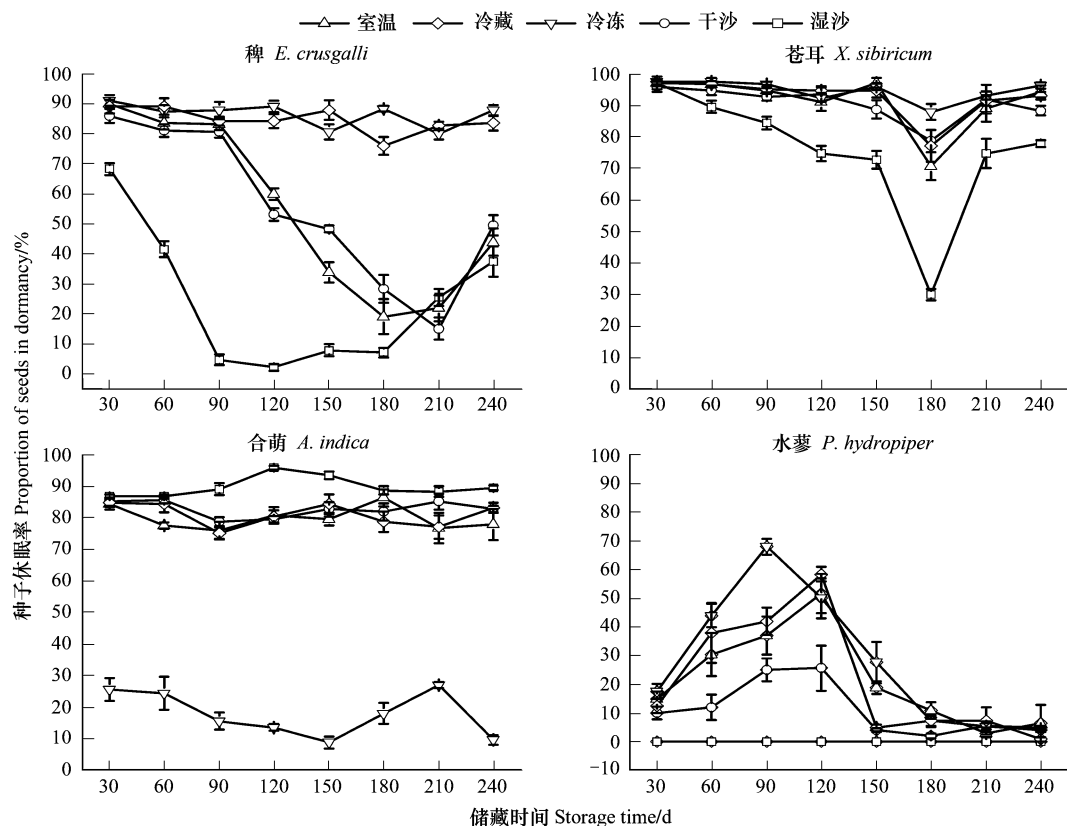


图 4 5 种储藏方式条件下, 不同储藏时间稗、苍耳、合萌和水蓼的种子休眠率 (Mean $\pm$ S. E.)

Fig. 4 Proportion of seeds in dormancy (Mean $\pm$ S. E.) of *Echinochloa crusgalli*, *Xanthum sibiricum*, *Aeschynomene indica* and *Polygonum hydropiper* under five storage conditions with different storage time

储藏 180—240 d 的休眠率降到 15% 以下(图 4)。

2.2 果皮对苍耳和合萌种子萌发的影响

在湿沙储藏和冷藏条件下,苍耳保留果皮的种子萌发率、休眠率和发芽指数与去除果皮的种子有显著差异($P < 0.01$)(图 5)。湿沙储藏条件下苍耳的种子萌发率最高,其保留果皮和去除果皮的种子萌发率分别达到 $(64 \pm 2)\%$ 和 $(94 \pm 2)\%$;而冷冻储藏条件下保留果皮和去除果皮的种子萌发率仅有 $(7 \pm 2)\%$ 和 $(12 \pm 4)\%$ 。苍耳去除果皮后的种子萌发起始时间在所有的储藏方式下均低于保留果皮的种子。

在 5 种储藏方式条件下,合萌保留果皮的种子萌发率和休眠率与去除果皮的种子均没有显著差异($P > 0.05$)(图 5)。在冷冻储藏条件下合萌的种子萌发率和发芽指数最高,其保留果皮和去除果皮的种子萌发率分别为 $(82 \pm 3)\%$ 和 $(88 \pm 2)\%$,发芽指数分别为 3.09 ± 0.21 和 5.93 ± 0.47 。合萌去除果皮后的种子萌发起始时间等于或小于保留果皮的种子。冷冻储藏条件下合萌去除果皮的种子发芽指数显著高于保留果皮的种子($P < 0.01$),其余储藏方式的发芽指数没有显著差异($P > 0.05$)。

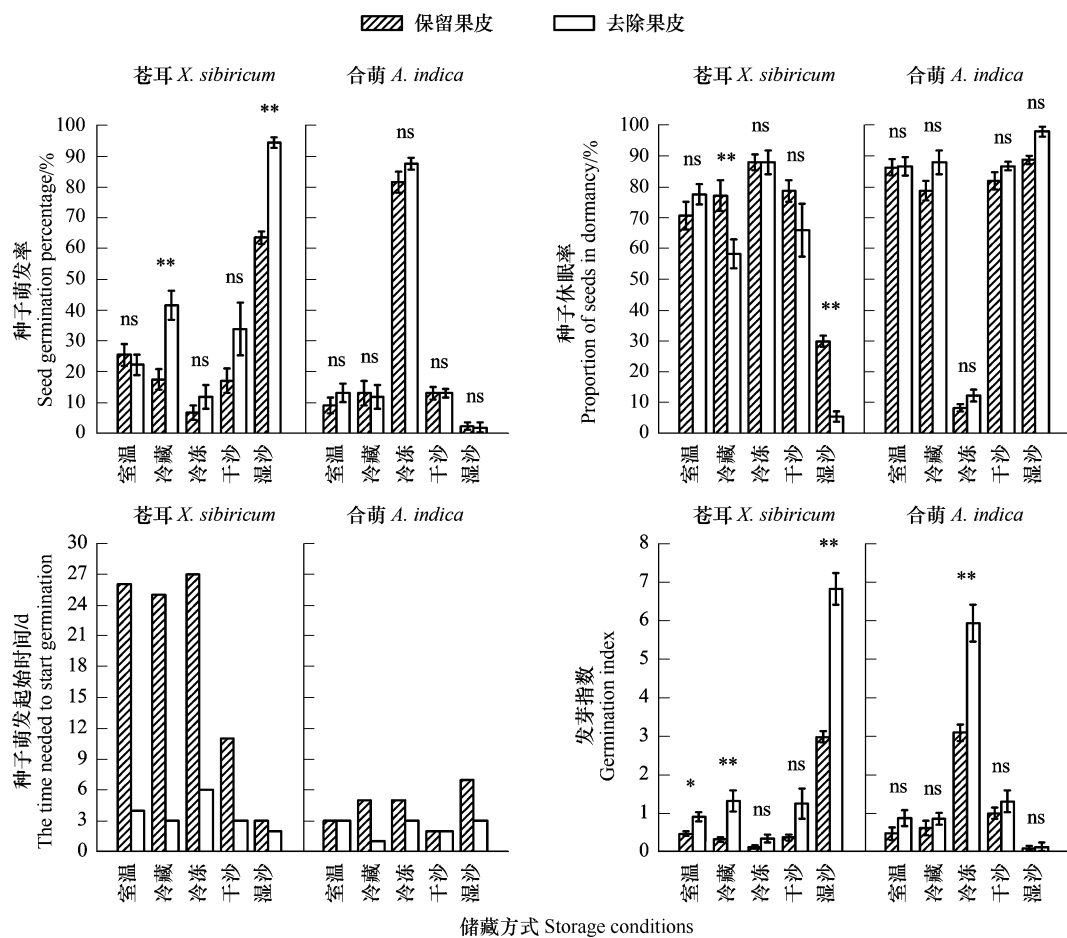


图 5 5 种储藏方式条件下,苍耳和合萌保留果皮和去除果皮后的种子萌发特征 (Mean $\pm$ S. E.)

Fig. 5 Germination traits of seeds (Mean $\pm$ S. E.) with and without pericarp of *Xanthum sibiricum* and *Aeschynomene indica* under five storage conditions

* : $P < 0.05$; * * : $P < 0.01$; ns: 无显著性差异

3 讨论

种子活力被不同因素所影响,例如:植物物种、种子发育期的环境条件、种子成熟的生理状态和种子的储藏方式^[15-16]。一些草本植物的种子具有初始休眠的特性^[9,17-18],而储藏可以打破这些物种的种子休眠^[17]。Ikeda 等^[19]研究发现恒定低温(5℃)潮湿储藏能使稗种子逐渐解除休眠,提高稗种子的萌发率,储藏 150 d 后

种子萌发率超过 50%, 240 d 达到 69%。本研究实验结果显示稗种子在室温、干沙和湿沙储藏条件下储藏 30—180 d 期间萌发率都有很大提高(室温由 2% 上升至 79%, 干沙由 2% 上升至 64%, 湿沙由 21% 上升至 90%), 这 3 种储藏方式都经历了自然条件下的气温由冬季低温到春季高温的过程, 这个过程逐渐打破了稗种子的休眠, 而恒定温度的冷冻和冷藏, 都没有很好地提高它的萌发率(图 3)。3 种提高种子萌发率的储藏方式中, 湿沙储藏对稗种子萌发率的提高作用最显著, 储藏 90 d 即提高到 80% 以上。在 Ikeda 等^[19]、吴声敢等^[6]对稗种子进行的萌发实验中, 低温干燥储藏也不能打破稗种子的休眠, 种子萌发率一直很低, 与本文实验结果相一致。稗种子除生理性的一次休眠外, 尚有因环境条件不适宜而被迫继续保持休眠状态的二次休眠(环境休眠)习性^[6,19], 吴声敢等^[6]发现在地下储藏条件下, 稗在翌年 7—8 月份种子发芽率急剧下降, 从 6 月的 74% 以上降为 1.33%—3.30%, 可能再次进入休眠状态或失去活力。本研究中稗在湿沙、干沙及室温储藏条件下, 到翌年 7 月种子萌发率降低, 休眠率增大, 可能存在 2 次休眠的特性(图 3, 图 4)。

苍耳瘦果的果皮厚且坚硬, 透水透气性较差, 种子具有二型性等因素是导致其种子休眠的主要原因^[20-21]。湿沙储藏可以使苍耳坚硬的果皮变软、渗透性加强, 在一定程度上打破苍耳种子休眠、促进种子萌发, 王强等^[22]研究发现经长期水淹后苍耳果皮变软, 种子更容易萌发。本研究结果与其相似, 湿沙储藏 180 d 苍耳的种子萌发率达到 $(64 \pm 2)\%$, 显著高于其它 4 种储藏方式($P < 0.01$)(图 3)。

豆科牧草常具有硬实种子, 其种皮透水性差、致密的结构阻止了种子萌发, 贮藏条件可以影响其硬实率高低, 冷冻处理可破坏种皮, 提高种皮透性, 增进种子内部新陈代谢, 提高种子萌发率^[23-24]。如: 冷冻处理能有效破除硬实, 提高苜蓿(*Medicago sativa*)、兵豆(*Lens culinaris*)、百脉根(*Lotus corniculatus*)、白花羽扇豆(*Lupinus albus*)和红豆草(*Onobrychis viciaefolia*)种子的发芽率^[25]; 低温冷冻(-6 — -10 °C)可以提高野大豆(*Gycine soja*)的种子发芽率^[26]。合萌种子也为硬实种子, 种皮具有不透水或透水性极差的特性, 即使在湿沙条件下也无法解除其种子休眠; 而冷冻储藏(-18 °C)可以有效解除合萌种子的休眠(图 4), 种子萌发率显著高于其它 4 种储藏方式($P < 0.01$)(图 3)。

种壳是造成水蓼种子休眠的主要物理因素之一, 去除种壳能明显提高水蓼种子的发芽率^[27], 本研究中湿沙储藏的水蓼种子在 240 d 内各时间段始终保持 90% 以上的萌发率, 没有休眠发生(图 3, 图 4), 表明通过湿沙储藏可以软化水蓼的种壳, 促进透水性, 提高发芽率。在其余 4 种储藏条件下, 种子萌发率在储藏 30—180 d 之间出现一个先下降后上升的过程(图 3), 其间没有萌发的种子经检测具有活力, 推测萌发率出现下降的原因可能是种子由于低氧、高二氧化碳、低水势等不适宜的环境条件而愈发的 2 次休眠^[20]。室温储藏、冷藏和冷冻储藏 180 d 之后种子萌发率保持平稳, 而干沙储藏 180 d 后萌发率急剧下降(图 3), 没有萌发的种子已劣变, 经检测已丧失活力。

果皮的厚度在一定程度上阻止水分和气体的交换, 抑制种子萌发^[20,28]。本研究中对苍耳进行的去除果皮后种子萌发实验结果显示, 去除果皮的种子比保留果皮的在一定程度上提高了萌发率和发芽指数, 缩短了萌发起始时间, 在 5 种储藏方式中湿沙储藏对其萌发率的提高最显著, 由 $(64 \pm 2)\%$ 提高到 $(94 \pm 2)\%$ (图 5)。然而, 对合萌进行的去除果皮后种子萌发实验结果显示, 去除果皮的与保留果皮的种子萌发率、发芽指数和萌发起始时间无太大差异, 由此可见, 合萌的果皮并不是影响其种子萌发的主要因素。

综上所述, 稗、苍耳和水蓼种子在湿沙储藏条件下萌发起始时间缩短, 种子萌发率、萌发指数高于其它储藏方式; 对合萌而言冷冻储藏能有效打破种子休眠、促进种子萌发。因此建议在采用种子来恢复和重建消落区植被时, 对稗、苍耳和水蓼的种子应采用湿沙储藏, 对合萌的种子而言冷冻储藏是最适合的储藏方式。另外本研究发现, 在适宜的储藏条件下, 储藏 120—180 d 的种子具有较高的种子萌发率和较短的萌发起始时间, 这些种子从第 1 年采收刚好储藏至第 2 年 3 月下旬至 5 月下旬, 这个时间段正值消落区的退水期, 而且气温回暖、雨量增加, 非常利于种子实地播种工作的开展。此外, 在实地播种时, 也不能简单将这 4 种植物混播, 还应结合种子萌发的时间特征来适时播种, 避免萌发起始时间短的物种成苗之后占据可用空间、抢夺资源从而阻碍萌发起始时间长的物种生长^[29]。本研究中种子萌发实验是在人工控制的光照及水分条件下进行的, 与

三峡水库消落区自然条件有一定的差异,因此在人工播撒种子进行消落区植被恢复和重建过程中,还应该结合消落区实地条件来进行综合考虑。

References:

- [1] Zhao X Y, Ren J Z, Wang Y R, Li Y M. Germination responses to temperature and moisture in seed from three species of *Caragana*. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2005, 25(2): 211-217.
- [2] Yang F J, Zhang Z H, Wang W J, Zu Y G, Chen H F, Jia J, Gu Y, Zhang N J. Anatomical and physiological differences of eight exotic species from Asteraceae. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(2): 442-449.
- [3] Gao R, Wei Y, Yan C. Amphicarpy and seed germination behavior of *Ceratocarpus arenarius* L. (Chenopodiaceae). *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(1): 23-27.
- [4] Beardmore T, Wang B S P, Penner M, Scheer G. Effects of seed water content and storage temperature on the germination parameters of white spruce, black spruce and lodgepole pine seed. *New Forests*, 2008, 36(2): 171-185.
- [5] Leinonen K. Effects of storage conditions on dormancy and vigor of *Picea abies* seeds. *New Forests*, 1998, 16(3): 231-249.
- [6] Wu S G, Wang Q, Zhao X P, Wu C X, Chen L P, Shen J L. Dormancy and dormancy-breaking of barnyard grass (*Echinochloa crusgalli*). *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2007, 19(3): 225-228.
- [7] Budelsky R A, Galatowitsch S M. Effects of moisture, temperature, and time on seed germination of five wetland *Carices*: Implications for restoration. *Restoration Ecology*, 1999, 7(1): 86-97.
- [8] Nie C S, Song S M, Shen S Y. Approach of the pretreatment and preservation resistance of *Zoysia japonica* seed. *Pratacultural Science*, 1993, 10(1): 27-35.
- [9] 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.
- [10] Grime J P. *Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties*. Chichester: John Wiley & Sons Inc, 2001: 1-417.
- [11] Crawley M J. *Plant ecology*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1986: 1-496.
- [12] Liu Z M, Li X H, Li R P, Jiang D M, Cao C Y, Chang X L. A comparative study of seed germination for 31 annual species of the Horqin steppe. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(3): 648-653.
- [13] Zhang Z L, Qu W J. *Experimental Direction of Plant Physiology*. Third ed. Beijing: Higher Education Press, 2003: 207-208.
- [14] Zheng G H. *Seed Physiology Research*. Beijing: Science Press, 2004: 623.
- [15] Black M, Bewley J D. *Seed technology and its biological basis*. England: Sheffield Academic Press, 2000: 375-411.
- [16] Smith R D, Dickie J B, Linington S H, Pritchard H W, Probert R J. *Seed conservation, turning science into practice*. Kew: Royal Botanic Gardens, Kew, 2003: 653-721.
- [17] Schütz W. Ecology of seed dormancy and germination in sedges (*Carex*) Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 2000, 3(1): 67-89.
- [18] Schütz W. Primary dormancy and annual dormancy cycles in seeds of six temperate wetland sedges. *Aquatic Botany*, 1997, 59(1): 75-85.
- [19] Ikeda K, Goto T, Tobisa M, Simojo M, Masuda Y. Studies on dormancy awakening and germination of *Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv. and *Digitaria adscendens* (H. B. K.) Henr. buried seeds in the Central Highland area of Kyushu. *Grassland Science*, 2003, 49(3): 238-242.
- [20] Yang Q H, Ye W H, Song S Q, Yin S H. Summarization on causes of seed dormancy and dormancy polymorphism. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2003, 23(5): 837-843.
- [21] Wu D, Huang S B, Li H Q. Dimorphic seed germination, plant growth difference, and ecological adaptability of *Xanthium italicum*. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(10): 5258-5264.
- [22] Wang Q, Yuan X Z, Liu H, Wang J X. Plant communities in newly created wetlands in water-level-fluctuation zone of Three Gorges Reservoir after flooding to 156 m height. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(11): 2183-2188.
- [23] Yi J, Cao Z C, Li Q F, Wu R. Problems and methods of testing seed vigor in *Leguminosae* and *Gramineae*. *Grassland of China*, 1994, 3: 42-44.
- [24] Yang Q H, Yin X J, Ye W H. Dormancy mechanism and breaking methods for hard seeds. *Chinese Bulletin of Botany*, 2006, 23(1): 108-118.
- [25] State Administration of Standardization. GB 2772-1981, Rules for forest tree seed testing. Beijing: Technology Standards Press, 1982.
- [26] Qiao Y K, Li G L, Wang W P, Gao S G, Bi Y J. Effect of different treatment methods and storage period on the germination of wild soybean. *Seed*, 2005, 3: 33-34.
- [27] Gu W H, Song R H, Liu Q, Xu Z Y, Sun L Z, Zang X Y. Studies on dormancy of water pepper (*Polygonum hydropiper*) seed and some efficient methods for breaking it. *Acta Agriculturae Shanghai*, 1996, 12(3): 64-67.

- [28] Willats W G T, McCartney L, Knox J P. *In-situ* analysis of pectic polysaccharides in seed mucilage and at the root surface of *Arabidopsis thaliana*. *Planta*, 2001, 213(1): 37-44.
- [29] Ross M A, Harper J L. Occupation of biological space during seedling establishment. *Journal of Ecology*, 1972, 60: 77-88.

参考文献:

- [1] 赵晓英, 任继周, 王彦荣, 李延梅. 3 种锦鸡儿种子萌发对温度和水分的响应. *西北植物学报*, 2005, 22(2): 211-217.
- [2] 杨逢建, 张衷华, 王文杰, 祖元刚, 陈华峰, 贾晶, 关宇, 张乃静. 八种菊科外来植物种子形态与生理生化特征的差异. *生态学报*, 2007, 27(2): 442-449.
- [3] 高蕊, 魏岩, 严成. 角果藜的地上地下结果性与种子萌发行为. *生态学杂志*, 2008, 27(1): 23-27.
- [6] 吴声敢, 王强, 赵学平, 吴长兴, 陈丽萍, 沈晋良. 稗草休眠特性及其解除. *浙江农业学报*, 2007, 19(3): 225-228.
- [8] 聂朝相, 宋淑明, 申斯迎. 结缕草种子预处理反应与耐藏性的探讨. *草业科学*, 1993, 10(1): 27-35.
- [9] 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.
- [12] 刘志民, 李雪花, 李荣平, 蒋德明, 曹成有, 常学礼. 科尔沁沙地 31 种 1 年生植物萌发特性比较研究. *生态学报*, 2004, 24(3): 648-653.
- [13] 张志良, 瞿伟菁. *植物生理学实验指导* (第 3 版). 北京: 高等教育出版社, 2003: 207-208.
- [14] 郑光华. *种子生理学研究*. 北京: 科学出版社, 2004: 623.
- [20] 杨期和, 叶万辉, 宋松泉, 殷寿华. 植物种子休眠的原因及休眠的多形性. *西北植物学报*, 2003, 23(5): 837-843.
- [21] 吴冬, 黄妹博, 李宏庆. 意大利苍耳二形性种子萌发、植株生长差异及生态适应性. *生态学报*, 2009, 20(10): 5258-5264.
- [22] 王强, 袁兴中, 刘红, 王建修. 三峡水库 156 m 蓄水后消落带新生湿地植物群落. *生态学杂志*, 2009, 28(11): 2183-2188.
- [23] 易津, 曹自成, 李青丰, 乌仁. 豆科、禾本科牧草种子活力测定中的问题及测定方法. *中国草地*, 1994, 3: 42-44.
- [24] 杨期和, 尹小娟, 叶万辉. 硬实种子休眠的机制和解除方法. *植物学通报*, 2006, 23(1): 108-118.
- [25] 国家标准总局. GB 2772—1981, 林木种子检验方法. 北京: 技术标准出版社, 1982.
- [26] 乔亚科, 李桂兰, 王文颇, 高书国, 毕艳娟. 不同处理方法和贮藏时间对野生大豆种子萌发的影响. *种子*, 2005, 3: 33-34.
- [27] 顾卫红, 宋荣浩, 刘琴, 徐振怡, 孙丽珍, 臧晓韵. 蓼种子休眠及解眠的方法. *上海农业学报*, 1996, 12(3): 64-67.

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 30 卷 第 23 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 23 2010

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:100717	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