

干藏和淹水对三峡库区 21 种草本植物种子萌发的影响

李连发^{1,2,3}, 廖建雄^{1,2}, 江明喜^{1,2*}, 黄汉东^{1,2}, 何东^{1,2,3}

(1. 中国科学院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: 研究了三峡库区河岸带 21 种常见草本植物种子在干藏以及不同淹水深度(0.5、1.0 和 2.0 m)处理下的萌发特性。结果表明:以新采集种子的萌发率作为对照,干藏后 8 个物种的萌发率增加(占总数的 38.1%),1 种萌发率不变(4.8%),12 种萌发率降低(57.1%)。与对照相比,淹水后 3 个物种的萌发率增加(占总数的 14.3%),2 个物种的萌发率不变(9.5%),16 个物种的萌发率下降(76.2%)。水淹处理后,占总数 76.2% 的物种的萌发率下降,其中 11 种显著下降;但淹水深度对种子的萌发没有显著影响。干藏后的繁穗苋(*Amaranthus paniculatus*)、皱果苋(*Amaranthus viridis*)和红刺果苋(*Amaranthus* sp.)以及水淹后的鳢肠(*Eclipta prostrata*)萌发率 >50%,而且能够利用库区退水期完成生活史形成种子,表明这些植物可作为三峡库区消落带植被恢复时优先考虑的物种源。

关键词: 三峡库区; 消落带; 萌发特性; 植被恢复

中图分类号: Q945.34

文献标识码: A

文章编号: 1000-470X(2010)01-0099-06

Effects of Dry Storage and Water Submersion on Seed Germination of 21 Herbaceous Species Indigenous to the Three Gorges Reservoir Region

LI Lian-Fa^{1,2,3}, LIAO Jian-Xiong^{1,2}, JIANG Ming-Xi^{1,2*}, HUANG Han-Dong^{1,2}, HE Dong^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of Aquatic Botany and Watershed Ecology, 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: Regeneration using seed is an important measure for wetland vegetation restoration, and the germination requirements, especially responses to water submersion, are the fundamental information for selecting suitable species as seed sources. In order to select seed sources for vegetation restoration in the water fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir Region (TGRR), we collected 21 herbaceous species indigenous to the riparian zone of TGRR, and set the germination rate of fresh seeds as control to compare with seeds stored at two different conditions: dry storage and water submersion with different water levels (0.5, 1.0, 2.0 m). Compared to the control, the 8 month dry storage enhanced the germination rate of 8 species (38.1% of total species number), decreased that of 12 species (57.1%), and didn't have any impact on that of 1 species (4.8%). As for the water submersion treatment, germination rate of 76.2% species was decreased, and that of 14.3% species was increased and that of the rest 9.5% species was not affected compared to the control, indicating that the germination rate of most species was reduced by water submersion. However, there was no significant difference between germination rate of seeds under different water levels. The germination rate of *Amaranthus paniculatus*, *Amaranthus viridis*, *Amaranthus* sp. after dry storage, and *Eclipta prostrata* after

收稿日期: 2009-03-03, 修回日期: 2009-05-04。

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)。

作者简介: 李连发(1980-), 男, 中国科学院武汉植物园硕士研究生, 主要研究方向为恢复生态学(E-mail: llf_80@126.com)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: mxjiang@wbcas.cn)。

water submerged were more than 50%. Furthermore, they were able to fulfill their life history over course of water recession, thus these four species should be prioritized for vegetation restoration via seed in this region. These findings have implications for the scheduling and management of restoration practices with seeds in the water fluctuation zone in TGR.

Key words: Three Gorges Reservoir Region; Water fluctuation zone; Germination characteristics; Vegetation restoration

三峡水库建成以后,根据其“蓄清排洪”的调度原则,在 6~9 月的自然汛期维持在 145 m 低水位运行,10~5 月维持 175 m 高水位。这 30 m 的水位落差,使库区内形成面积高达 350 km² 的三峡库区消落带^[1]。与自然形成的河岸带相比,新形成的三峡库区消落带面临两个主要问题:一是水淹节律的改变;二是淹水时间的延长,某些区域的淹水时间可长达 6 个月之久,原有河岸带的种子将会遭遇新的热量和水位节律变化。在新的人工控制的水位节律下,种子适应性的滞后可能会导致库岸消落区内很多原有的植物不能生存,从而造成库岸剥蚀和滑坡、消落带水土流失、库区景观质量下降等一系列生态问题^[2],解决这些问题的关键是筛选出适宜的物种进行植被恢复。

生态恢复主要有两种途径:一是人工进行植被种植,如幼苗或繁殖体的种植或者直接用种子播种^[3,4];另一种是种子库移植^[5]。目前三峡库区消落带的植被恢复研究主要集中于植株对水淹胁迫的生理生态响应和适应等方面^[6,7],尚未见从种子萌发的角度进行库区消落带植被筛选的报道。而从恢复的效果看,与采取繁殖体移植或幼苗种植措施相比,直接用种子播种往往更经济,对目标区域的破坏更小^[8]。因此,如何筛选出适宜于受损湿地恢复的物种,以及了解这些目标物种的萌发特性对于植被恢复就显得尤为重要。

如果能通过种子萌发法从三峡库区常见植物中找到某些物种,其种子能在三峡水库蓄水前刚好成熟,经冬春季水淹至翌年 5 月底水库退水后又能继续萌发生长,将对三峡水库消落带的植被恢复具有重要意义。而有关目标物种种子的萌发、休眠、干藏和预处理对萌发的影响等信息能增加播种恢复成功的可能性^[9]。因此,我们在三峡库区自然河岸带采集了 21 种常见草本植物的成熟种子作为备选物种。研究目的在于:(1)研究这些备选物种种子在干藏以及不同淹水梯度等处理条件下的萌发特性,

即期望回答哪些物种种子能够耐受三峡库区消落带长达 6 个月的水淹,哪些物种种子能够在干藏处理后仍保持较高的萌发率;(2)研究哪些物种种子能够在库区消落带 6~9 月份退水期完成生活史形成种子。通过上述研究以期筛选出适宜于新形成的库区消落带恢复的物种,并最终用于三峡库区消落带的生态恢复。

1 材料和方法

1.1 种子来源

2007 年 9 月,从位于三峡库区的秭归县兰陵溪(30°52'N,110°55'E)自然河岸带采集新鲜成熟的 21 种常见草本植物种子(表 1),所采种子为随机取样并尽可能多地采集。种子采集后,过筛去除杂质,室温条件下风干 2 周后备用。

1.2 处理条件

本研究共设置 5 个处理条件:对照(新采集种子)、室温下自然放置(干藏)、0.5 m 水淹、1 m 水淹以及 2 m 水淹。2007 年 10 月 8 日开始对种子进行萌发实验。干藏处理的种子储藏在通风的实验室,在室温下自然放置。淹水处理在中科院武汉植物园水生植物展示区不同水位深度的水池中进行。为模拟三峡库区水位运行节律,水淹和干藏处理的起止时间为 2007 年 10 月 1 日至 2008 年 6 月 1 日,共计 244 d。对经过干藏和淹水处理的种子,在 2008 年 6 月上旬开始萌发实验。

1.3 萌发方法

参照 Grime 等^[10]的方法进行萌发实验。为模拟自然条件,所有萌发实验均在中科院武汉植物园不供热的温室中进行。每个物种的每个处理设 3 个重复,每个重复 100 粒种子。将经水淹和干藏预处理后的种子放在底部垫有双层湿润滤纸的培养皿中,每天统计萌发数,加适量蒸馏水以保证充足的水分供应。胚根长度等于种子长度时记为萌发,并将

已萌发的种子移出培养皿。在萌发末期,连续 5 d 萌发数不足供试种子总数 1%(即 1 粒)时记为萌发结束。

1.4 萌发物种的生活史观察

将经过干藏或淹水处理后萌发率 > 50% 的幼苗栽种在花盆中,放在武汉植物园不加热的温室中,观察其在 9 月底三峡库区蓄水前是否能完成生活史,形成成熟种子。

1.5 萌发特性指标和数据分析

萌发率(germination percentage)为:萌发结束后萌发种子数占供试种子总数的百分比。

数据分析基于最终萌发率进行。先对萌发率进行反正弦转化以克服数据的方差不齐,采用最小显著差异法(LSD)检验各物种在不同处理条件下的差异显著性。统计分析使用 SPSS 15.0 完成。

2 研究结果

2.1 种子萌发率对干藏处理的响应

与对照(新采集种子)相比,干藏后 8 个物种的萌发率增加(占总数的 38.1%),其中 2 种显著增加;1 种萌发率不变(4.8%);12 种萌发率降低(57.1%),其中 10 种显著下降(表 1)。

21 个物种中,薏苡(*Coix lacryma-jobi*)种子在本实验中均未萌发。

萌发率 > 50% 的新采集种子有 7 种,包括酸模(*Rumex acetosa*)、苍耳(*Xanthium sibiricum*)、繁穗苋(*Amaranthus paniculatus*)、皱果苋(*Amaranthus viridis*)、高粱(*Sorghum vulgare*)、粘毛蓼(*Polygonum viscosum*)和鳢肠(*Eclipta prostrata*)。以新采集种子的萌发率作为对照,干藏提高了繁穗苋种子的萌发率,但影响不显著(表 1)。与对

表 1 新采集种子与干藏和水淹处理后种子萌发率的比较

Table 1 Comparison of seed germination percentage (Mean $\pm$ SD) between freshly collected seeds, dry-stored and submersed seeds

物种 ¹ Species	Life form ²	F ³	新采集 Fresh ⁴	干藏 Dry store	水淹 Submersion
马松子 <i>Melochia corchorifolia</i>	P	1.8	1.0 $\pm$ 0.0	2.0 $\pm$ 0.0	1.7 $\pm$ 1.2
凹头苋 <i>Amaranthus ascendens</i>	A	12.7	0.3 $\pm$ 0.6	6.3 $\pm$ 2.1	16.0 $\pm$ 6.3
红蓼 <i>Polygonum orientale</i>	A	3.0	1.0 $\pm$ 0.0	2.0 $\pm$ 0.0	1.0 $\pm$ 1.0
稗 <i>Echinochloa crusgali</i>	A	18.3 **	2.3 $\pm$ 0.6 ^a	5.0 $\pm$ 0.0 ^b	2.0 $\pm$ 1.0 ^a
葎草 <i>Humulus scandens</i>	A	11.9 *	2.0 $\pm$ 1.0 ^a	0.0 $\pm$ 0.0 ^b	0.0 $\pm$ 0.0 ^b
土荆芥 <i>Chenopodium ambrosioides</i>	A	7.0 *	3.0 $\pm$ 1.0 ^a	1.7 $\pm$ 0.6 ^b	1.0 $\pm$ 0.0 ^b
苘麻 <i>Abutilon theophrasti</i>	A	0.8	5.0 $\pm$ 1.0	4.0 $\pm$ 0.0	3.7 $\pm$ 2.3
田皂角 <i>Aeschynomene indica</i>	A	7.4	4.7 $\pm$ 2.3	2.7 $\pm$ 1.2	0.0 $\pm$ 0.0
旱稗 <i>Echinochloa crusgali</i> var. <i>hispidula</i>	A	13.3 *	8.3 $\pm$ 2.3 ^a	23.0 $\pm$ 1.0 ^b	18.7 $\pm$ 3.1 ^b
金色狗尾草 <i>Setaria glauca</i>	A	96.7 **	16.7 $\pm$ 2.1 ^a	10.7 $\pm$ 0.6 ^b	0.7 $\pm$ 1.2 ^c
白鳞莎草 <i>Cyperus nipponicus</i>	A	292.0 **	20.0 $\pm$ 2.0 ^a	0.0 $\pm$ 0.0 ^b	0.0 $\pm$ 0.0 ^b
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	A	17.2 *	38.3 $\pm$ 16.6 ^a	47.0 $\pm$ 2.0 ^a	1.0 $\pm$ 0.0 ^{ab}
红刺果苋 <i>Amaranthus</i> sp.	A	96.0 **	46.0 $\pm$ 4.6 ^a	56.3 $\pm$ 6.7 ^a	1.0 $\pm$ 0.0 ^b
繁穗苋 <i>Amaranthus paniculatus</i>	A	48.0 **	54.3 $\pm$ 9.1 ^a	65.3 $\pm$ 9.0 ^a	1.0 $\pm$ 0.0 ^b
苍耳 <i>Xanthium sibiricum</i>	A	73.8 **	65.0 $\pm$ 10.0 ^a	0.0 $\pm$ 0.0 ^b	8.3 $\pm$ 2.9 ^b
皱果苋 <i>Amaranthus viridis</i>	A	76.4 **	84.7 $\pm$ 8.5 ^a	59.3 $\pm$ 3.1 ^b	3.0 $\pm$ 2.6 ^c
高粱 <i>Sorghum vulgare</i>	A	180.8 **	89.3 $\pm$ 5.5 ^a	10.3 $\pm$ 2.1 ^b	4.7 $\pm$ 3.1 ^b
酸模 <i>Rumex acetosa</i>	P	598.1 **	94.7 $\pm$ 0.6 ^a	18.7 $\pm$ 7.5 ^b	2.3 $\pm$ 2.1 ^c
粘毛蓼 <i>Polygonum viscosum</i>	A	311.2 **	96.7 $\pm$ 3.2 ^a	0.0 $\pm$ 0.0 ^b	3.3 $\pm$ 4.2 ^b
鳢肠 <i>Eclipta prostrata</i>	A	5.1 *	100.0 $\pm$ 0.0 ^a	54.3 $\pm$ 15.3 ^b	81.7 $\pm$ 31.8 ^{ab}

注:1. 薏苡种子在实验中均未萌发,未列入表格;2. P:多年生草本,A:一年生草本;3. F值和显著性水平,* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$;
4. 上角标相同的字母表示差异不显著,不同的字母表示差异显著或极显著。

Notes:1. *Coix lacryma-jobi* was excluded since it showed no germination in any of the tests; 2. P:Perennials, A:Annuals; 3. F-values and significance levels of the ANOVA of the results of the tests, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$; 4. Values with different superscript are significantly different from each other.

照相比,干藏处理降低了 6 种植物种子的萌发率。其中,鳢肠种子的萌发率有显著下降($P < 0.05$);酸模、苍耳、皱果苋、高粱和粘毛蓼种子的萌发率均有极显著地下降($P < 0.01$)。苍耳和粘毛蓼的种子干藏后未见萌发。

萌发率在 10% ~ 50% 之间的对照种子有 4 种: 马唐(*Digitaria sanguinalis*)、金色狗尾草(*Setaria glauca*)、白磷莎草(*Cyperus nipponicus*) 和红刺果苋(*Amaranthus sp.*)。其中,马唐和红刺果苋种子干藏后的萌发率均高于对照种子的萌发率,但无显著差异(表 1)。与对照相比,干藏后金色狗尾草和白磷莎草种子的萌发率极显著地降低($P < 0.01$)。白磷莎草种子在干藏后未见萌发。

萌发率 < 10% 的 9 种对照种子为红蓼(*Polygonum orientale*)、稗(*Echinochloa crusgali*)、苘麻(*Abutilon theophrasti*)、田皂角(*Aeschynomene indica*)、土荆芥(*Chenopodium ambrosioides*)、葎草(*Humulus scandens*)、马松子(*Melochia corchorifolia*)、凹头苋(*Amaranthus ascendens*) 和旱稗(*Echinochloa crusgali var. hispidula*)。干藏处理后,旱稗、稗、马松子、凹头苋和红蓼 5 种种子的萌发率增加,而苘麻、田皂角、土荆芥和葎草 4 种种子的萌发率下降(表 1)。其中,旱稗的萌发率有显著增加($P < 0.05$),稗的萌发率有极显著增加($P < 0.01$);土荆芥和葎草种子的萌发率有显著降低($P < 0.05$)。其余物种的萌发率与对照相比无显著差异。

2.2 种子萌发率对水淹处理的响应

与对照相比,水淹处理后,3 个物种萌发率增加(占总数的 14.3%),其中 1 种显著增加;2 个物种萌发率不变(9.5%);16 个物种的萌发率下降(76.2%),其中 11 种显著下降(表 1)。

萌发率 > 50% 的对照种子有 7 种。与对照相比,水淹处理后它们的萌发率都呈下降趋势(表 1)。其中,酸模、苍耳、繁穗苋、皱果苋、高粱和粘毛蓼均有极显著的降低($P < 0.01$);而鳢肠则略有下降,但差异不显著。

萌发率在 10% ~ 50% 之间的对照种子有 4 种: 马唐、金色狗尾草、白磷莎草和红刺果苋,水淹处理后它们的萌发率都呈下降趋势(表 1)。其中,马唐显著降低($P < 0.05$);金色狗尾草、白磷莎草和红刺果苋均呈极显著降低($P < 0.01$)。

萌发率 < 10% 的对照种子有 9 种。水淹处理

后,红蓼和稗的萌发率保持持平;苘麻、田皂角、土荆芥和葎草的萌发率下降;而马松子、凹头苋和旱稗的萌发率呈增加趋势(表 1)。与对照相比,淹水显著提高了旱稗的萌发率($P < 0.05$),显著降低了土荆芥和葎草的萌发率($P < 0.05$)。

对 0.5、1、2 m 3 个淹水深度处理下的萌发率进行单因素方差分析,结果表明:淹水深度对种子的萌发率没有显著影响($F = 0.267$, $P > 0.05$)(表 2)。

表 2 3 个水淹深度(0.5、1、2 m)处理间种子萌发率的 ANOVA 分析(%)

Table 2 ANOVA's of seed germination percentage in different water-levels treatments

变异来源 Source	离差平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F	P
组间 Between groups	0.043	2	0.022	0.267	0.766
组内 Within groups	4.839	60	0.081		
合计 Total	4.882	62			

2.3 干藏处理和水淹处理萌发率的比较

本实验 20 个萌发的物种中,10 个物种无论在干藏处理还是水淹处理条件下的萌发率均低于 10%。

干藏处理后,萌发率 > 50% 的物种有 4 种。其中,繁穗苋、皱果苋和红刺果苋在干藏条件下的萌发率均高于水淹处理条件下的萌发率,且呈极显著水平。鳢肠在 2 种处理条件下的萌发率差异不显著,但在水淹处理下的萌发率较高,达 82%。

干藏处理后,萌发率在 10% ~ 50% 之间的物种有 5 种。这 5 种植物在干藏条件下的萌发率均高于水淹处理的萌发率,其中金色狗尾草和酸模具极显著水平,马唐呈显著水平,旱稗和高粱无显著差异。

凹头苋种子干藏处理后,虽然萌发率低于 10%,但在水淹处理下的萌发率仍达 16%。

2.4 萌发物种的生活史观察

对经水淹或干藏处理后萌发率 > 50% 的物种进行生活史观察,发现干藏处理后的繁穗苋、皱果苋、红刺果苋以及淹水处理后的鳢肠均能在 9 月底库区蓄水前完成生活史,形成成熟种子。

3 讨论

3.1 干藏处理对萌发率的影响

与对照相比,种子干藏至翌年6月份库区退水后,8个物种的萌发率增加,可能的原因是这类种子的胚乳具有后熟作用,而且干藏增加了种皮的渗透性^[11]。12种种子的萌发率降低,可能在于随储藏时间的延长,种子活力逐步降低或出现休眠。不同物种对同一处理具有不同萌发行为,这种萌发特性的分化形成了植被动态变化^[12]。因此可以利用这种萌发特性的分化进行物种筛选,并将筛选出的物种运用于生态恢复。

另外,薏苡在本试验中均不萌发,表明这类具有坚硬种皮的种子可能存在物理休眠^[13]。

3.2 水淹处理对萌发率的影响

与对照萌发率相比,水淹后16个物种的萌发率下降,表明淹水处理导致大部分物种种子萌发率降低。可能的原因在于: O_2 对于维持种子的新陈代谢具有十分重要的作用^[14],淹水后种子处于低氧胁迫下,导致萌发率降低。水淹后,3个物种萌发率增加,可能在于这些物种适宜于水淹下的厌氧环境。而其中旱稗种子的萌发率显著增加,表明厌氧环境能打破某些种子的休眠作用^[15,16]。

不同深度水淹处理的结果表明:淹水深度对种子的萌发没有显著影响($P > 0.05$)。推测这是因为:一是在0.5、1、2 m 3个水淹深度下,影响种子萌发的水温和氧气浓度等因素大致相同;二是本实验中的3个水淹梯度间的差异并不大,这与三峡库区消落带高达30 m的水淹强度有很大差异。因此,应考虑在三峡库区消落带实地进行物种萌发率对不同水淹深度响应的实验。

3.3 萌发物种的生活史观察

按照三峡水库“冬蓄夏排”的运行节律,每年4月份开始退水至5月底降至最低水位145 m,一直维持至9月份开始蓄水,这就要求恢复物种必须具备与此相适应的更新生态位(regeneration niche)。Thompson和Hölzel对温带河流湿地的研究表明:种子萌发和建立的最佳时间出现在春季水位下降后,开放的空间和沉积物提供了萌发所需的适宜温度和充足的氧气^[17]。同样,三峡库区消落带在5月份退水后提供了物种萌发所需的适宜的温度、湿度、氧气和光照条件。因此,对于那些能在三峡库区退

水后萌发,至9月份库区蓄水前完成生活史、形成成熟种子的物种将是三峡库区消落带恢复时优先考虑的物种。

3.4 对三峡库区消落带植被恢复的启示

通过对干藏和水淹2个处理条件下的萌发率与新采集种子的萌发率对比研究,结果表明一部分物种适宜于干藏处理,一部分适宜于淹水处理。但考虑到干藏时所需的采收、储藏和播种成本,在生态恢复时应充分利用物种的萌发特性和生活史特征,以自然恢复为主。与适宜于干藏物种不同,适宜于淹水处理的物种不需要人工收集种子,只要有足够的物种源,通过合理的配置,这些物种就能自然利用三峡库区“冬蓄夏排”的水库运行节律产生新一代种子以补充土壤种子库,至翌年退水后又开始萌发,进行自然恢复。

水淹处理后,只有鳢肠种子的萌发率 $> 50\%$ 。生活史实验的结果表明:水淹处理后萌发的鳢肠幼苗能在9月底完成生活史,形成下一代种子。这说明水淹后仍保持高萌发率的鳢肠是三峡库区消落带恢复时应予以优先考虑的物种之一。

繁穗苣、皱果苣和红刺果苣在干藏至翌年5月份三峡库区退水时萌发率仍然很高,而且均能在9月底库区蓄水前完成生活史。因此,干藏条件下的繁穗苣、皱果苣和红刺果苣可作为三峡库区消落带恢复时的物种源。另外,旱稗、酸模、高粱和马唐等物种干藏处理后萌发率在 $10\% \sim 50\%$ 之间,考虑到它们能产生大量种子,因此在一定程度上仍可以运用于三峡库区消落带的恢复。

在20种萌发的物种中,有7种植物的新采集种子萌发率 $> 50\%$ 。这类物种成熟后通过种子雨加入土壤种子库,为防止这些物种萌发消耗种子库,应该在其成熟后立即采取措施:要么通过人工采集进行干藏处理;要么提高水位进行淹水处理。

致谢:感谢中国科学院武汉植物园陶敏和鲍大川在种子萌发实验中提供的帮助!感谢卢志军老师和李洁琳帮助修改英文摘要!

参考文献:

- [1] 罗芳丽,王玲,曾波,叶小齐,陈婷,刘巖,张艳红. 三峡库区岸生植物野古草(*Arundinella anomala* Steud.) 光合作用对水淹的响应[J]. 生态学报, 2006, 26: 3602–3609.
- [2] 李娅,曾波,叶小齐,乔普,王海峰,罗芳丽. 水淹对三

- 峡库区岸生植物秋华柳(*Salix variegata* French.)存活和恢复生长的影响[J]. 生态学报, 2008, 28: 1923–1930.
- [3] 王海锋, 曾波, 李娅, 乔普, 叶小齐, 罗芳丽. 长期完全水淹对4种三峡库区岸生植物存活及恢复生长的影响[J]. 植物生态学报, 2008, 32(5): 977–984.
- [4] Paul G R, John D, Greg M. Restoring the Victorian Western (Basalt) plains grassland 1. Laboratory trials of viability and germination, and the implications for direct seeding [J]. *Ecological management & restoration*, 2007, 8(2): 114–122.
- [5] Hölzel N, Otte A. Ecological significance of seed germination characteristics in flood-meadow species [J]. *Flora*, 2004, 199: 12–24.
- [6] 冯大兰, 刘芸, 钟章成, 杨娟, 谢君. 三峡库区消落带芦苇(*Phragmites communis* (reed))的光合生理响应和叶绿素荧光特性[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2013–2021.
- [7] 王海锋, 曾波, 乔普, 李娅, 罗芳丽, 叶小齐. 长期水淹条件下香根草(*Vetiveria zizanioides*)、菖蒲(*Acorus calamus*)和空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)的存活及生长响应[J]. 生态学报, 2008, 28(6): 2571–2580.
- [8] Budelsky R A, Galatowitsch S M. Effects of moisture, temperature, and time on seed germination of five wetland *Carices*: implications for restoration [J]. *Restoration Ecology*, 1999, 7(1): 86–97.
- [9] Keller M, Kollmann J. Effects of seed provenance on germination of herbs for agriculture compensation sites [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1999, 72: 87–99.
- [10] Grime J P, Mason G, Curtis A V, Rodman J, Band S R, Mowforth M A G, Neal A M, Shaw S. A comparative study of germination characteristics in a local flora [J]. *J Ecol*, 1981, 69: 1017–1059.
- [11] Mata D I, Movenso-Casasola P. Effect of in situ storage, light and moisture on the germination of two wetlands tropic trees [J]. *Aquatic Botany*, 2005, 83: 206–218.
- [12] Thompson K, Grime J P. A comparative study of germination responses to diurnally-fluctuating temperatures [J]. *J Appl Ecol*, 1983, 20: 141–156.
- [13] 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[J]. 生态学报, 2005, 25(2): 371–374.
- [14] Simpson G M. A study of germination in the seed of wild rice (*Zizania aquatica*) [J]. *Can J Bot*, 1966, 44: 1–9.
- [15] Baskin C C, Baskin J M, Chester E W. Effect of flooding on the annual dormancy cycle and on germination of seeds of the summer annual *Schoenoplectus purshianus* (Cyperaceae) [J]. *Aquatic Botany*, 2000, 67: 109–116.
- [16] Baskin C C, Baskin J M. *Seeds Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination* [M]. California: Academic Press, 1998.
- [17] Hölzel N, Otte A. Ecological significance of seed germination characteristics in flood-meadow species [J]. *Flora*, 2004, 199: 12–24.