

低温层积和室温干燥贮藏对4种蒺藜科 草本植物种子萌发的影响

郑秀芳¹, 陈文¹, 王桔红¹, 彭玉姣², 张勇¹

(1. 河西学院生态研究所, 甘肃 张掖 734000; 2. 西南科技大学生命科学与工程学院, 四川 绵阳 621010)

摘要: 研究了低温层积和室温干燥贮藏对河西走廊骆驼蒿 (*Peganum nigellastrum*)、骆驼蓬 (*P. harmala*)、驼蹄瓣 (*Zygophyllum fabago*) 和蝎虎驼蹄瓣 (*Z. mucronatum*) 蒺藜科4种草本植物种子萌发的影响。结果显示, 贮藏条件对4种蒺藜科植物种子萌发率和萌发速率有极显著的影响 ($P < 0.001$)。经冬季冷屋贮藏 (-5°C 、湿润) 和冰箱贮藏 (4°C 、湿润) 的驼蹄瓣种子萌发率分别达到 74.5% 和 64%, 经室温干贮的种子萌发率仅为 27%, 略高于贮藏前的种子萌发率 (12%); 经冬季冷屋贮藏的骆驼蓬种子萌发率达到 70.5%, 大于冰箱贮藏后的种子萌发率 (27%) 和室温干贮后的种子萌发率 (12%); 室温干燥贮藏极大地提高了骆驼蒿种子萌发率和萌发速率, 经室温干燥贮藏的骆驼蒿种子萌发率 (98%) $>$ 冬季冷屋贮藏后的萌发率 (65%) $>$ 冰箱贮藏后的萌发率 (57%) $>$ 贮藏前的萌发率 (8%); 3种贮藏条件对蝎虎驼蹄瓣种子萌发几乎没有影响, 萌发率不足 10%。说明低温层积能有效破除骆驼蒿、骆驼蓬、驼蹄瓣种子休眠, 提高萌发率和萌发速率, 而室温干燥贮藏使骆驼蒿种子完成后熟, 提高萌发率和萌发速率。

关键词: 蒺藜科植物; 低温层积; 室温干燥贮藏; 种子萌发; 休眠

中图分类号: Q945.34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)04-0053-07

生物在长期的进化中形成了多种生活史对策, 种子休眠是一些种子植物应对恶劣环境的重要策略之一。若当前环境条件适宜种子萌发, 而预期未来不适宜幼苗存活和生长时, 种子则保持休眠以阻止萌发^[1]。因此, 种子休眠代表了生存在特殊环境的物种能够避免幼苗建植时遭遇不良条件的一种机制。许多温带植物种子在秋季成熟并扩散, 于第二年春季萌发, 自然选择使得一些植物具有阻止种子扩散后立即萌发的机制, 使幼苗在春季或早夏萌出, 保证了物种的最大适合度。研究显示, 初级休眠、不适宜的温度、水分缺乏、过度郁闭以及它们的综合作用都会阻止成熟的种子萌发, 使种子保持在休眠状态, 而湿冷层积 (Cold wet stratification) 是多数温带植物种子破除休眠的重要机制^[2~5], 种子萌发前对寒冷的需求可以确保幼苗在春季或早夏萌出, 利于幼苗的存活^[6]; 有些温带植物的种子扩散后则需要一段干燥温暖的时期后, 才能完成后熟 (After-ripening) 并萌发。国际许多学者已经开展了种子萌发生态学的研究, 如 Baskin 对世界各地 3 480 个物种的种子萌发与休眠进行了研究和汇集^[2], Gutteman 对沙漠地带种子萌发特性进行了研究^[7]; 我国一些学者也研究了沙漠地带植物种子萌发对环境的响应、种子萌

发对策及其进化机制等^[8~12]。以上研究极大地拓展了种群生态学和繁殖生态学的内容, 并且对荒漠植被的恢复和重建提供了一定的理论依据。

河西走廊干旱半干旱荒漠区自然条件恶劣、气候严酷, 年均降水量不足 200 mm, 年潜在蒸发量大于 2 000 mm, 干燥度大于 4, 土壤干旱、贫瘠。在长期的自然选择过程中, 生活在这种极端严酷和胁迫环境下的植物形成了其特殊的繁殖对策和适应机制, 深入研究荒漠植物种子萌发行为的变化及其影响的生态因子, 对荒漠植物快速繁殖和更新起着重要作用。

蒺藜科 (Zygophyllaceae) 植物在我国有 5 属、28 种, 主要分布在我国西北盐生荒漠地, 在戈壁、沙漠和盐碱地等恶劣环境中均能生存, 常是荒漠生态系统的建群种和优势种, 有些是良好的固沙植物, 研究影响种子萌发的生态因子, 对于干旱区荒漠植被的保护和重建将起着重要作用。一些学者对蒺藜科植物叶和茎结构的耐旱特点进行了研究^[13~16], 也有学者对蒺藜科植物种子萌发进行了研究^[3, 5]。在一些萌发生态学研究, 常将待用的种子存放在冰箱内进行低温干燥贮藏, 以减慢种子的生理变化, 但这种贮藏方式与种子在自然界所经历的冬季低温环境

收稿日期: 2010-12-26

基金项目: 国家自然科学基金 (31040009); 甘肃省科技厅自然科学基金 (1010RJZG204); 甘肃省高校河西走廊特色资源利用省级重点实验室基金 (XZ1013); 河西学院院长基金

作者简介: 郑秀芳 (1965—), 女, 甘肃天水人, 副教授, 主要从事植物生理生态研究。

通讯作者: 王桔红 (1963—), 女, 河北无极人, 博士, 教授, 主要从事特殊地域植物生态学研究。E-mail: wjuh1918@ yahoo .cn。

相差甚远,所以种子萌发前的低温干燥贮藏缺少生态价值,而种子的低温层积和干贮后熟则具有重要的生态价值和研究意义^[2]。然而,蒺藜科植物种子萌发对各种低温层积和干燥后熟的比较研究仍较少^[3,5],这些基础信息的缺乏将不利于植物繁殖对策的研究和荒漠地带植被恢复和重建工作。

本文通过研究低温层积和室温干燥贮藏对河西走廊荒漠地带骆驼蒿 (*Peganum nigellastrum*)、骆驼蓬 (*P. harmala*)、驼蹄瓣 (*Zygophyllum fabago*) 和蝎虎驼蹄瓣 (*Z. mucronatum*) 4 种蒺藜科常见草本植物种子萌发的影响,探讨这 4 种植物种子经历低温层积和室温干燥贮藏后的萌发变化,拟从萌发水平上探讨荒漠植物快速繁殖和更新的方法,为干旱半干旱区生态恢复和重建提供可靠的理论依据。

1 材料与方法

1.1 采集地生境

研究区位于河西走廊中部(张掖)(90°20′~102°12′E,37°28′~39°57′N),该地域年平均气温 7.6℃,极端高温 39.1℃,极端低温在 -27.3℃;年降水量不足 200 mm,多集中在 7~9 月,年潜在蒸发量超过 2 000 mm,气候干燥,风沙大,沙尘暴日数为 20~38 d,是典型的温带干旱荒漠气候^[17]。

1.2 种子采集与贮藏

成熟的骆驼蒿、骆驼蓬、驼蹄瓣和蝎虎驼蹄瓣种子于 2009 年 8~9 月采自张掖向东 35 km 的半流动沙丘和盐碱荒滩地。每一物种的种子随机取自 30~40 株,每一株收集 100~150 粒种子,将收集到的每一物种的种子充分混合,以避免母体对种子萌发的影响。种子采集后,在实验室内自然风干。为了测试种子扩散时的萌发能力,每一物种的种子在收集后的 15 d 内进行萌发测试。然后将颗粒饱满的每一种植物的种子分为 3 组,第 1 组种子置于室温

(20℃±1℃,干燥)条件下贮藏 6 个月;第 2、3 组种子,每种植物随机选取 50 粒种子,均匀铺放在 2 层滤纸、直径为 90 mm 的培养皿中,滴少许蒸馏水将种子浸湿,在萌发实验前分别放置冬季无暖气平房(-5℃±1℃,浸湿)、冰箱(4℃±1℃,浸湿)黑暗下各贮藏 65 d(贮藏期间适量浇水以保证种子湿润),4 次重复。

1.3 萌发实验

贮藏后的种子在 18℃±1℃、12 h 光照/12 h 黑暗条件下进行萌发测试,每 24 h 进行萌发检测,统计萌发数目,以肉眼看到白色的幼根为标准判断种子是否萌发,并将已萌发的种子检出,萌发实验持续 40 d。

1.4 统计与分析

主要萌发指数有萌发率(Gemination percentage)、萌发速率(Gemination rate)、萌发开始时间(Days to first germination)和萌发持续时间(Gemination period)。

$$GP = GN/SN ; GR = \sum (GN/GT)$$

式中,GP 为萌发率;GN 为种子萌发总数;SN 为所测种子总数;GR 为萌发速率;GN 为种子当日的萌发率;GT 为萌发当日的天数,分析时对萌发率原始数据进行反正弦转换,使数据近似正态分布;萌发开始时间,是从播种到第一粒种子萌发所需的时间(d);萌发持续时间,开始萌发到萌发结束所需时间(d)。

以单因素方差(One-way ANOVAs)和最小差异显著法(LSD)分析不同贮藏条件之间种子萌发率和萌发速率的差异。统计分析使用 SPSS 17.0 统计软件。

2 结果与分析

2.1 种子扩散时萌发能力

种子采集后 15 d 内萌发测试显示,骆驼蒿、骆驼蓬、驼蹄瓣、蝎虎驼蹄瓣种子萌发率分别为 8%、14%、12% 和 0(表 1)。

表 1 种子大小和种子扩散时的萌发率

Table 1 Seed mass and germination percentage during dispersal for four species

物种 Species	百粒重(g) 100-seed weight±SE	萌发率(%) Germination percentage±SE	萌发开始时间(d) Days to first germination	萌发持续时间(d) Germination period
骆驼蒿 <i>P. nigellastrum</i>	0.2981±0.001	8±1	6	12
骆驼蓬 <i>P. harmala</i>	0.5205±0.013	14±2	5	19
驼蹄瓣 <i>Z. fabago</i>	0.3105±0.025	12±1	6	4
蝎虎驼蹄瓣 <i>Z. mucronatum</i>	0.2261±0.007	0±0	—	—

2.2 贮藏条件对 4 种蒺藜科植物种子萌发率和萌发速率的影响

方差分析显示,3 种贮藏条件(室温干燥贮藏、

冰箱贮藏和冷屋冬季贮藏)对骆驼蒿种子萌发率($F=45.42, P<0.001$)和萌发速率($F=94.47, P<0.001$)、骆驼蓬种子萌发率($F=29.24, P<0.001$)

和萌发速率 ($F=34.03, P<0.001$)、骆驼瓣种子萌发率 ($F=17.48, P<0.001$)和萌发速率 ($F=49.03, P<0.001$)均具有极显著的影响,对蝎虎驼蹄瓣种

子萌发率 ($F=3.193, P>0.05$)和萌发速率 ($F=4.028, P>0.05$)几乎没有影响(表 2)。

表 2 4 种蒺藜科植物在不同处理下的萌发率和萌发速率变异的方差分析

Table 2 Effect of seed treatments on germination percentages and rates of four Zygophyllaceae species by analysis of variance (ANOVAs)

物种 Species	df	萌发率 Germination percentage		萌发速率 Germination rate	
		F	P	F	P
骆驼蒿 <i>P. nigellastrum</i>	3	45.42	***	94.47	***
骆驼蓬 <i>P. hamala</i>	3	29.24	***	34.03	***
驼蹄瓣 <i>Z. fabago</i>	3	17.484	***	49.03	***
蝎虎驼蹄瓣 <i>Z. mucronatum</i>	3	3.193	ns	4.028	ns

注:Note: * $P<0.05$; ** $P<0.01$; *** $P<0.001$; ns, $P>0.05$.

骆驼蒿、骆驼蓬、驼蹄瓣和蝎虎驼蹄瓣种子在成熟扩散时萌发率很低,分别是 8%、14%、12%、0。3 种贮藏条件极大地提高了骆驼蒿种子的萌发率,室温干燥贮藏后的骆驼蒿种子萌发率达到最大,为 98%;冰箱和冬季冷屋贮藏后萌发率分别是 57% 和 65%。与成熟和扩散时种子相比,经室温干燥贮藏后的骆驼蓬种子萌发率基本没有变化,为 12%;经

冰箱贮藏后的种子萌发率略有提高,为 27%;经冬季冷屋贮藏的种子萌发率达到 70.5%。室温干燥贮藏使驼蹄瓣种子萌发率略有提高,为 27%,而冰箱贮藏和冬季冷屋贮藏极大地提高了驼蹄瓣的种子萌发率,分别达到 64% 和 74.5%。蝎虎驼蹄瓣种子经 3 种贮藏后,萌发率仍很低或不萌发(图 1)。

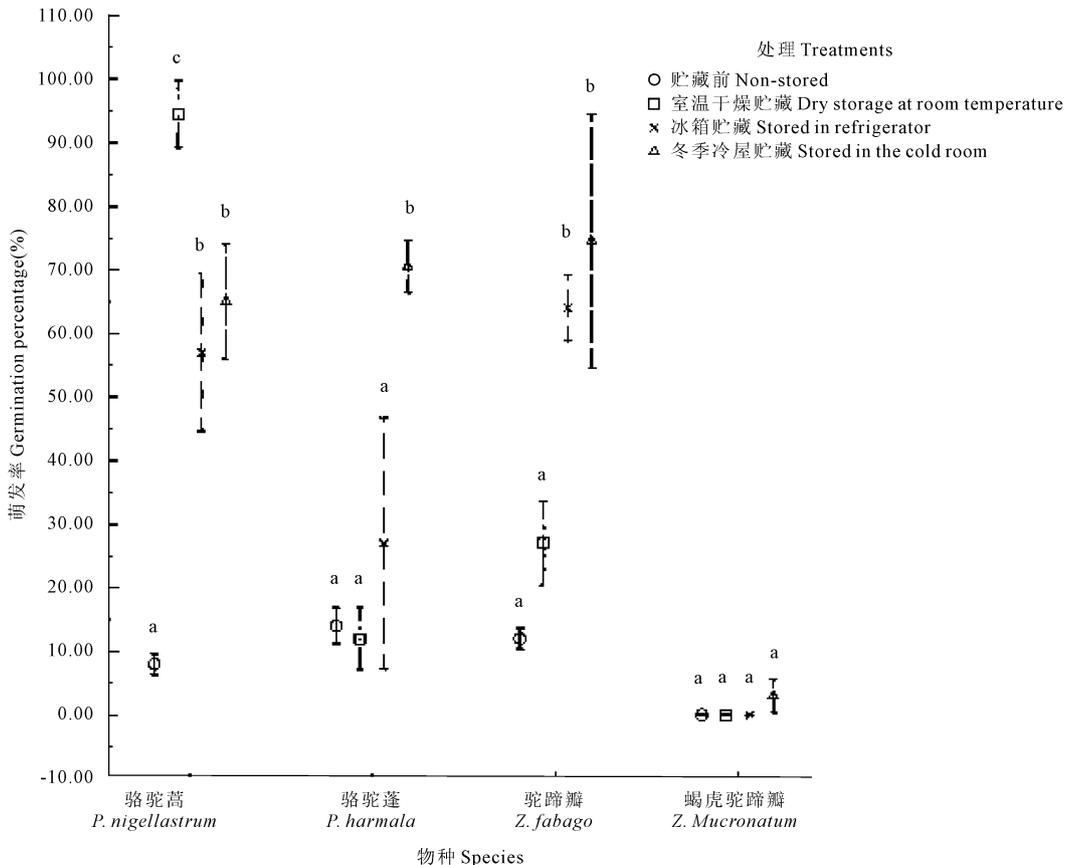


图 1 不同贮藏后 4 种蒺藜科植物种子萌发率

Fig.1 Germination percentages of four Zygophyllaceae species following three different storage conditions
万方数据

表 3 不同贮藏后 4 种蒺藜科植物种子萌发速率

Table 3 Germination rates of four Zygophyllaceae species following three different storage treatments

物种 Species	萌发速率 Germination rate			
	贮藏前 Non-stored	室温干燥贮藏 Dry storage at room temperature	冰箱贮藏 Stored in refrigerator	冬季冷屋贮藏 Stored in cold room during winter
骆驼蒿 <i>P. nigellastrum</i>	0.1523±0.0189a	14.641±0.656c	6.771±1.227b	8.592±0.982b
骆驼蓬 <i>P. hamala</i>	0.2449±0.0344a	0.8818±0.322ab	3.029±1.727b	8.181±0.367c
驼蹄瓣 <i>Z. fabago</i>	0.2102±0.0090a	1.9918±0.490a	12.045±0.661b	10.760±2.617b
蝎虎驼蹄瓣 <i>Z. mucronatum</i>	0±0.000a	0±0.000a	0.444±0.044a	0.791±0.053a

注:数值为平均值±标准误差;字母表示同一物种不同贮藏下的 Tukey's test 比较结果,字母相同表示差异不显著,字母不同者表示差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Values are means±standard deviation; Letters are Tukey's test results of comparison of the same species under different storage conditions. As for a species, the same letters stand for insignificant difference, while the different letters stand for significant difference ($P<0.05$). The same below.

经室温干燥贮藏后的骆驼蒿种子萌发速率>冬季冷屋贮藏>冰箱贮藏>贮藏前的萌发速率;经冬季冷屋贮藏的骆驼蓬种子萌发速率>冰箱贮藏>室温干燥贮藏>贮藏前的萌发速率;经冰箱贮藏的驼蹄瓣种子萌发速率>冬季冷屋贮藏>室温干燥贮藏>贮藏前萌发速率(表 3)。

2.3 不同贮藏条件下的 4 种蒺藜科植物种子萌发进程

由图 2 可以看出,骆驼蒿在 3 种贮藏条件下均于第 2 天开始萌发,冬季冷屋和冰箱贮藏后于第 3 天萌发加快,第 4 天出现高峰(30%~40%),第 5 天开始逐渐减缓;室温干燥贮藏后于第 4 天开始加快,第 5 天出现萌发高峰(75%),第 6 天逐渐减缓,持续时间均约 9 d。骆驼蓬在冰箱和冬季冷屋贮藏后于均在第 3 天开始萌发,于第 4 天出现萌发高峰,第 5 天开始减缓,持续时间约 7 d;室温干燥贮藏后于第 4 天开始萌发,第 5 天开始萌发率加快,第 7 天开始减缓,持续时间约 5 d。冰箱和冬季冷屋贮藏后的驼蹄瓣于第 2 天开始萌发,持续时间约 15 d,但冬季冷屋贮藏后的种子从第 3 天开始萌发加快,第 4 天出现高峰(50%),第 5 天减缓,而冰箱贮藏后第 2 天加快,第 3 天出现高峰(50%),第 4 天开始减缓;室温干燥贮藏后于第 4 天开始萌发,第 5 天开始加快,第 7 天出现高峰(10%),第 8 天开始减缓,持续时间约 11 d。蝎虎驼蹄瓣经过室温干燥贮藏后于第 7 天开始萌发,萌发率很低,持续 3 d 后停止萌发;冰箱和冬季冷屋室外贮藏条件下萌发相比较晚,冰箱贮藏后的种子于第 12、16、28 天时分别出现萌发,萌发率很低,但持续时间较长。

3 讨论

种子萌发是种子植物生活史中实现种群更新和

物种延续的关键环节之一。在多变的环境中,植物种群的成功建立取决于种子在适宜的条件下萌发,在不利的环境中休眠,这是植物适应逆境和保护物种延续的一种生态策略。大量研究认为,冬季低温层积可打破温带地区植物种子的休眠、促进萌发^[2]。本研究结果显示,骆驼蒿、骆驼蓬和驼蹄瓣种子在成熟扩散后的 15 d 内有极低的萌发率,蝎虎驼蹄瓣不萌发,说明这 4 种植物种子有较高的初级休眠水平,而冰箱贮藏(4℃湿润)和冬季冷屋贮藏(-5℃湿润)破除了骆驼蒿、骆驼蓬和驼蹄瓣种子的休眠,提高萌发。其中骆驼蓬种子经室温干燥贮藏后的萌发率为 12%,经冰箱贮藏后的种子萌发率为 27%,经冬季冷屋贮藏的种子萌发率达到 70.5%,该结果与路宁娜等^[3]对骆驼蓬种子萌发的研究结果相一致;驼蹄瓣种子经冰箱和冬季冷屋贮藏后,其萌发率分别达到 64% 和 74.5%;骆驼蒿种子经冰箱、冬季冷屋贮藏后萌发率显著提高,分别达到 57% 和 65%。以上结果表明湿冷(Moist chilling)是打破这 3 种植物种子休眠的有效方法,该结果与 Schütz 和 Rave^[18]对温带苔草属(*Carex*)的研究结果相一致,表明这些植物的种子只有经历冬季寒冷后,在温暖季节到来时才能快速萌发,增大幼苗的存活率,进而提高物种适合度。在本研究中,骆驼蒿种子经室温干燥贮藏后种子萌发率达到最大(98%),说明骆驼蒿种子扩散后的干燥温暖时期是控制萌发的一个极重要条件,种子经历这个时期后,才能完成后熟、提高萌发。此外,王桔红和张勇^[5]对驼蹄瓣种子萌发的研究发现,经冬季沙埋后的种子在 5℃/25℃下培养,其萌发率可达 90%;经沙埋后的骆驼蒿种子在 5℃/25℃下培养,萌发率可达 80%,说明驼蹄瓣和骆驼蒿种子的萌发不但与低温层积有关,而且与萌发时的温度有密切关系。

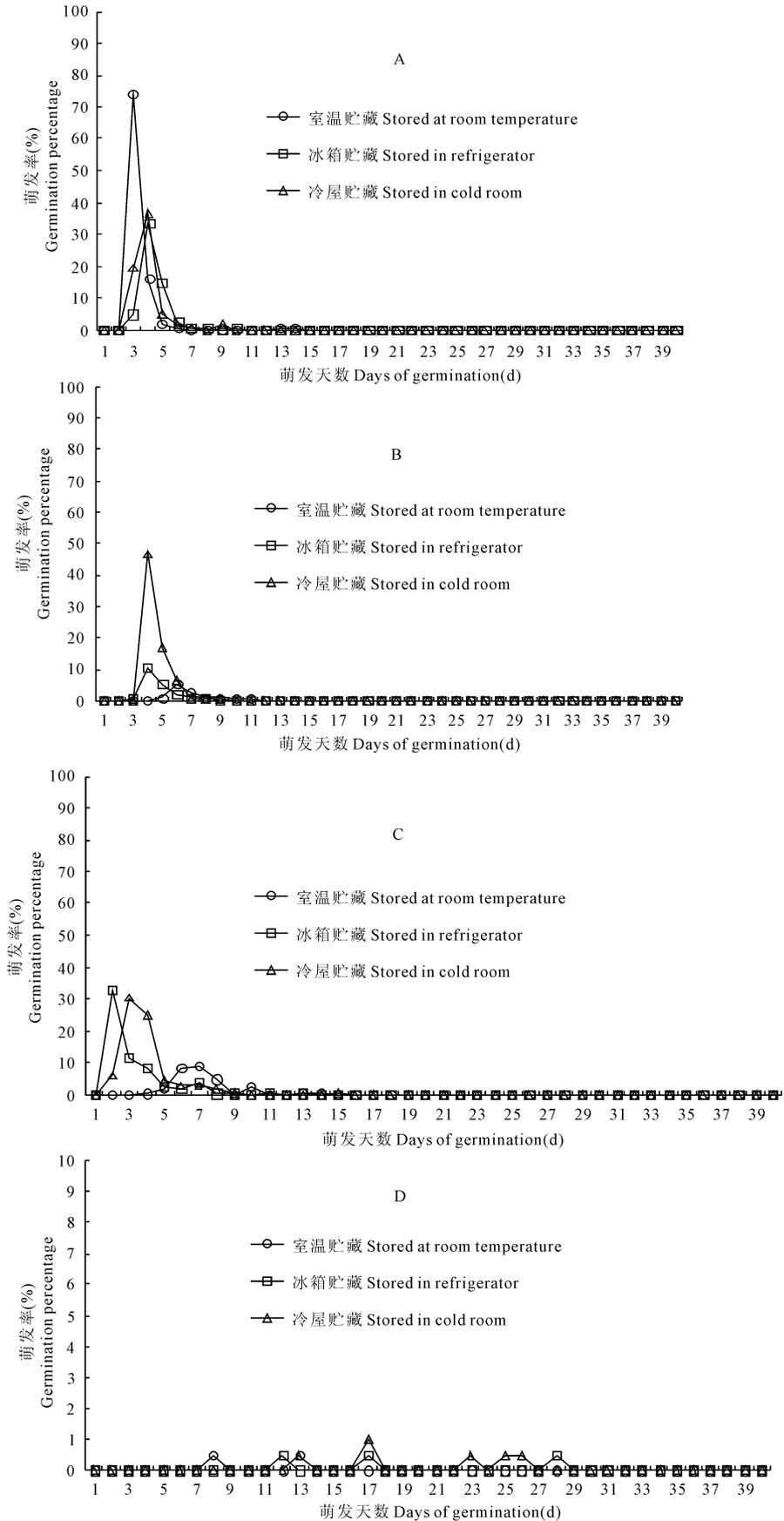


图 2 在 3 种贮藏条件下骆驼蒿(A)、骆驼蓬(B)、驼蹄瓣(C)、蝎虎驼蹄瓣(D)的萌发进程

Fig. 2 Germination process of *Peganum nigellastrum* (A), *Peganum hamala* (B), *Zygophyllum fabago* (C) and *Zygophyllum mucronatum* (D) seeds following three storage conditions

万方数据

首次萌发测试显示,骆驼蒿、骆驼蓬和驼蹄瓣种子在成熟扩散时为部分休眠(萌发率分别为 8%、14%、12%),4℃和-5℃的低温湿润贮藏可使骆驼蒿种子萌发率提高至 57%和 65%左右,同时,室温干燥贮藏可使骆驼蒿种子完成后熟,萌发率提高至 98%,表明骆驼蒿种子具有非深度生理休眠。骆驼蓬和驼蹄瓣种子经室温干燥贮藏后萌发率几乎没有变化,经 4℃低温层积后萌发率分别提高至 27%和 64%,而经过-5℃的低温层积后,萌发率分别达到 70.5%和 74.5%,表明骆驼蓬和驼蹄瓣种子具有中度生理休眠。蝎虎驼蹄瓣种子在成熟扩散时不萌发,-5℃、4℃的低温湿润或室温干燥贮藏均不能有效打破蝎虎驼蹄瓣种子休眠(萌发率<6%),表明蝎虎驼蹄瓣种子可能具有深度生理休眠或形态生理休眠(MPD)^[19]。

本研究表明,种子成熟扩散后的环境条件极大地影响着种子萌发行为,因此,在植被恢复过程中,种子存放的较好方法分别是:骆驼蒿——室温干燥贮藏数月;骆驼蓬——冬季冷屋存放 2 个月左右(低温湿润);驼蹄瓣——冬季冷屋存放或冰箱存放 2 个月左右(低温湿润)。

尽管低温层积是打破一些温带植物种子休眠的有效方法之一,但本研究表明,骆驼蓬和驼蹄瓣种子经 2 种低温湿润贮藏后,萌发率最高达 70%~75%,尤其是蝎虎驼蹄瓣种子经 3 种贮藏后,萌发率仍很不足 6%,这可能与种子扩散时的活性、休眠类型或萌发时的温度有密切关系^[2,4]。因此,我们应进一步研究新鲜成熟种子的活性、休眠类型、不同温度条件下的萌发行为,以便深入探讨各种环境条件及内在因子对种子萌发的影响。此外,不同物种、同一物种不同种群^[20]、来自母体不同位置的种子都可能有不同的萌发行为,所以关于荒漠地带植物种子萌发行为的研究,有待于从生态学的各个角度深入开展。

总之,4 种蒺藜科草本植物种子萌发对贮藏条件的响应呈现出两种趋势,湿冷层积可提高骆驼蒿、骆驼蓬和驼蹄瓣种子萌发率和萌发速率,室温干燥贮藏极大提高骆驼蒿种子萌发。种子萌发行为的可变性揭示了该地域植物种群建立过程中对多变环境的适应性对策,这种萌发响应的不一致性是否存在着遗传机制,仍有待进一步的研究。由于种子萌发具有较大的可变性,在研究物种的萌发特性时,应考虑种子采集后的贮藏方式对萌发行为的影响,以便较准确地定义种子的萌发特性或类型,从而进一步深入研究植物的生活史对策。

4 结 论

1) 4 种蒺藜科植物种子萌发对贮藏条件的响应呈现出两种趋势,湿冷层积可提高骆驼蒿、骆驼蓬和驼蹄瓣种子萌发率和萌发速率,室温干燥贮藏可使骆驼蒿种子完成后熟,极大提高萌发率和萌发速率。

2) 骆驼蒿种子具有非深度生理休眠,骆驼蓬和驼蹄瓣种子具有中度生理休眠,蝎虎驼蹄瓣种子可能具有深度生理休眠或形态生理休眠(MPD)。

3) 在植被恢复过程中,种子存放的较好方法分别是:骆驼蒿——室温干燥贮藏数月;骆驼蓬——冬季冷屋存放 2 个月左右(低温湿润);驼蹄瓣——冬季冷屋存放或冰箱存放 2 个月左右(低温湿润)。

4) 在研究物种的种子萌发特性时,应考虑种子采集后的贮藏方式对萌发行为的影响,以便较准确地定义种子的萌发特性或类型,从而进一步深入研究植物的生活史对策。

参 考 文 献:

- [1] Fenner M, Thompson K. The Ecology of Seeds [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2005:67—150.
- [2] Baskin C C, Baskin J M. Seeds Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination [M]. San Diego: Academic Press, 1998:399—403.
- [3] 路宁娜,崔现亮,王桔红,等.不同贮藏条件和光照对 5 种蒺藜科植物种子萌发的影响[J].中国沙漠,2008,31(6):1030—1135.
- [4] 王桔红,张勇,崔现亮,等.不同海拔梯度糙皮桦和紫果云杉种子的萌发变异[J].生态学杂志,2009,28(4):589—594.
- [5] 王桔红,张勇.贮藏条件和温度对 4 种蒺藜科植物种子萌发的影响[J].草业科学,2009,26(6):110—115.
- [6] Van Assche J A, Vanlerberghe K A. The role of temperature on the dormancy cycle of seeds of *Rumex obtusifolius* L[J]. Functional Ecology, 1989,(3):107—115.
- [7] Gutteman Y. Environmental factors and survival strategies of annual plant species in the Negev Desert, Israel[J]. Plant Species Biology, 2000,15:113—125.
- [8] 刘志民,李雪华,李荣平,等.科尔沁沙地 31 种 1 年生植物萌发特性比较研究[J].生态学报,2004,24(3):648—653.
- [9] 刘萍,周玲玲,王军.盐分和水分胁迫对补血草种子萌发的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(4):167—171.
- [10] 周泉澄,华春,周峰,等.外源甜菜碱对盐胁迫下盐角草和毕氏海蓬子萌发及幼苗生长的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(6):179—184.
- [11] 王桔红,崔现亮,陈学林,等.中、旱生植物种子萌发及其与种子大小关系的比较[J].植物生态学报,2007,31(6):1037—1045.
- [12] Wang J H, Baskin C C, Cui X L, et al. Effect of phylogeny, life history and habitat correlates on seed germination of arid and semi-arid zone species from northwest China [J]. Evolutionary Ecology,

2009, 23, 827—846.

- [13] 吴丽芝, 刘果厚, 马秀珍. 蒺藜科4种旱生植物叶结构的比较解剖及其系统学意义[J]. 内蒙古林学院学报(自然科学版), 1998, 20(4): 21—23.
- [14] 段金廉, 周荣汉, 车镇涛. 中国蒺藜科植物黄酮类化学成分分析及其化学分类学意义[J]. 西北植物学报, 1999, 19(4): 725—731.
- [15] Yang S M, Furukawa I. Anatomical adaptations of three species of Chinese xerophytes (Zygophyllaceae) [J]. Journal of Forestry Research, 2006, 17(3): 247—251.
- [16] 高强, 燕玲, 冯振旗. 蒺藜科13种植物叶结构对环境适应多样性研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2008, 29(2): 50—57.

- [17] 潘晓玲, 党荣理, 伍光和. 西北干旱荒漠区植物区系地理与资源利用[M]. 北京: 科学出版社, 2001, 110—116.
- [18] Schütz W, Rave G. The effect of cold stratification and light on the seed germination of temperate sedges (Carex) from various habitats and implications for regenerative strategies [J]. Plant Ecology, 1999, 144: 215—230.
- [19] Baskin J M, Baskin C C. A classification system for seed dormancy [J]. Seed Science research, 2004, 14: 1—16.
- [20] Meyer S E, Kitchen S G. Habitat-correlated variation in seed germination response to chilling in *Penstemon* section *Glabri* (Scrophulariaceae) [J]. American Midland Naturalist, 1994, 45: 506—512.

Effect of cold stratification and dry storage at room temperature on seed germination of four herbaceous species of Zygophyllaceae

ZHENG Xiu-fang¹, CHEN Wen¹, WANG Ju-hong¹, PENG Yu-jiao², ZHANG Yong¹

(1. Institute of Ecology, Hexi University, Zhangye, Gansu 734000, China;

2. School of Life Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China)

Abstract: Germination responses of *Peganum nigellastrum*, *P. harmala*, *Zygophyllum fabago* and *Z. mucronatum* seeds from Hexi Corridor were examined following storage in the cold room during winter (-5°C , moist), in a refrigerator (4°C , moist) for 65 days, and at room temperature (20°C) for 6 months. The germination percentages of seeds of *Z. fabago* stored in the cold room during winter and in the refrigerator were 74.5% and 64%, respectively, whereas those stored dry at room temperature 27%, and those non-stored 12%. Seeds of *P. harmala* stored in the cold room during winter germinated at a higher percentage (70.5%) than those stored in the refrigerator (27%) and those stored dry at room temperature (12%). Seed of *P. nigellastrum* stored dry at room temperature germinated at a higher percentage (98%) than those stored in the cold room during winter (65%), in the refrigerator (56%) and non-stored (8%). Storage conditions had no significant effect on the germination of *Z. mucronatum* seeds, and the maximum germination under any storage treatment was less than 10%. Thus, cold stratification (-5°C and 4°C) can be an efficient method to break dormancy of *P. nigellastrum*, *P. harmala*, *Z. fabago* seeds, and dry storage at room temperature can improve greatly seed germination of *P. nigellastrum*, but not that of *Z. mucronatum*.

Keywords: Zygophyllaceae; cold stratification; dry storage at room temperature; seed germination; dormancy