

温带半干旱地区一年生植物种子的萌发特性

李雪华^{1,2}, 蒋德明¹, 刘志民¹, 李晓兰^{1,2}

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:在实验室条件下研究了中国温带半干旱地区科尔沁沙地的 23 种 1 年生植物的种子萌发特性(新采集种子、冷藏和干藏种子)。大籽蒿、虎尾草、冠芒草、沙蓬和地锦的新种子萌发率达 90% 左右, 11 种植物新种子萌发率均低于 70%, 说明这些植物的新种子具有或多或少的休眠属性。经过 150d 的冷干藏后, 大籽蒿、虎尾草萌发率保持在 90% 以上, 说明这两种植物完全没有休眠机制; 冠芒草、沙蓬和地锦的种子萌发率下降较多, 可能是储藏的环境条件导致的 2 次休眠现象; 冷藏和干藏处理均能使绿珠藜、毛马唐、细叶益母草、雾冰藜、金狗尾草、苋菜、马齿苋、碱地肤和水稗草的种子在生长季开始时完成生理后熟, 萌发率达到 80% 以上; 干藏有利于促进毛马唐、细叶益母草、马齿苋和鹤虱的种子成熟, 冷藏有利于促进绿珠藜和金狗尾草的种子成熟; 黄蒿、灰绿藜、画眉草和烛台虫实在不同处理下的萌发率都较低, 说明种子内在生理休眠作用较强, 具有减少种子一次性萌发数量的风险分摊策略。大多数 1 年生植物均能在较短时间内达到最终萌发率的 90%, 表现出迅速萌发的特性; 黄蒿、灰绿藜、碱地肤和沙蓬种子则在不同处理中表现出延长萌发时间的策略来适应半干旱地区不确定的环境条件。最后, 探讨了几种主要 1 年生植物的种子萌发对策与其对环境适应机制之间的关系。

关键词:半干旱地区; 科尔沁沙地; 1 年生植物; 萌发/休眠; 后熟

文章编号: 1000-0933(2006)04-1194-06 中图分类号: Q948.1 文献标识码: A

Seed germination characteristics of annual species in temperate semi-arid region

LI Xue-Hua^{1,2}, JIANG De-Ming¹, LIU Zhi-Min¹, LI Xiao-Lan^{1,2} (1. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1194 ~ 1199.

Abstract: Annual species is an important part of vegetation of Horqin sandy land, which locates in temperate semi-arid zone of northern China. Seed germination behavior plays a key role in the persistence and dynamics of annual desert plants, but germination data in this region is not available. Accordingly, using a standardized procedure, a laboratory experiment was made on the seed germination for 23 annual species collected from a wide range of habitats in the western regions of Horqin sandy land. Measurements were conducted on freshly collected seeds and on samples subjected to chilling in natural filed soil and dry storage in laboratory for about 150 days. The germination characteristics observed in this study leads us to the conclusion that certain regenerative mechanisms of some species in the field and is favor of conservation, restoration and management of plant communities or species.

Significant differences were observed in the capacity of freshly collected seeds for immediate germination. Five species attained germination values above or near 90%, but 11 species failed to exceed 70%, which indicated that these freshly collected seeds have more or less dormancy mechanism. After chilling and dry storage for 150 days, two of five species with high germination values of freshly collected seeds, still maintained high germination values greater than 90%, and other three species

基金项目:中国科学院沈阳应用生态研究所知识创新工程重大资助项目; 中国科学院沈阳应用生态研究所知识创新工程面上创新课题资助项目

收稿日期: 2005-03-07; **修订日期:** 2005-12-06

作者简介: 李雪华(1973~), 女, 吉林省吉林人, 博士生, 主要从事半干旱地区植物生理生态适应性研究. E-mail: xuehuali2002@hotmail.com; xuehuali2002@126.com

Foundation Item: The project was supported by "Restoration of Degraded Ecosystems of Horqin sandy land" and "Appraisal and Restoration of Degenerated Environment of the West Part in Northeastern China" founded by Shenyang Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences

Received date: 2005-03-07; **Accepted date:** 2005-12-06

Biography: LI Xue-Hua, Ph. D. candidate, mainly engaged in plant physio-ecological adaptability in semi-arid region. E-mail: xuehuali2002@hotmail.com; xuehuali2002@126.com

decreased, which seems to be the secondary dormancy after storage. Most species that germination percentage of freshly collected seeds was under 80%, germination percentage increased to exceed 80%, some even attain 100%, which showed that freshly collected seeds of most annual species have post-maturation mechanism and they can germinate under favorable environmental conditions in the beginning of a growth season. For three species (*A. scoparia*, *C. glaucum*, *E. pilosa*), their seed germination values were under 70% in different treatments, which means that seeds of these species had stronger innate dormancy; Chilling and dry storage to break dormancy were not significant for seeds of *E. pilosa* and *A. scoparia* ($P > 0.05$), but chilling was more significant than dry storage to break seed dormancy for *C. glaucum*; the trait that the fraction of viable seeds did not germinate even in favorable conditions is a benefit strategy to avoid risks in severe desert. Under the experimental conditions, germination time required for 50% and 90% of the final germination percentage to be attained is very short, which indicates that most of the annual species showed the potential for rapid germination, but *Artemisia scoparia*, *Chenopodium glaucum*, *Kochia sieversiana* and *Agriophyllum squarrosum* had longer germination duration in different treatments, which may be another favorable strategy. The relationships of germination mechanisms and adaptability to uncertain desert environments of some mainly annual species were discussed.

Key words: semi-arid region; Horqin sandy land; annual species; germination/dormancy; post-maturation

1 年生植物是干旱半干旱地区植被的重要组成部分^[1,2],具有生活史短暂、繁殖力强的特点,能适应持久和强度干扰^[3],并在干旱半干旱地区的植被恢复中发挥重要作用^[4,5],对荒漠生态系统的稳定性和生物多样性也有重要影响。

种子萌发是 1 年生植物生活史的开端,目前普遍公认的观点是这种行为在荒漠一年生植物的种群持续存在与种群动态中具有关键作用^[6,7]。1 年生植物种子萌发的研究始于 20 世纪 40 年代^[6],多是关于那些能够在生长季萌发的植物种子以及影响其萌发的特定环境因素^[8-11]。目前的研究结果表明,1 年生植物表现出两种不同的萌发机制:快速萌发和早期定居,从而能有效提高植物的竞争优势^[8,12];推迟萌发,是植物在不可预测环境中形成的另一种有效的风险分散策略^[13,14]。Gutterman^[11]认为 Negev 沙漠的一年生植物种子也具有类似的两种萌发机制:谨慎对策(Cautious strategy)和机遇对策(Opportunistic strategy)。

国内 1 年生植物的研究大多是关于单一种植物的生物特性及生态适应性、种群特征及水分生理等方面,有关萌发特性的研究非常少^[15],而多种 1 年生植物种子萌发的比较研究则刚刚开始^[16]。因此在试验室模拟条件下研究了温带半干旱地区的 23 种 1 年生植物种子的萌发特性,并初步探讨了种子萌发对策与植被过程的关系。这一研究结果将为区域性的植被退化和恢复机制以及杂草入侵等生态学问题的深入研究奠定理论基础。

1 研究地概况

研究地位于我国温带半干旱地区科尔沁沙地的西部。这一地区的地貌类型以流动和半流动沙丘为主;水资源以地下水为主,土壤是非地带性风沙土和盐碱土;属温带季风气候,有强烈的大陆性气候特点;平均年降水量 310mm,6~8 月的降水占全年的 70%以上,年蒸发量是降水量的 6~7 倍;全年大气平均湿度为 50%~55%,季节变化明显;年均温度为 5.8~6.4℃;≥10℃的积温为 3000~3200℃,无霜期是 140~160d。

2 材料和方法

2003 年 8~10 月份,在科尔沁沙地西部的乌兰敖都地区采集多种 1 年生植物种子(根据文献确定植物学名及生境状况)。种子采集过程中尽可能采集成熟种子,并兼顾大小花序以及花序的位置。将采集后的种子净种后装入纸袋放置暗处室温下储存。

11 月对新采集的植物种子进行萌发实验;将净种后储存的多种 1 年生植物种子部分取出,分别装入布袋中,埋入室外 2~5cm 深土壤中,埋藏时间为 11 月至翌年 4 月份(月平均温度: -10~0.5℃);剩余的部分种子依然放置在纸袋中于室温条件下(月平均温度: 15~20℃)暗处储存;翌年 4 月份将冷藏和干藏的种子取出,进行萌发对比实验。试验中的光照培养箱条件均设置为白天温度 28℃,光照强度 9000lx, 15h;夜晚温度 16℃,光

照强度 0lx, 9h (温度接近试验区 5~8 月份土壤 3~5cm 深土层日夜温度的平均值)。每天观察培养皿, 对萌发种子进行计数并移走 (种子出现种胚即视为萌发)。试验持续 30d 后观察萌发种子, 直至连续 5d 无萌发种子, 视为结束; 其后, 从培养皿中取出未萌发种子检测活力。将种子放在 30℃ 水中浸泡 24h, 去种皮, 将胚浸泡在 30℃ 的 1% tetrazolium chloride 溶液中 24h, 胚根染成粉红色的记为有活力。每个试验项目 5 次重复。

种子萌发观测指标: 累积萌发率 (G_f) 是所有萌发种子占有活力种子百分率, $T_{50\%}$ 和 $T_{90\%}$ 分别表示达累积萌发率 50% 和 90% 比例的萌发时间。采用 SPSS 软件统计分析数据, 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性。

3 结果

3.1 新种子萌发率

大籽蒿、虎尾草、冠芒草、沙蓬和地锦的新种子萌发率均达到 80% 以上, 尤其是大籽蒿的萌发率为 99.6%。萌发率在 50%~80% 之间的植物有绿珠藜、毛马唐、细叶益母草、苘麻、黄蒿和雾冰藜; 金狗尾草、灰绿藜、苋菜、马齿苋、碱地肤、画眉草、水稗草和鹤虱的种子萌发率均 < 50% (表 1)。

表 1 科尔沁沙地 23 种 1 年生植物种子的萌发

Table 1 Seed germination of 23 annual species of Horqin sandy land

植物种 Species	新种子 Freshly			冷藏种子 Chilling			干藏种子 Dry storage		
	G_f	$T_{50\%}$	$T_{90\%}$	G_f	$T_{50\%}$	$T_{90\%}$	G_f	$T_{50\%}$	$T_{90\%}$
大籽蒿 <i>Artemisia sieversiana</i>	99.6 ± 0.42a	2	10	97.6 ± 1.17a	1	3	92.4 ± 1.17b ↓	2	3
虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	98.2 ± 0.44a	1	3	100 ± 0a	3	4	90.0 ± 3.52b ↓	3	4
冠芒草 <i>Enneapogon brachystachyus</i>	92.0 ± 1.71a	6	13	64.4 ± 5.49b ↓	5	9	77.2 ± 2.87c ↓	4	5
沙蓬 <i>Agriophyllum squarrosum</i>	91.6 ± 1.67a	5	9	42.1 ± 10.9b ↓	28	36	39.2 ± 6.02b ↓	27	36
地锦 <i>Euphorbia humifusa</i>	89.1 ± 1.88a	2	4	48.0 ± 5.22b ↓	3	7	24.8 ± 2.06c ↓	9	10
绿珠藜 <i>Chenopodium acuminatum</i>	76.8 ± 2.95a	1	3	88.4 ± 3.25b ↑	1	1	82.7 ± 4.01ab	1	2
毛马唐 <i>Digitaria ciliaris</i>	70.6 ± 3.52a	3	5	82.8 ± 3.33b ↑	3	4	100 ± 0c ↑	3	5
细叶益母草 <i>Leonurus sibiricus</i>	70.2 ± 4.68a	4	6	80.5 ± 1.17b ↑	5	11	94.5 ± 0.98c ↑	3	5
苘麻 <i>Abutilon theophrasti</i>	64.7 ± 2.48a	4	6	8.00 ± 2.28b ↓	3	18	4.20 ± 2.18b ↓	10	21
黄蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	54.8 ± 7.58a	33	57	58.4 ± 2.56a	2	33	68.0 ± 1.41a	2	6
雾冰藜 <i>Bassia dasyphylla</i>	53.7 ± 3.83a	4	5	100 ± 0b ↑	2	3	100 ± 0b ↑	2	4
金狗尾草 <i>Setaria lutescens</i>	44.0 ± 3.23a	6	9	98.5 ± 0.63b ↑	6	8	89.3 ± 4.18b ↑	9	14
灰绿藜 <i>Chenopodium Glaucum</i>	38.8 ± 2.64a	7	21	63.9 ± 2.28b ↑	9	26	41.5 ± 2.75a	10	27
苋菜 <i>Amaranthus retroflexus</i>	29.2 ± 1.62a	5	12	96.8 ± 0.80b ↑	1	4	100 ± 0b ↑	2	3
马齿苋 <i>Potulace oleracea</i>	28.4 ± 2.79a	4	5	79.5 ± 2.31b ↑	4	9	92.7 ± 3.06c ↑	3	6
碱地肤 <i>Kochia sieversiana</i>	26.0 ± 4.47a	4	17	100 ± 0b ↑	9	16	92.9 ± 2.04b ↑	11	28
画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	24.8 ± 4.50a	2	2	20.8 ± 2.24a	3	4	14.8 ± 2.94a	2	3
水稗草 <i>Echinochloa crusgallis</i>	8.48 ± 1.82a	7	8	100 ± 0b ↑	3	5	99.2 ± 0.80b ↑	5	6
鹤虱 <i>Lappula myosotis</i>	6.98 ± 1.95a	5	7	44.0 ± 1.33b ↑	2	5	71.6 ± 2.64c ↑	3	5
三芒草 <i>Aristida adscensionis</i>	—	—	—	74.8 ± 2.06a	2	3	74.0 ± 5.51a	3	4
蒺藜 <i>Tribulus terrestris</i>	—	—	—	30.0 ± 2.45a	4	6	3.20 ± 1.62b ↓	4	8
刺藜 <i>Chenopodium aristatum</i>	—	—	—	92.8 ± 1.74a	3	9	79.6 ± 2.93b ↓	4	11
烛台虫实 <i>Corspermum candelabrum</i>	—	—	—	6.16 ± 1.92a	5	11	5.13 ± 1.49a	3	10

横线表示缺少的部分数据 The absent data were expressed by “—”

3.2 冷干藏种子萌发率

3.2.1 新种子萌发率 > 80% 的植物 大籽蒿和虎尾草的冷干藏种子萌发率都很高, 二者相比干藏略低, 且与冷藏有显著性差异; 冠芒草、沙蓬和地锦种子经冷干藏后, 其萌发率显著下降, 冠芒草和地锦冷干藏间有显著性差异, 且干藏使地锦种子萌发率迅速下降 (表 1)。

3.2.2 新种子萌发率在 50%~80% 之间的植物 绿珠藜、毛马唐、细叶益母草和雾冰藜冷干藏后的种子萌发率均有显著提高, 尤其是雾冰藜, 两种处理均达到 100%, 毛马唐干藏种子萌发率也达到 100%; 绿珠藜和雾冰藜种子冷干藏处理间无差异, 毛马唐和细叶益母草种子冷干藏处理则有显著性差异, 且干藏种子萌发率高。黄蒿的干藏种子萌发率略高于冷藏和新种子, 但彼此间无差异性; 苘麻冷干藏后的种子萌发率均下降到 10%

以下,且与新种子萌发率有显著性差异(表 1)。

3.2.3 新种子萌发率 < 50% 的植物 金狗尾草、苋菜、马齿苋、碱地肤和水稗草的冷干藏种子萌发率非常高,与新种子萌发率有显著性差异;这几种植物中只有马齿苋冷干藏处理有明显差异,且干藏萌发率较高。灰绿藜冷干藏种子萌发率比新种子略有提高,冷藏与干藏和新种子均有显著性差异,但干藏与新种子间则无差异。画眉草冷干藏种子萌发率均比新种子略有下降,但彼此间无显著性差异,而鹤虱干藏种子的萌发率则显著提高(表 1)。

3.2.4 缺少新种子萌发率数据的植物 三芒草和刺藜的萌发率相对较高,而蒺藜和烛台虫实的萌发率很低;三芒草和烛台虫实两种植物冷干藏种子萌发率间无显著性差异,而刺藜和蒺藜冷干藏处理则有显著性差异,而且均是冷藏萌发率比干藏的高(表 1)。

3.3 种子萌发时间格局

在试验观察过程中发现,不同处理的 1 年生植物开始萌发时间多是第 1、2 天,只有水稗草新种子第 6 天才开始萌发。大多数植物达到最终萌发率 90% 的时间 ($T_{90\%}$) 比较短,而完成萌发 50% 的时间 ($T_{50\%}$) 更短。沙蓬和尚麻种子冷干藏处理的 $T_{90\%}$ 很长;黄蒿新种子萌发时间较长,但冷干藏的萌发时间缩短,尤其是干藏的 $T_{90\%}$ 仅为 6d;灰绿藜和碱地肤的萌发持续时间相对较长,但 3 种处理彼此间的变化差异不是很大(表 1)。

4 讨论

4.1 种子萌发特性

19 种具有新种子萌发率的植物中,大籽蒿、虎尾草、冠芒草、沙蓬和地锦的萌发率达到 90% 左右,3 种植物在 70% ~ 80% 之间,苘麻的萌发率为 64.7%,其他 10 种植物均低于 60%,说明这些 1 年生植物的新种子可能具有或多或少的休眠机制。

新种子经过 150d 的冷藏和干藏处理后的萌发结果各异。大籽蒿和虎尾草种子的萌发率依然很高,说明这两种植物种子萌发能力强,是典型温带沙漠 1 年生植物中存在的由水分控制的一类休眠^[17]。冠芒草、沙蓬和地锦的种子萌发率下降,尤其是沙蓬和地锦,可能是种子储藏的环境因子(如温度或湿度等)导致部分种子出现休眠,这种现象在文献中也有报道^[18,19]。

绿珠藜、毛马唐、细叶益母草、雾冰藜、金狗尾草、苋菜、马齿苋、碱地肤和水稗草的冷干藏种子萌发率均提高到 80% 以上,鹤虱干藏种子萌发率也比新种子和冷藏处理的提高很多,说明这些植物种子具有明显的生理后熟。对这些 1 年生植物来说,生理后熟是一种非常重要的生存机制,它保证了种子以休眠的形式安全越冬并在生长季开始时达到成熟,在适宜的温度和降雨条件到来时为萌发做好了准备。黄蒿、灰绿藜和画眉草种子经过冷干藏后的萌发率依然低于 70%,说明这 3 种植物的内在休眠机制较强。方差分析结果表明,干藏比冷藏更有利于促进毛马唐、细叶益母草、马齿苋和鹤虱的种子成熟,而冷藏则有利于促进绿珠藜和金狗尾草的种子成熟;干藏提高了黄蒿种子的萌发率,但与新种子和冷藏结果并无显著性差异,冷藏则显著提高了灰绿藜种子的萌发率,干藏对画眉草的种子萌发率无显著影响。

有 4 种植物缺少新种子萌发数据,只有冷干藏后的萌发结果。三芒草和刺藜的冷干藏种子萌发率均在 70% 以上,说明这两种植物不具有较强的休眠。烛台虫实的种子萌发率很低,但种子活力较高,因此种子可能具有休眠机制。蒺藜的萌发率很低,但野外模拟试验发现蒺藜的萌发率很高,原因可能是蒺藜种子较大,形状特殊(四周具刺),对培养皿底部水分吸收不足,而空气中的较大水汽容易导致种子霉变腐烂,但野外土壤的水分环境则避免了上述问题,因此初步断定蒺藜种子没有休眠。

4.2 种子萌发对策与植被过程的关系

1 年生植物的种子萌发行为在种群持续存在与种群动态中具有关键作用^[6,7],而植物种间萌发策略的不同明显影响植物种分布以及相关特性^[20]。从萌发率和萌发时间看,大籽蒿种子在 2 ~ 3d 内几乎能全部萌发,虽然半干旱荒漠地区的降雨具有不确定性,但大籽蒿的生境多为河边、湿沙地和灌渠旁,较高的土壤含水量可以保证幼苗出现后能顺利完成生活史,因此大籽蒿种子迅速萌发的特性使植物能更早的占据有利生境,提高

其竞争优势^[12]。在野外观察生长季结束后的大籽蒿种群,发现成熟的植株与幼苗共存的现象比较普遍,成熟植株上存留了大量的种子,说明大籽蒿新种子确实没有休眠,并且具有植冠种子库。这种干旱半干旱地区植物特有的植冠种子库策略^[21]避免了种子在秋季萌发而幼苗不能过冬的危险,保证了大籽蒿种群发展的持续性。虎尾草种子萌发特性与大籽蒿接近,但对生境的要求则没有大籽蒿严格,是田间杂草地或者退化草场裸露碱斑上的优势植物。虎尾草的分布与种子迅速萌发的特性有关,也与种子萌发和幼苗生长过程对盐碱的耐受力有关。本文研究结果表明虎尾草种子没有休眠属性,萌发迅速,这与以往的研究结果^[15]截然不同,需要进一步研究来证实。

绿珠藜、毛马唐、金狗尾草、益母草、苋菜、马齿苋、碱地肤、雾冰藜和刺藜等植物以种子休眠形式来逃避冬季的低温干旱,生长季开始即完成后熟。在雨季开始后的适宜条件下可以大量萌发,迅速完成生活史,因此,在半干旱草原和荒漠区广泛分布^[2,22]。这些植物与热带干旱区 Negev 沙漠中 1 年生植物的机遇型 (Opportunistic strategy) 萌发策略较相似^[11]。

温带干旱半干旱荒漠地区的环境具有很大的不确定性,生长季第 1 次降雨后,随之而来的可能是长时间的干旱,容易导致萌发后的幼苗全部死亡^[23]。尽管推迟萌发会降低植物早期出现和定居所获得的竞争优势^[24,25],但它仍然是针对荒漠地区环境多变的一种有效对策^[13,14]。从表 1 中看到,大部分种子能在短期内完成萌发,但沙蓬、黄蒿、灰绿藜和碱地肤种子萌发的持续时间却较长。生长季内种子萌发时间上存在差异是推迟萌发策略的一种表现形式,它能使幼苗在更适宜的环境条件下出现和生长的机会增多,从而提高植物对环境的长期适应性^[26]。以往研究结果表明,小粒、近圆球形种子易于形成持久土壤种子库^[3]。黄蒿、灰绿藜和画眉草的种子小且形状近圆球形^[27,28],而且种子具有较强的生理休眠,其萌发时间通常能推迟到下一个生长季,使土壤中的种子具有不同的年龄结构^[29],据此推断这几种植物具有持久土壤种子库机制,从而更适应干旱环境的不确定性和频繁干扰,在温带荒漠地区广泛分布^[2,22,30]。沙蓬是科尔沁沙地流动半流动沙丘植被恢复的先锋植物,它的新种子具有快速萌发的特点,但生长季开始后的萌发率则下降到 50% 以下,而且萌发持续的时间较长。流动半流动沙丘的显著特点之一就是雨后的沙丘表面会因为强烈蒸发而迅速干旱,对幼苗定居十分不利,但沙丘土壤多为细沙砾,表层干沙可以阻止深层水分的蒸发,深层的有效水能满足种子萌发和幼苗生长,而表层种子则以休眠来躲避高温干旱的危害,这种策略对沙蓬种群的发展具有重要作用^[6,17]。

References:

- [1] Ludwig J A, Cunningham G L, Whitson P D. Distribution of annual plants in north American deserts. *Journal arid of environments*, 1988, 15: 221 ~ 227.
- [2] Comprehensive Surveying Team for Inner Mongolia and Ningxia Autonomous Regions Organized by Chinese Academy of Sciences. *Vegetation in Inner Mongolia*. Beijing: Science Press, 1985.
- [3] Grime J P. *Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties*. Chichester: John Wiley & Sons, 2001.
- [4] Shen W S. Community features of the artificial vegetation on the sand land in the Shapotou area. *Journal of Desert Research*, 1988, 8(3): 1 ~ 7.
- [5] Liu Z M. A study on the water relationship of *Hedysarum fruticosum* var. *lignosum*. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1991, 5(1): 99 ~ 107.
- [6] Tevis L Jr. Germination and growth of ephemerals induced by sprinkling a sandy desert. *Ecology*, 1958, 39: 681 ~ 688.
- [7] Mott J J. Factors affecting seed germination in three annual species from an arid region of western Australia. *Journal of Ecology*, 1974, 62: 699 ~ 709.
- [8] Grime J P, Mason G, Curtis A V, et al. A comparative study of germination characteristics in local flora. *Journal of Ecology*, 1981, 69: 1017 ~ 1059.
- [9] Baskin C C, Chesson P L, Baskin J M. Annual seed dormancy cycles in two desert winter annuals. *Journal of Ecology*, 1993, 81: 551 ~ 556.
- [10] Gutterman Y, Evenari M. The influence of amounts and distribution of irrigation during the hot and dry season on emergence and survival of some desert winter annual plants in the Negev Desert of Israel. *Israel Journal of Plant Sciences*, 1994, 42: 1 ~ 14.
- [11] Gutterman Y. Environmental factors and survival strategies of annual plant species in the Negev desert, Israel. *Plant species biology*, 2000, 15: 113 ~ 125.
- [12] Bohumil M. Germination requirements of invasive and non-invasive *Atriplex* species: a comparative study. *Flora*, 2003, 198: 45 ~ 54.
- [13] Venable D L, Brown J S. The selective interactions of dispersal, dormancy and seed size as adaptations for reducing risk in variable environments. *American Naturalist*, 1988, 131: 360 ~ 384.
- [14] Philippi T. Bet-hedging germination of desert annuals: variation among populations and maternal effects in *Lepidium lasiocarpum*. *American Naturalist*,

- 1993, 142: 488 ~ 507.
- [15] Yu L. Germination characteristics on *Chloris vergata* seed. Pratacultural science, 1999, 16 (3): 51 ~ 54.
- [16] Liu Z M, Li X H, Li R P, et al. A comparative study of seed germination for 31 annual species of the Horqin steppe. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24 (3): 648 ~ 653.
- [17] Wang Z L, Wang G, Liu X M. Germination strategy of the temperate sandy desert annual chenopod *Agriophyllum squarrosum*. Journal of arid Environments, 1998, 40:69 ~ 76.
- [18] Thompson K, Grime J P. Seasonal variation in the seed-banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. Journal of Ecology, 1979, 67: 893 ~ 921.
- [19] Baskin J M, Baskin C C. The annual dormancy cycle in buried weed seeds: A continuum. Bio-Science, 1985, 35: 492 ~ 498.
- [20] Bungard R A, Daly G T, Mcneil D L, et al. *Clematis vitalba* in a New Zealand native forest remnants: Does seed germination explain distribution? New Zealand J Bot, 1997, 35: 525 ~ 534.
- [21] Vab R, Van O K, Van R M W. Dispersal Biology of Desert Plants. Berlin: Springer-Verlag, 1999.
- [22] Liu Y X. Flora in desertis deipublicae populorum sinarum. Tomus I ~ III. Beijing: Science Press, 1985, 1987, 1992.
- [23] Wang Z L, Xu Y Q, Wang G. Germination strategies of annual sandy plants under limited precipitation. Journal of Lanzhou University(Natural Sciences), 1998, 34(2): 98 ~ 103.
- [24] Ross M A, Harper J L. Occupation of biological space during seedling establishment. Journal of Ecology, 1972, 60:77 ~ 88.
- [25] Abul-Fatih H A, Bazzaz F A. The biology of *Ambrosia trifida* L. II. Germination, emergence, growth and survival, New Phytologist. 1979, 83:817 ~ 827.
- [26] Kevin J R, Andrew R D. Seed aging, delayed germination and reduced competitive ability in *Bromus tectorum*. Plant Ecology, 2001, 155: 237 ~ 243.
- [27] Liu Z M, Li R P, Li X H, et al. A comparative study of seed weight of 69 plant species in Horqin sandy land, China. Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28(2): 225 ~ 230.
- [28] Liu Z M, Li X H, Li R P, et al. A comparative study on diaspore shape of 70 species found in the sandy land of Horqin. Acta Prataculturac Sinica, 2003, 12(5): 55 ~ 61.
- [29] Kalisz S. Experimental determination of seed bank age structure in the winter annual *Collinsia verna*. Ecology, 1991, 72:575 ~ 585.
- [30] Zhang J G, Li X R, Wang X P, et al. Population dynamic of annual plant *Eragrostis poaeoides* in fixed sand dune in Shapotou area. Journal of Desert Research, 2000, 21(3): 232 ~ 235.

参考文献:

- [2] 中国科学院内蒙古宁夏植被考察队, 内蒙古植被. 北京: 科学出版社, 1985.
- [4] 沈渭寿. 沙坡头地区沙地人工植被群落特征的研究. 中国沙漠, 1988, 8(3): 1 ~ 7.
- [5] 刘志民. 木岩黄芪水分关系的研究. 干旱区资源与环境, 1991, 5 (1): 99 ~ 107.
- [15] 余玲. 虎尾草种子萌发特性的研究. 草业科学, 1999, 16(3): 51 ~ 54.
- [16] 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. 生态学报, 2004, 24(3): 648 ~ 653.
- [22] 刘瑛心. 中国沙漠植物志 I ~ III. 北京: 科学出版社, 1985, 1987, 1992.
- [23] 王宗灵, 徐雨清, 王刚. 沙区有限降水制约下 1 年生植物种子萌发与生存对策研究. 兰州大学学报(自然科学版), 1998, 34(2): 98 ~ 103.
- [27] 刘志民, 李荣平, 李雪华, 等. 科尔沁沙地 69 种植物种子重量比较研究. 植物生态学报, 2004, 28 (2): 225 ~ 230.
- [28] 刘志民, 李雪华, 李荣平, 等. 科尔沁沙地 70 种植物繁殖体形状比较研究. 草业学报, 2003, 12(5): 55 ~ 61.
- [30] 张景光, 李新荣, 王新平, 等. 沙坡头地区固定沙丘 1 年生植物小画眉草种群动态研究. 中国沙漠, 2000, 21 (3): 232 ~ 235.