

光照和温度对沙芥和斧翅沙芥植物种子萌发的影响

宋兆伟¹, 郝丽珍^{1,*}, 黄振英², 李娜¹, 赵清岩¹

(1. 内蒙古农业大学农学院, 内蒙古野生特有蔬菜种质资源与种质创新重点实验室 呼和浩特 010019;

2. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室 北京 100093)

摘要:研究了生长于不同生境下的沙芥(*Pugionium cornutum* (L.) Gaertn.)和斧翅沙芥(*Pugionium dolabratum* Maxim.)种子萌发对光照和温度的响应。结果表明:沙芥和斧翅沙芥种子在光下萌发受到显著($P < 0.05$)的抑制作用,其中沙芥种子萌发受光的抑制作用强于斧翅沙芥种子。在黑暗 10—40℃ 恒温条件下,沙芥和斧翅沙芥种子在 15—35℃ 范围内均可萌发,在 15℃ 和 35℃ 下沙芥种子的萌发要优于斧翅沙芥种子;其种子分别在 25℃ 和 30℃ 下达到最佳的萌发响应,在此条件下斧翅沙芥种子的萌发特性优于沙芥种子。在黑暗变温条件下,沙芥和斧翅沙芥种子在 20/30℃ (12h/12h)下达到最佳的萌发响应,此处理下的萌发率高于其各自最佳恒温处理下的萌发率,其萌发后幼苗下胚轴和胚根的长度较最佳恒温处理有明显的下降,但它们的干重却差异较小,说明变温处理有利于两种种子的萌发和形成强壮的幼苗。综上所述,沙芥和斧翅沙芥种子在黑暗和 20/30℃ 变温条件下有利于种子萌发和幼苗建成。

关键词:沙芥;斧翅沙芥;种子萌发;沙生植物;恒温;变温

Effects of light and temperature on the germination of *Pugionium cornutum* (L.) Gaertn. and *Pugionium dolabratum* Maxim. seeds

SONG Zhaowei¹, HAO Lizhen^{1,*}, HUANG Zhenying², LI Na¹, ZHAO Qingyan¹

1 College of Agronomy, Inner Mongolia Autonomous Region Key Laboratory of Wild Peculiar Vegetable Germplasm Resource and Germplasm Enhancement, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019, China

2 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

Abstract: Controlled experiments were conducted to investigate the effect of light and temperature on seed germination of *Pugionium cornutum* (L.) Gaertn. and its congeners *P. dolabratum* Maxim., to better understanding how they adapt to desert habitats at seed germination stage. Results showed that light significantly ($P < 0.05$) inhibited seed germination, and the inhibition effects was stronger on *P. cornutum* than *P. dolabratum*. At constant incubating temperature and darkness, the seed of both species can germinate at gradients from 15℃ to 35℃, and the germination percentages of *P. cornutum* were significantly higher than those of *P. dolabratum* at 15℃ and 35℃ respectively. The optimal germination temperature for *P. cornutum* and *P. dolabratum* were at 25℃ and 30℃ respectively. Under alternating temperature and darkness conditions, the optimal temperature for seed germination of two congeners was both occurring at 20/30℃ (12h/12h). Percentages of seed germination were higher at 20/30℃ than their respective optimal constant temperatures of both species; In addition, seedling hypocotyl and radicle length of both species developed at 20/30℃ were shorter than that at 25℃ and 30℃ respectively, but their dry weight were not obviously declined. Indicating alternating temperature has advantages for seed germination and seedling development of two congeners. In summary, darkness and at 20/30℃ daily alternating temperatures are the favorable conditions for seed germination and seedling establishment of these two desert species.

基金项目:国家基金资助项目(30860174,30260067,30460080);内蒙古自治区科技攻关资助项目(20050305,20060202);内蒙古自治区自然科学基金资助项目(200108020501,200308025013)

收稿日期:2009-06-19; **修订日期:**2009-10-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: haolizhe@public.hh.nm.cn

Key Words: *Pugionium cornutum* (L.) Gaertn.; *Pugionium dolabratum* Maxim.; seed germination; psammophyte; constant temperature; alternating temperature

沙芥(*Pugionium cornutum* (L.) Gaertn.)和斧翅沙芥(*Pugionium dolabratum* Maxim.)属于十字花科(*Cruciferae*)沙芥属(*Pugionium* Gaertn.),为1年生或2年生草本植物。沙芥属是亚洲中部蒙古高原沙地的特有属,沙芥是中国的特有种^[1]。该属植物是集饲用、药用、保健和防风固沙于一体的沙生蔬菜,具有重要的经济和生态价值。由于长期以来掠夺性采挖及近年来生态环境的恶化^[2-3],导致其在自然界的分布连年减少,制约了这一优质沙生蔬菜种质资源的可持续开发和利用^[2],其中斧翅沙芥于1992年已被列入濒危物种^[4]。为了促进沙芥属植物自然种群的恢复,人们也试图采用飞播手段对其进行植被恢复^[5],但在实践过程中发现飞播后沙芥属植物种子萌发和出苗率均较低,因此植被恢复效果并不明显,沙芥属植物种群亟待恢复。

本课题组自2003—2005年对沙芥种子的萌发生理进行研究中发现,沙芥种子在黑暗条件下萌发的适温度范围为25—27℃;且在多年来自然生境人工播种沙芥中发现,沙芥一旦出苗便能达到较高的成苗率,在雨后沙地播种沙芥时,水分和氧气不是种子萌发的主要限制因子。虽然张卫华^[3]和徐世才^[6]相继对沙芥种子进行不同浸种时间和不同萌发温度的研究,但光照和变温处理对种子萌发影响的研究内容涉及较少。另外,斧翅沙芥种子的萌发特性及沙芥种子在不同光周期、不同光强变温和变温处理对萌发特性影响的研究未见报道。那么飞播沙芥属植物植被建植效果不明显的原因是否与其种子的萌发特性有关,目前也未见任何研究报告。本实验选用采自毛乌素沙地的沙芥种子和腾格里沙漠的斧翅沙芥种子为实验材料,研究沙芥属两种植物种子萌发对光照和温度处理的应答,明确种子萌发的最佳条件,从而试图揭示飞播出苗率低的原因,为人工栽培和改善飞播技术的确定提供理论依据。此外,本项研究对恢复植被和防风固沙具有重要的生态意义。

1 材料和方法

1.1 种子采集地自然概况

沙芥和斧翅沙芥的成熟果实在2007年10月分别采自毛乌素沙地(39°15'N,109°10'E,海拔1258m)和腾格里沙漠(39°5'N,105°52'E,海拔1242m)。毛乌素沙地年平均温度为7.6℃,最高温出现在7月份(21.3℃),最低温出现在12月份(-8.0℃)。腾格里沙漠年平均温度为9.9℃,最高温也出现在7月份(26.8℃),而最低温出现在1月份(-10.3℃)。且自3月起至12月份,腾格里沙漠的月平均温度均高于毛乌素沙地。

自然生境中,随机采集沙芥和斧翅沙芥的成熟翅果果实,在室内干燥贮藏10个月。实验前去掉果皮,果实中一般只含有1粒种子,极少情况下也会出现2粒种子。沙芥果实千果重和种子千粒重分别为:(60.18±0.68)g和(31.76±0.03)g(Mean±SE);斧翅沙芥果实千果重和种子千粒重分别为:(30.12±0.35)g和(10.31±0.06)g(Mean±SE)。

1.2 实验方法

1.2.1 光照处理

光照时间与光照强度对种子萌发影响的实验是在25℃下的人工气候箱中进行实验持续10d。实验设2个处理分别为:每天光照时间为24h(光照)和12h/12h(光照/黑暗);各处理的光照强度分别为:0(CK,白天) $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、25 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和400 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ^[7-8]。

1.2.2 温度处理

实验在黑暗条件下的人工气候箱中进行,持续10d。恒温实验设7个处理分别为:10、15、20、25、30、35℃和40℃;变温实验设5个处理,各处理为每天12h/12h(低温/高温),分别为:10/20℃、15/25℃、20/30℃、25/35℃和30/40℃。

1.2.3 萌发实验设计及观察指标

种子表面均用2% NaClO消毒2min,再用蒸馏水冲洗3次^[9-12]。每处理均为25粒种子,4次重复,共100

粒种子。种子以 5×5 的方阵形式摆放在垫两层滤纸的 90mm 培养皿中^[13-15],以后每天统计萌发情况,当胚根长度大于 2mm 时统计为萌发^[11, 16]。萌发实验均持续 10d^[17],第 10 天统计种子萌发率,萌发速率($Gr = \sum G/t$, G 代表萌发第 1, 2, 3, ..., 10 天的种子萌发率, t 为种子萌发天数,如:种子在第 1 天即全部萌发则萌发速率达到最大值:1000/10)^[15, 17-18],测量萌发后幼苗下胚轴和胚根的长度和干重。

1.3 数据分析

对所有数据进行 One-way ANOVA 方差分析,样本间的差异显著性用 Duncan's 检验;整个计算过程在 SAS 9.0 软件系统下完成。

2 结果与分析

2.1 光照对种子萌发的影响

表 1 所示,光显著($P < 0.05$)的抑制沙芥种子萌发,在每天 24h 全光照的各光强处理中,种子均无萌发;在 12h/12h 光周期的各光强处理中,仅在 $25 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光强下萌发,且萌发率和萌发速率显著($P < 0.05$)低于对照条件。斧翅沙芥种子萌发也受到光的显著抑制,但较沙芥种子萌发对光的敏感程度弱,在每天 24h 全光照的各光强处理中,能在 $25 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光强下萌发,但萌发率和萌发速率均较低;在 12h/12h 光周期的各光强处理下,种子随光照强度的增加萌发率和萌发速率均显著($P < 0.05$)下降,在 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光强时下降到 0。

表 1 25℃下不同光周期和光照强度处理对沙芥和斧翅沙芥种子萌发的影响

Table 1 Effect of different photoperiod and light flux density on the seed germination of *P. cornutum* and *P. dolabratum* at 25℃

光照强度 Light flux density/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	沙芥 <i>P. cornutum</i>				斧翅沙芥 <i>P. dolabratum</i>			
	24h 光照		12h/12h(光照/黑暗)		24h 光照		12h/12h(光照/黑暗)	
	24h in light		12h/12h (Light/dark)		24h in light		12h/12h (Light/dark)	
	萌发率 Germination /%	萌发速率 Germination rate	萌发率 Germination /%	萌发速率 Germination rate	萌发率 Germination /%	萌发速率 Germination rate	萌发率 Germination /%	萌发速率 Germination rate
0(CK)	84.00 ± 4.90	55.80 ± 3.26	84.00 ± 4.90a	55.80 ± 3.26a	81.00 ± 1.91a	49.00 ± 1.44a	81.00 ± 1.91a	49.00 ± 1.44a
25	0	0	3.00 ± 1.91b	1.70 ± 1.91b	6.00 ± 1.15b	2.50 ± 0.77b	45.00 ± 4.73b	16.50 ± 2.42b
100	0	0	0	0	0	0	1.00 ± 1.00c	0.30 ± 0.30c
200	0	0	0	0	0	0	1.00 ± 1.00c	0.20 ± 0.20c
400	0	0	0	0	0	0	0	0

在同一列中,不同字母表示差异显著($P < 0.05$),相同字母表示差异不显著

实验结果表明:两种沙芥属植物的种子萌发均属需暗,在光下种子萌发受到显著($P < 0.05$)的抑制,其中沙芥种子萌发受光的影响强于斧翅沙芥种子。

2.2 温度对种子萌发的影响

2.2.1 恒温对种子萌发的影响

图 1 所示,沙芥和斧翅沙芥种子在 15—35℃ 范围内均可萌发。其中沙芥种子在 25℃ 下,萌发率、萌发速率、下胚轴和胚根的长度和胚根干重均达到最大值;在 30℃ 下,下胚轴干重达到最大值,但与 25℃ 下无显著差异($P > 0.05$)。而斧翅沙芥种子在 30℃ 下,萌发率、萌发速率、下胚轴长度、下胚轴和胚根的干重均达到最大值;在 15—35℃ 范围内斧翅沙芥幼苗胚根的长度无显著差异($P > 0.05$)的变化。

实验结果表明:沙芥和斧翅沙芥种子分别在 25℃ 和 30℃ 下达到最佳的恒温萌发响应,分别为它们各自的适宜萌发温度。沙芥种子在 15℃ 和 35℃ 下萌发除下胚轴和胚根长度外均优于斧翅沙芥种子。斧翅沙芥种子在 30℃ 下萌发的萌发率、萌发速率、下胚轴和胚根长度均高于 25℃ 下萌发的沙芥种子,但下胚轴和胚根干重却低于沙芥,这是由于沙芥种子的千粒重大于斧翅沙芥造成的。所以在各自最佳的恒温萌发条件下斧翅沙芥种子的萌发特性优于沙芥种子。

2.2.2 变温对种子萌发的影响

图 2 所示,沙芥和斧翅沙芥种子在 10/20℃ 下均不能萌发,斧翅沙芥种子在 30/40℃ 下不能萌发,说明沙

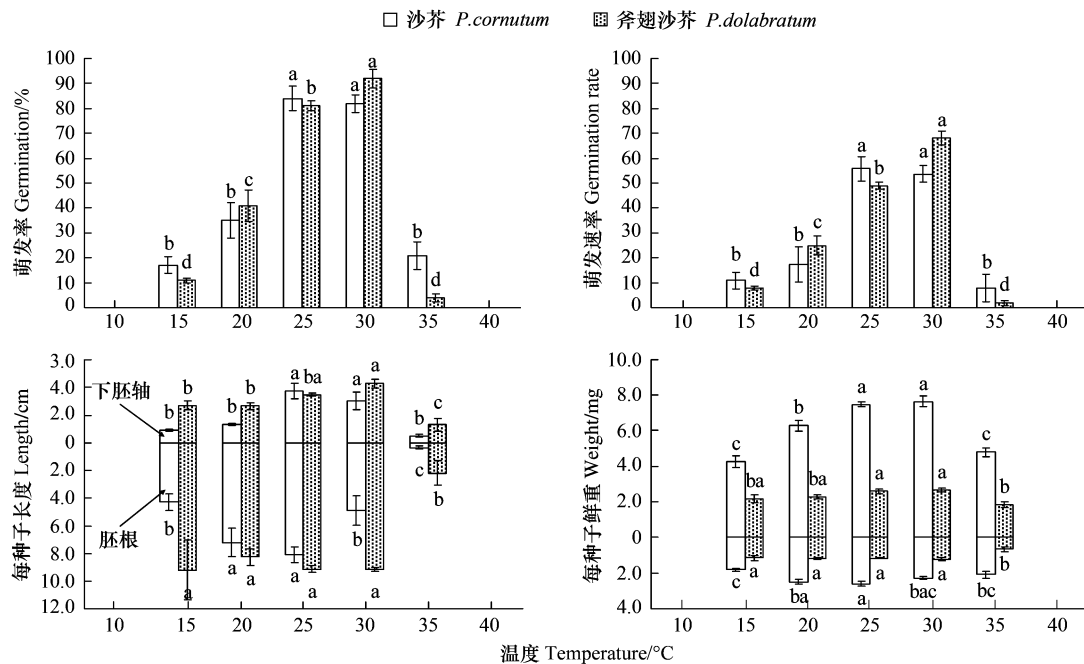


图1 黑暗条件下不同恒温处理对沙芥和斧翅沙芥种子萌发的影响

Fig. 1 Effect of different constant temperatures on the seed germination of *P. cornutum* and *P. dolabratum* in darkness

图中的数据均为平均值 $\pm$ 标准误, 设 4 个重复; 不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同字母表示差异不显著

芥种子萌发适应温度变化的能力强于斧翅沙芥种子。其中沙芥和斧翅沙芥种子在 20/30°C 下萌发时所有萌发指标均高于其余处理。

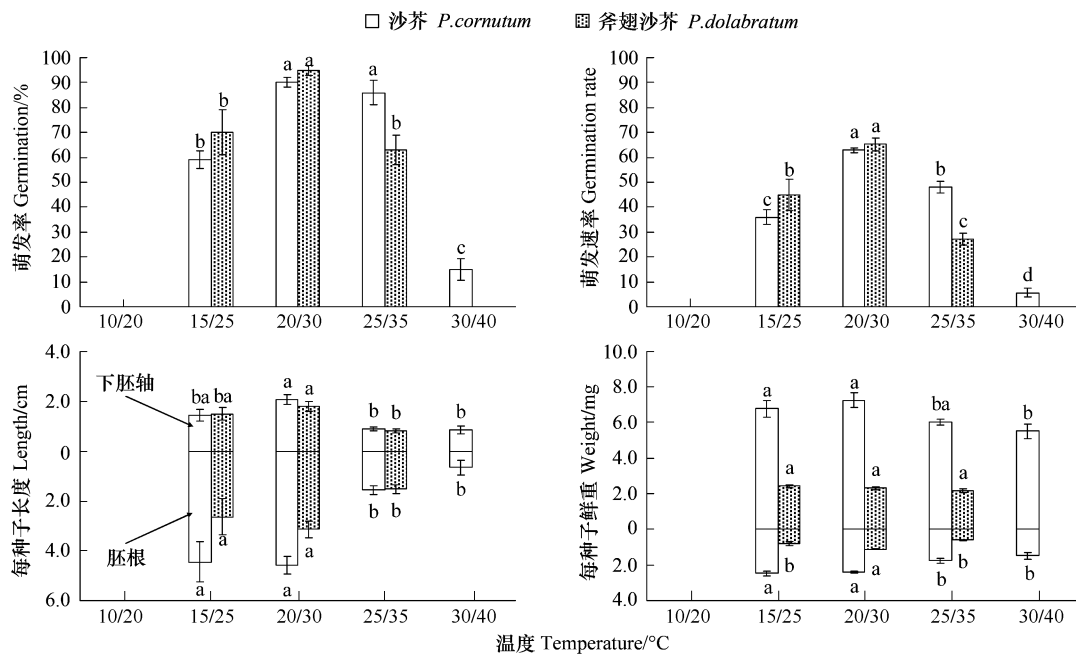


图2 黑暗条件下不同变温处理对沙芥和斧翅沙芥种子萌发的影响

Fig. 2 Effect of different alternating temperatures on the seed germination of *P. cornutum* and *P. dolabratum* in darkness

图中的数据均为平均值 $\pm$ 标准误, 设 4 个重复; 不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同字母表示差异不显著

实验结果表明:沙芥和斧翅沙芥种子在 20/30°C 下的萌发率要高于各自最佳恒温处理下的萌发率,但萌

发后幼苗的下胚轴和胚根的长度较最佳恒温处理有明显的下降,而它们的干重却差异较小,说明变温处理有利于沙芥和斧翅沙芥种子的萌发和形成强壮的幼苗。所以,沙芥和斧翅沙芥种子在黑暗和 20/30℃ 变温条件下达到最佳的萌发响应(图 1、图 2)。

3 讨论

3.1 光照抑制植物种子萌发的生理机制及其生态学意义

本实验研究表明:在沙芥属两种植物种子适宜的萌发温度和水分条件下,光成为抑制种子萌发的重要因子,并随光强和光照时间的增加,对其种子萌发有显著($P < 0.05$)的抑制作用(表 1)。光照能单独地影响许多植物种子的萌发^[19-20],而光对种子的这种作用依赖于种子的遗传特性和种子成熟期间的环境因子^[19]。在荒漠地区有些植物种子的萌发需要光的照射,有些则不需要^[19, 21-25]。光促进或抑制休眠是通过种子中原初远红光吸收型光敏素(P_{fr})和红光吸收型光敏素(P_r)的调控来实现的,从而改变细胞膜透性、赤霉素(GA)和细胞分裂素的合成与分解,同时基因活化调节核酶的代谢,促进蛋白质和酶的合成。不同种类种子中原初 P_{fr} 的含量和对 P_{fr}/P_r 所要求的阈值不同,所以光对种子萌发的影响也不同。暗萌发的荒漠植物种子中有足够的 P_{fr} ,照光会打破 P_{fr}/P_r 的平衡所以不萌发^[19, 26]。另外,种子对光的感应也有确定自身是否处于适合于萌发的土层位置,进而调控种子内的激素物质来促进萌发或抑制萌发的作用^[27]。光抑制沙芥属两种植物种子萌发,可使其幼苗避开不利于生长的环境,因为强光照往往伴随着低的沙层含水量、高温和高蒸腾量的强干旱环境。所以光抑制萌发是该物种为适应其各自的沙生环境长期进化的结果。

3.2 温度是沙芥和斧翅沙芥种子萌发适时季节的重要因素

本实验研究表明:沙芥属植物的种子在温度高于 15℃ 时,种子的萌发开始加快,沙芥和斧翅沙芥种子分别在 25℃ 和 30℃ 下萌发率达到最高,在 10℃ 和 40℃ 下,两种植物的种子萌发则完全被抑制(图 1)。这种萌发机制确保了大部分种子在合适的季节萌发,因而增大了幼苗的存活机会^[24, 28, 31]。这是由于种子在萌发过程中进行着活跃的代谢反应,在一定温度范围内,随温度的升高种子萌发进程加快^[28],但过低和过高的温度会使膜的透性、膜结合的活性和酶变性而影响萌发^[29-30]。另外,温度对种子萌发具有最低、最适及最高三基点,其中种子萌发的最适温度与植物的原生境有密切关系^[28]。在种子萌发季节腾格里沙漠的月平均温度高于毛乌素沙地,所以斧翅沙芥种子适宜萌发温度高于沙芥种子适宜萌发温度的现象,也体现了沙芥属两种植物种子适时萌发特性是对其各自生境的适应。

变温对荒漠种子的萌发有促进作用^[28],这与本实验研究的沙芥属两种植物种子在 20/30℃ 变温条件下的萌发率和萌发速率均高于各自适宜温度条件下的萌发率和萌发速率的结果相一致(图 2)。另外,由于沙芥属两种植物第一年生长时均为短缩茎,其种子在变温处理下萌发表现出的下胚轴和胚根较恒温处理下变短,但干重并不减轻(图 2)的现象有利于其种子在适时季节萌发后形成强壮的幼苗,并在沙漠中成功继续生存下去。

另外,植物开花和果实(种子)的发育对植物周围的环境较为敏感,如:气候改变可能会导致植物群落为适应生物气候学模式而改变其生殖发育方式^[20]。所以沙生植物沙芥和斧翅沙芥在不同的生境条件下形成了不同的植株、果实和种子形态,其种子响应温度的适时萌发特性也不尽相同。这可能是沙芥属这两种植物与十字花科其它属蔬菜植物种子萌发特性有较大差异的主要原因。

3.3 沙芥和斧翅沙芥种子飞播季节的选择

沙芥属植物在毛乌素沙地和腾格里沙漠每年的初夏萌发出苗。此时在沙漠地区,降雨过程中或雨后的温度和水分条件有利于种子萌发,一般种子能在一周内迅速萌发,且出苗后就具有较强的抗逆能力。然而当遇到降雨后迅速转晴的天气,沙层表面温度很快会上升到 50℃ 以上^[8],此时在沙层表面萌发的种子很容易遭到高温的伤害。有许多研究表明,在沙表面的种子比被沙层覆盖的种子成苗率低^[32-35],这可能是导致飞播成活率低的主要原因。在毛乌素沙地和腾格里沙漠,风通常出现在春季,如果飞播在晚春进行,将有利于种子被沙层覆盖而保持活力。这有利于提高飞播的成苗率,避免光对种子萌发产生的抑制效应,更好地达到植被恢复

和防风固沙的目的。

References:

- [1] Zhao Y Z. A taxological revision and floristic analysis of the Genus *Pugionium*. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol, 1999, 30 (2): 197-199.
- [2] Hao L Z, Zhai S, Jia J. A study on vegetative growth law and leaf anatomy of *Pugionium cornutum*. China North Acta Agriculture Sinica, 2004, 19(4): 66-69.
- [3] Zhang W H, Hao L Z, Wang Y H, Zhang F L, Wang P, Zhao Q Y, Liu J C. Course of water uptake and change of some storage substances during the germination of *Pugionium cornutum* (L.) Gaertn. Plant Physiology Communications, 2005, 41(4): 528-530.
- [4] Zhao Y Z. Rare and Endangered Plants in Inner Mongolia. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1992: 30.
- [5] Qi J Z. Aerial sowing for sand control in China. Beijing: Science Press, 1998: 185-195.
- [6] Xu S C, Zhang Z K, Li Y Q, Qi L. Effect of different temperature and different seed soaking time on the seed germination of *Pugionium cornutum*. Seed, 2007, 26(1): 9-11.
- [7] Lindig-Cisnoros R, Zedler J. Effect of light on seed germination in *Phalaris arundinacea* L. (Creed canarygrass). Plant Ecology, 2001, 155: 75-78.
- [8] Zheng Y, Xie, Z, Gao Y, Jiang L, Xing X, Shimizu H, Rimmington G M. Effect of light, temperature and water stress on germination of *Artemisia sphaerocephala*. Annals of Applied Biology, 2005, 146: 327-335.
- [9] Carl A T. Some factors affecting germination of celery seed. Plant Physiology, 1948, 5: 93-102.
- [10] Ueno K. Effect of desiccation and a change in temperature on germination of immature grains of wheat (*Triticum aestivum* L.). Euphytica, 2002, 126: 107-113.
- [11] Baker K S, Steadman K J, Plummer J A, Dixon K W. Seed dormancy and germination responses of nine Australian fire ephemerals. Plant and Soil, 2005, 277: 345-358.
- [12] Ueno K, Miyoshi K. Different of optimum germination temperature of seeds of intact and dehusked japonica rice during seed development. Euphytica, 2005, 143: 271-275.
- [13] Brändel M. Effect of temperature on dormancy and germination in three species in the *Lamiaceae* occurring in northern wetlands. Wetlands Ecology and Management, 2006, 14: 11-28.
- [14] ISTA. International Rules for Seed Testing 1996. Beijing: China Agricultural Press, 1999: 111-150.
- [15] Carter C T, Brown L S, Vngar I A. Effect of temperature regimes on germination of dimorphic seeds of *Atriplex prostrata*. Biologia Plantarum, 2003, 47: 269-272.
- [16] Kepczyński J, Bihum M. Induction of secondary dormancy on *Amaranthus caudatus* seeds. Plant Growth Regulation, 2002, 38: 135-140.
- [17] Timson J. New method of recording germination data. Nature, 1965, 207: 216-217.
- [18] Khan M A, Ungar I A. The effect of salinity and temperature on germination of polymorphic seeds and growth of *Atriplex triangularis* Willd. American Journal of Botany, 1984, 71: 481-489.
- [19] Fenner M. Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities (2nd Edition). Wallingford, UK: CABI Publishing, 2000: 237-260.
- [20] Sherry R A, Zhou X, Gu S, Arnone III J A, Schimel D S, Verburg P S, Wallace L L, Luo Y. Divergence of reproductive phenology under climate warming. PNAS, 2007, 104: 198-202.
- [21] Huang Z Y, Gutterman Y. *Artemisia monosperma* achene germination in sand: effects of sand depth, sand/water content, cyanobacterial sand crust and temperature. Journal of Arid Environments, 1998, 38: 27-43.
- [22] Huang Z Y, Gutterman Y. Comparison of germination strategies of *Artemisia ordosica* with its two congeners from deserts of China and Israel. Acta Botanica Sinica, 2000, 42(1): 71-80.
- [23] Huang Z Y. Adaptation strategies of seed dormancy and germination of *Psammochloa villosa*, a sand dune grass inhabiting Ordos Plateau, China. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2003, 23(7): 1128-1133.
- [24] Huang Z Y, Gutterman Y, Hu Z H, Zhang X S. Seed germination in *Artemisia sphaerocephala* II. the influence of environmental factors. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(2): 240-246.
- [25] Huang Z Y, Zhang X S, Gutterman Y, Zheng G H. Influence of light, temperature and salinity on the seed germination of *Haloxylon ammodendron*. Acta Phytophysiological Sinica, 2001, 27(3): 275-280.
- [26] Zheng G H, Shi Z L, Zhao T F, Tao J L. Practical Seed Physiology. Beijing: Agricultural Science and Technology Press, 1990: 176-187.
- [27] Seo M, Nambara E, Choi G, Yamaguchi S. Interaction of light and hormone signals in germinating seeds. Plant Molecular Biology, 2009, 69:

463-472.

- [28] Zhang Y, Xue L, Gao T, Jin L, An L. Research advance on seed germination of desert plants. *Journal of Desert Research*, 2005, 25(1): 106-112.
- [29] Gul B, Weber D J. Effects of salinity, light and temperature on germination in *Allenrolfea occidentalis*. *Canadian Journal of Botany*, 1999, 77: 240-246.
- [30] Gulzar S, Khan M A. Seed germination of halophytic grass *Aeluropus lagopoides*. *Annals of Botany*, 2001, 87: 319-324.
- [31] Heschel M S, Selby J, Butler C, Whitelam G C, Sharrock R A, Donohue K. A new role for phytochromes in temperature-dependent germination. *New Phytologist*, 2007, 1: 1-7.
- [32] Huang Z Y, Dong M, Gutterman Y. Factors influencing seed dormancy and germination in sand, and seedling survival under desiccation, of *Psammochloa villosa* (Poaceae), inhabiting the moving sand dunes of Ordos, China. *Plant and Soil*, 2004, 259: 213-241.
- [33] Zhu Y J, Dong M, Huang Z Y. Effect of sand burial and seed size on seed germination and seedling emergence of *Psammochloa villosa*. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(5): 730-739.
- [34] Li Q Y, Zhao W Z, Fang H Y. Effects of sand burial depth and seed mass on seedling emergence and growth of *Nitraria sphaerocarpa*. *Plant Ecology*, 2006, 185: 191-198.
- [35] Liu Z, Yan Q, Baskin C C, Ma J. Burial of canopy-stored seeds in the annual psammophyte *Agriophyllum squarrosum* Moq. (Chenopodiaceae) and its ecological significance. *Plant Soil*, 2006, 288: 71-80.

参考文献:

- [1] 赵一之. 沙芥属的分类校正及其区系分析. *内蒙古大学学报(自然科学版)*, 1999, 30(2): 197-199.
- [2] 郝丽珍, 翟胜, 贾晋. 沙芥营养生长规律及叶片解剖结构的研究. *华北农学报*, 2004, 19(4): 66-69.
- [3] 张卫华, 郝丽珍, 王彦华, 张凤兰, 王萍, 赵清岩, 刘杰才. 沙芥种子吸水和发芽过程中几种贮藏物质的含量变化. *植物生理学通讯*, 2005, 41(4): 528-530.
- [4] 赵一之. *内蒙古珍稀濒危植物图谱*. 北京: 中国农业科技出版社, 1992: 30.
- [5] 漆建忠. *中国飞播治沙*. 北京: 中国科学出版社, 1998: 185-195.
- [6] 徐世才, 张治科, 李延清, 齐龙. 不同温度和不同浸种时间对沙芥种子萌发的影响. *种子*, 2007, 26(1): 9-11.
- [14] 国际种子检验协会编. *国际种子检验规程 1996*. 北京: 中国农业出版社, 1999: 111-150.
- [22] 黄振英, Gutterman Y. 油蒿与中国和以色列沙漠中的两种蒿属植物种子萌发策略的比较. *植物学报*, 2000, 42(1): 71-80.
- [23] 黄振英. 鄂尔多斯高原固沙禾草沙鞭种子休眠和萌发与环境的关系. *西北植物学报*, 2003, 23(7): 1128-1133.
- [24] 黄振英, Gutterman Y, 胡正海, 张新时. 白蒿种子萌发特性的研究 II. 环境因素的影响. *植物生态学报*, 2001, 25(2): 240-246.
- [25] 黄振英, 张新时, Gutterman Y, 郑光华. 光照、温度和盐分对梭梭种子萌发的影响. *植物生理学报*, 2001, 27(3): 275-280.
- [26] 郑光华, 史忠礼, 赵同芳, 陶嘉龄. *实用种子生理学*. 北京: 农业出版社, 1990: 176-187.
- [28] 张勇, 薛林贵, 高天鹏, 晋玲, 安黎哲. 荒漠植物种子萌发研究进展. *中国沙漠*, 2005, 25(1): 106-112.
- [33] 朱雅娟, 董鸣, 黄振英. 沙埋和种子大小对固沙禾草沙鞭的种子萌发与幼苗出土的影响. *植物生态学报*, 2005, 29(5): 730-739.