

新疆短命植物小拟南芥 (*Arabidopsis pumila*) 种子萌发特性及其生态适应性

张海波,刘 彭,刘立鸿,兰海燕*,张富春

(新疆大学生命科学与技术学院新疆生物资源基因工程重点实验室,乌鲁木齐 830046)

摘要 通过显微结构及不同处理条件下种子萌发率的观察,对早春短命植物小拟南芥 (*Arabidopsis pumila*) 种子萌发特性及影响因素进行了研究,并对其生态适应性进行了讨论。结果表明:(1)温度和光照变化对自然生境和温室收获种子的萌发率影响均不显著,说明此种群在前期萌发阶段对光、温不敏感;(2)自然生境中采收的小拟南芥种子萌发率显著低于温室收获种子,说明环境条件的变化对短命植物种子的发育具有重要作用,可显著改变种子的萌发行为;(3)赤霉素使自然生境收获种子胚活性增强从而对萌发有较大促进作用,可使萌发率增加 50% 以上;(4)对种皮进行各种机械损伤处理使得种皮松弛或透气,可以显著提高自然生境种子的萌发率(超过 70%);(5)盐和干旱胁迫对种子萌发均具有明显的抑制作用,但复水后部分被抑制种子可重新萌发,显示盐和干旱胁迫可导致种子产生浅度休眠。结合小拟南芥自然生存环境及本研究的结果,显示其种子萌发特性与生境具有高度适应性。

关键词 短命植物;小拟南芥 (*Arabidopsis pumila*);生态适应性;盐胁迫;干旱胁迫

文章编号:1000-0933 (2007)10-4310-07 中图分类号:Q142.9,Q945.34,Q948 文献标识码:A

Seed germination characteristics and ecological adaptability of *Arabidopsis pumila*, a Xinjiang-originated ephemeral plant species

ZHANG Hai-Bo, LIU Peng, LIU Li-Hong, LAN Hai-Yan*, ZHANG Fu-Chun

Xinjiang Key Laboratory of Biological Resources and Genetic Engineering, College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (10) 4310 ~ 4316.

Abstract: Through observation of the microstructure of seeds and investigation of seed germination rate under various treatments, factors that influence germination and ecological adaptability of *Arabidopsis pumila*, a Xinjiang-originated ephemeral plant species were analyzed. Results showed: (1) temperature and light had little effects on seed germination rate (GR) of *A. pumila*, implying that the environmental sensitivity of the species in germination stage is relatively low; (2) The GR of seeds produced in natural habitat was significantly lower than those from green-house, suggesting that environmental conditions play a crucial role in seed development, and consequently influenced the germination of those seeds. (3) GA₃ treatment promoted the germination of seeds produced from natural habitat by increasing the activity of embryos. GR of the GA-treated seeds was increased more than 50% over the untreated ones; (4) Mechanically altering the

基金项目 国家教育部留学回国人员启动基金资助项目 (2006-2008)

收稿日期 2006-08-19;修订日期 2007-07-11

作者简介 张海波 (1982~),男,四川人,硕士生,从事植物抗逆分子生物学研究. E-mail: zhbneblel@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lanhaiyan@xju.edu.cn

致谢 本文得到了浙江大学生命科学院寿惠霞教授的耐心指教,新疆大学生命科学与技术学院李金耀博士也给予帮助,在此一并致谢。

Foundation item The project was financially supported by the Initial Funding for Returnee of Study abroad Personnel from National Ministry of Education (2006-2008)

Received date 2006-08-19; **Accepted date** 2007-07-11

Biography ZHANG Hai-Bo, Master candidate, mainly engaged in field on molecular biology of plant stress resistance. E-mail: zhbneblel@163.com

seed coat to make it loose , or permeable to gases , such as acupuncture , or cutting , or peeling of seeds , could increase GR more than 70% . (5) Both NaCl and PEG-6000 treatments inhibited germination , however some non-germinable seeds germinated after rehydration , suggesting that salt and drought could induce seed dormancy of *A. pumila* in a low degree . Taken together , we conclude that the germination characteristics of *A. pumila* seeds are highly adapted to its habitat .

Key Words : ephemeral plant ; *arabidopsis pumila* ; ecological adaptability ; salt stress ; drought stress

新疆严酷的内陆荒漠气候孕育出一类独特的植物生态型——早春短命植物 , 它们能够利用早春雨雪水萌发和快速生长 , 并在酷夏来临之前迅速完成生活史 , 以种子形式渡过不良季节^[1]。在植物生活史中 , 种子对环境的反应 , 是植物对环境适应性的最重要体现^[2]。很多短命植物的种子在长期适应环境过程中形成了独特的萌发特性 , 具体表现为 : 在自然生境中即使条件适宜也只有部分萌发 (萌发率低) , 且一年中具有多次萌发现象^[3]。此特性是短命植物类群在险恶生境中持续存在的重要原因^[3]。但目前对短命植物种子独特萌发机理的研究报道较少。

小拟南芥 (*Arabidopsis pumila*) 为十字花科拟南芥属早春短命植物 , 是模式植物拟南芥 (*A. thaliana*) 的近缘种。二者在新疆都有分布 , 并具相似的形态及生活史^[4] , 但小拟南芥更适应新疆特殊的干旱气候 , 具有生活周期短、光合效率高、结实量大的特点。因此对小拟南芥适应性机理的研究为深入揭示其近缘种拟南芥的系统发育、适应性进化等方面将起到相辅相成的作用^[5-7]。目前对小拟南芥的研究包括抗病、抗冻相关基因的克隆、植物营养和表型可塑性研究等方面^[8-11]。张霞等通过 H₂O₂、变温、不同光照条件对自然生境获得的小拟南芥种子进行处理 , 均可在一定程度提高种子的萌发率^[12]。但影响种子萌发的环境因素很多 , 本文基于前人的研究基础 , 对小拟南芥种子种皮的超微结构进行了观察 , 并通过野生和温室收获种子萌发率比较 , 以及赤霉素 GA₃、种皮机械破损、盐和干旱胁迫处理 , 对小拟南芥种子萌发的影响因素进行了深入研究 , 以期揭示短命植物种子萌发及适应荒漠环境的独特机制提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

野生小拟南芥种子由新疆农业大学谭敦炎教授惠赠 , 采集地为新疆荒漠戈壁自然生境 , 光温水条件与古尔班通古特沙漠南缘相似 , 将野生种子播种于珍珠岩: 蛭石 (3:1) 中 , 萌发后用 1/8 的 Hongland 营养液浇灌 , 苗期 (2005 年 3 月 4 日至 5 月 1 日) 小拟南芥生长于温室中 , 自然光照 , 平均温度为 15 ~ 25 ℃ , 成株 (5 月 2 日直至 6 月中旬收获) 小拟南芥生长于温室外 , 周围有林带、草坪和楼房 , 平均温度在 23 ~ 30 ℃ , 光照不强。当植物叶片出现轻微萎蔫时提供一定水量 , 植株逐渐干枯时收获成熟种子 , 盛于塑料管中并敞开干燥 2 周后置 4℃ 冰箱密封保存备用 (此为温室收获种子)。

1.2 方法

1.2.1 小拟南芥种子千粒重的测定

采用百粒法 (参照中华人民共和国国家标准-农作物种子检验规程 GB/T 3543.1 -3543.7-1995) , 即从纯净种子中随机抽取 100 粒种子为 1 组 , 重复取 8 组称量 , 并由此计算出千粒重。

1.2.2 种子表面超微结构观察

利用扫描电镜 (LEO 1430 型) 进行种子表面结构观察。将小拟南芥种子按常规扫描电镜样品制备及观察方法进行记录和拍照。

1.2.3 不同处理条件下种子萌发率的测定

种子萌发实验以每组 50 粒、3 个重复进行 , 将种子置于直径为 8.6mm 垫有两层充分湿润滤纸的培养皿中 , 置于 25℃ , 光照 14h 的培养箱中萌发 , 每 2d 加 1ml 蒸馏水补充水分 , 种子的萌发以子叶变绿展开直立为标志 , 7d 后统计种子的萌发率。

萌发率 (%) = 正常萌发的种子数 / 供试种子数 × 100%

(1) 不同温度和光照处理

分别在光照时间一定 (14 h) 时设置 10、15、25、30 ℃ 4 个温度梯度, 温度一定 (25 ℃) 时设置 0、14、24 h 3 个光照时间, 同时进行野生种子和温室种子的萌发实验。

(2) 激素 GA3 处理

分别用 0、50、100、200 mg · L⁻¹ 的赤霉素水溶液将野生种子浸泡 4h 后, 接入用相应赤霉素浓度浸湿滤纸的培养皿中萌发, 7d 后对萌发率及幼苗根长进行测量。

(3) 不同种皮处理

将野外收获的小拟南芥种子先于蒸馏水中浸泡 4h, 在不损伤胚的情况下做以下处理: A. 切除两端的少量种皮 (以胚刚露出为限); B. 将种皮完全剥离; C. 用缝衣针轻微刺破种皮 (于种子中部刺一下)。后置于培养皿中萌发。

(4) 盐胁迫处理

在培养皿中加入如下梯度的 NaCl 溶液: A. 不含 NaCl 的蒸馏水; B. 50 mmol · L⁻¹; C. 100 mmol · L⁻¹; D. 200 mmol · L⁻¹; E. 300 mmol · L⁻¹。完整或端切种皮的野生种子分别置于不同浓度的 NaCl 溶液中萌发, 7 d 后将未萌发的种子置于蒸馏水中进行复水萌发实验, 并于 7d 后统计结果。

(5) 干旱胁迫处理

利用在培养皿中加入不同浓度的 PEG-6000 溶液模拟干旱条件下的渗透胁迫: A. 不含 PEG-6000 的蒸馏水; B. 10.6%; C. 16.5%; D. 21.3%; E. 25.5% (PEG-6000 溶液各浓度分别与上述对应字母的 NaCl 溶液等渗)。完整或端切种皮的野生种子分别置于上述不同 PEG-6000 浓度的培养皿中萌发, 7d 后将未萌发的种子置于蒸馏水进行复水萌发实验, 并于 7d 后统计结果。

1.2.4 数据分析

采用 SPSS13.0 统计分析软件对种子萌发率进行差异显著性检验, $p < 0.05$ 为差异显著, $p < 0.01$ 为差异极显著。采用 Tukey 检验进行多重比较, 确定处理项两两之间的差异显著水平。采用 Excel 2000 软件制图。

2 结果与分析

2.1 小拟南芥种子的生物学特性

在解剖镜下小拟南芥种子的外观形态与拟南芥种子相似, 但个体较大。野外自然条件下采收的小拟南芥种子千粒重为 (0.07475 ± 0.00183) g, 室内采集种子的千粒重约为 0.0501 g。在扫描电镜下, 小拟南芥种子呈现萌发孔端钝、另一端稍尖的长椭圆形 (图 1a), 种皮表面分布较均匀的颗粒状突起。在萌发孔端有种柄脱落的痕迹 (图 1b)。萌发孔的局部放大图片显示: 一些极薄的膜状物质围绕或填充在孔周围 (图 1c)。解剖镜下观察到小拟南芥具有很薄的种皮 (图 1e), 种子横切面的扫描电镜图片显示: 小拟南芥种皮大致由 3 层结构组成, 最外层由多层薄膜状物质压缩形成, 最内层为一较大细胞层 (图 1d)。小拟南芥干种子放入清水后很快就可以吸涨, 剥去种皮后, 种胚由两片子叶和胚根组成, 胚根与子叶基本等长, 呈半透明乳白色折叠在一起 (图 1f)。

2.2 不同温度和光照对种子萌发率的影响

与温室收获种子相比, 小拟南芥的野生种子在不同温度和光照条件下的萌发率均较低 (图 2), 其差异达极显著水平 (t 检验, $p < 0.01$); 不同环境收获的种子对温度和光照的变化不敏感, 未造成萌发率的显著差异 ($p > 0.05$)。由此初步显示温度和光照可能不是影响种子萌发的主要因素。

2.3 赤霉素 GA3 对种子萌发的影响

随 GA3 浓度的提高, 自然生境种子的萌发率逐渐增加。当 GA3 的浓度由 0 增大到 200 mg · L⁻¹ 时, 种子萌发率则由 17% 增加至 79% (图 3a)。通过 Tukey 统计分析表明 GA3 各浓度间的种子萌发率达显著差异 ($p < 0.05$), 表明赤霉素能有效促进种子的萌发, 但较高的 GA3 浓度会抑制幼苗根的生长 (图 3b)。

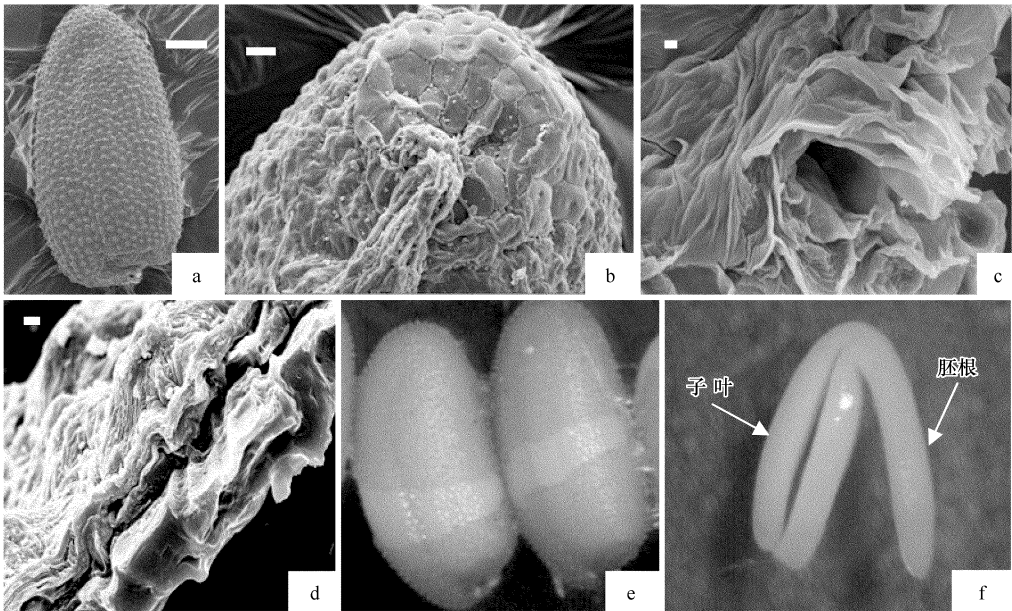


图1 种子外观形态及解剖结构

Fig. 1 Exo-morphology and anatomical structure of *A. pumila* seed

a. 扫描电镜下的种子,显示种子外形及种皮表面颗粒状突起 (200 ×),图中白色短线代表 100μm ;b. 扫描电镜下种子种孔端结构,显示种孔和种柄痕 (5000 ×),短线代表 20μm ;c. 扫描电镜下的种孔局部放大结构 (2000 ×),短线代表 2μm ;d. 种皮横切扫描电镜图,显示 3 层结构 (6000 ×),短线代表 2μm ;e. 解剖镜下的种皮,显示较薄的种皮 (12 ×);f. 解剖镜下的种胚结构 (12 ×)

a. The exo-morphology of seed under SEM ,showing the shape and appearance of the seed and the particle-like protuberance on seed coat (200 ×);b. Structure of the seed end with germination aperture under SEM ,showing the aperture and seed stalk scar (1000 ×);c. Structure of partial magnified germination aperture under SEM (5000 ×);d. Cross-section structure of seed coat under SEM ,showing three layers structure (6000 ×);e. Seed coat under anatomical lens ,showing the thin seed coat (12 ×);f. Embryo structure under anatomical lens (12 ×);子叶 Cotyledon ;胚根 Radicle

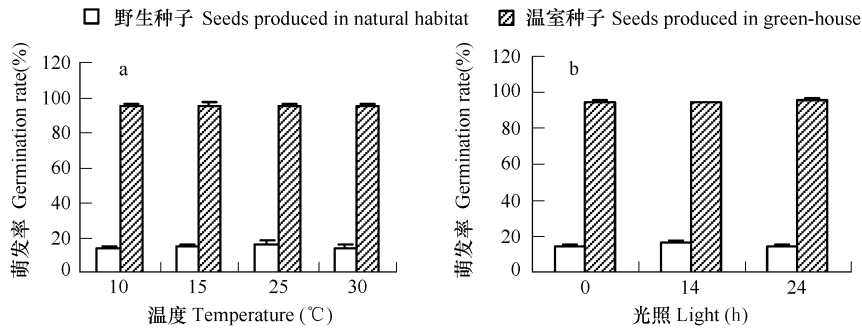


图2 温度和光照对种子萌发的影响

Fig. 2 Effects of temperature and light on seed germination

a. 温度对种子萌发率的影响 Effect of temperature on seed germination ;b. 光照对种子萌发率的影响 Effect of illumination on seed germination

2.4 种皮处理对种子萌发的影响

野生种子经端切、去皮或针刺后的萌发结果如图 4 所示。其中具有完整种皮种子的萌发率最低 (17%), 而其他 3 种均对种皮进行了不同程度的破坏,从而极大地促进了种子的萌发 (达 90% 以上)。Tukey 统计分析表明各种皮处理与对照达极显著差异 ($p < 0.01$),而 3 种处理之间萌发率差异不显著 ($p > 0.05$),表明种皮破损对种子萌发有极大的影响。

2.5 盐胁迫对种子萌发的影响

随着盐浓度的提高,完整或端切的野生种子萌发率逐渐降低,当 NaCl 浓度达 200 mmol·L⁻¹时萌发率降至 0 (图 5)。通过 Tukey 检验分析表明,完整种子或端切种子各盐浓度之间萌发率的降低差异显著或极显著 ($p < 0.05$ 或 $p < 0.01$)。以上结果表明 NaCl 使种子的萌发受到明显抑制。将 NaCl 处理的未萌发端切种子转入蒸馏水中进行复水萌发实验,显示 50 ~ 200 mmol·L⁻¹ NaCl 处理后的种子复水萌发率是递增的 (图 5),这显示高盐对种子萌发的抑制作用可能迫使种子进入浅度休眠状态,当环境适宜时又可再次萌发。

2.6 干旱胁迫对种子萌发的影响

比较图 5 和图 6 的结果可看出,PEG 模拟的干旱胁迫与 NaCl 胁迫的效应很相似。随着 PEG6000 浓度的升高,完整或端切的野生种子的萌发率逐渐降低 (图 6),在 21.3% PEG 时 (其渗透势相当于 200 mmol·L⁻¹ NaCl)的萌发率降为 0。通过 Tukey 检验分析表明,完整种子或端切种子各 PEG 浓度之间萌发率的降低差异显著或极显著 ($p < 0.05$ 或 $p < 0.01$)。以上结果显示 PEG6000 模拟的干旱胁迫使种子的萌发受到较强的抑制。将 PEG6000 处理的未萌发端切种子转入蒸馏水中进行复水萌发实验显示,10.6% ~ 21.3% PEG6000 处理后的种子复水萌发率是递增的 (图 6),这显示干旱胁迫对种子萌发的抑制作用可能迫使种子进入浅度休眠状态,当环境适宜时又可再次萌发。

3 讨论

荒漠环境是严酷的,但荒漠中春末至夏初的气候条件对短命植物的繁衍却是有利的。由于春季融雪水和雨水分布集中,充沛的光、温、水条件使大量的短命植物在这一季节里得到充分的繁衍^[1]。如古尔班通古特沙漠南缘的莫索湾地区在 3、4、5 月份的降水集中加之冬季的融雪水,为短命植物前期的营养生长提供了充足的水分,但至 5 月中旬以后,荒漠温度急剧升高,光照强烈,蒸发量加大^[3],短命植物迅速进入生殖生长并很快结实枯萎,留下大量种子待条件适宜使种群得以延续。许多自然生境收获短命植物种子的萌发都有一个明显特征,即萌发的异质性 (一次性萌发率较低)^[13]。在每一个生长季节即使遇适宜的条件,也只有部分种子萌发^[3,14]。这种特性无疑是短命植物类群在险恶生境中持续存在的重要原因^[3],如果土中存留的种子遇适宜环境即全部萌发,当随后出现某次大的气候变化过程时可能导致种群灭绝。若萌发率降低,这种危险性也降低^[3]。小拟南芥种子萌发试验中发现,在适宜的光温水条件下,野外采收种子的萌发率 (15%)比温室收获种子 (95% 以上)低得多,且在不同的温度和光照下的萌发率没有显著改变,这反映出当种子在母株上发育成

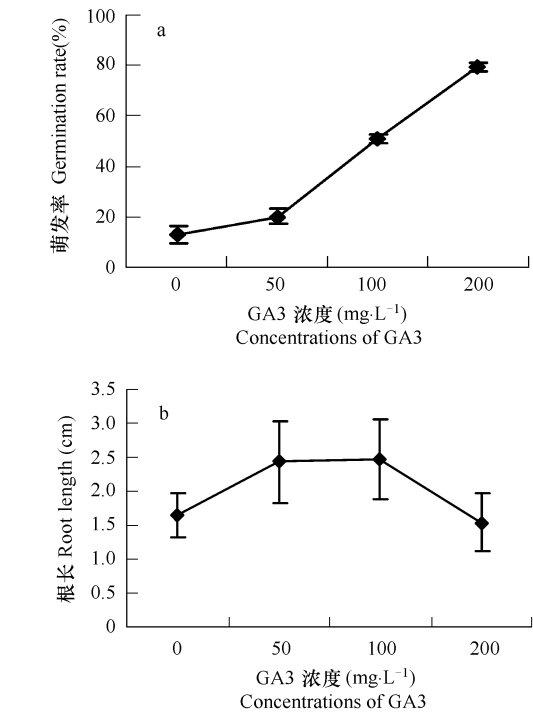


图 3 不同浓度 GA3 处理下种子的萌发率及幼苗根长的变化
Fig. 3 Changes of seed germination and root length under different concentrations of GA3
a. 种子萌发率变化 Change of the seed germination rate ; b. 幼苗根长变化 Change of the seedling root length

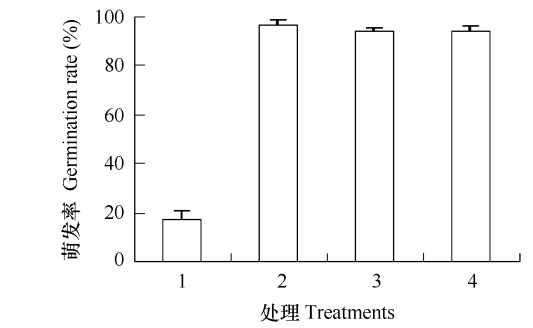


图 4 种皮处理对种子萌发率的影响
Fig. 4 Effects of different treatments on seed germination
1. 完整种子 (对照) Intact seeds (control) ; 2. 种皮端切 Seeds cut on coat at two ends ; 3. 种子去皮 Seeds with coat removal ; 4. 针刺种皮 Seeds with acupunctured coat

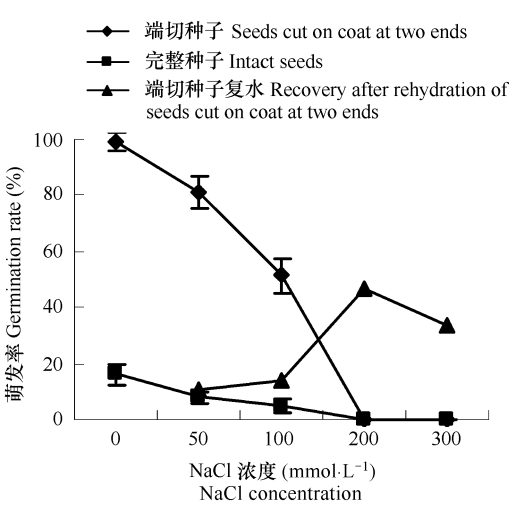


图 5 NaCl 对种子萌发率的影响

Fig. 5 Effects of NaCl on seed germination

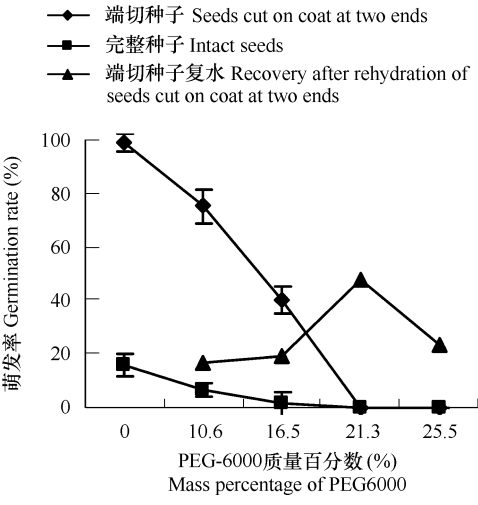


图 6 PEG6000 对种子萌发率的影响

Fig. 6 Effects of PEG6000 on seed germination

熟过程中,其外部的环境条件可能已经对随后的种子萌发特性产生了重要影响。小拟南芥具有总状花絮^[15],其种子的发育和成熟存在时空差异性,同一果序下部种子在恶劣气候来临前先发育成熟,而上部种子还在发育过程中就遇到高温与干旱的胁迫,表现为植株下部种子萌发率高于上部^[13,16~18]。而温室发育成熟的种子总是处于较为温和的环境条件中,在种子发育的整个过程中其光温水条件均较为适宜,所以种子发育充分。绝大多数在温室正常成熟的小拟南芥种子都可以一次性萌发,这体现了温室种子对其温和生境的适应性。

为探索影响自然生境种子萌发率低的内在原因,利用赤霉素和种皮机械损伤等方法对种子进行了处理,结果都使种子萌发率得到显著提高。赤霉素能促进细胞中储藏物质的分解,增强胚的活性,从而促进萌发^[9]。张霞等利用双氧水浸泡、变温处理可加快野生小拟南芥种子的后熟作用,提高种子的萌发率,由此认为萌发率低的主要原因可能是种胚发育不太成熟^[12]。本实验中赤霉素对小拟南芥种子萌发有显著促进作用,初步说明胚的生理活性较低可能是阻碍萌发的一个内因。但实验过程中还发现,不萌发的种子剥皮后,也能迅速萌发成苗。而对种皮进行机械破损处理后种子的萌发率可接近 100%。以上两方面的结果初步显示胚是有活性的,但胚的这种较低生理活性在萌发过程中不能挣破由种皮包裹带来的束缚作用。由于小拟南芥种子在水中能产生正常的吸胀反应,因此种皮不会限制水分的进入,那么种皮束缚是否可能通过机械阻碍或限制气体交换产生作用,还有待于深入的研究。

在干旱荒漠地区,盐和干旱胁迫时常发生,种子萌发阶段如何适应这种胁迫将关系到种群的延续^[20]。我们对小拟南芥种子进行盐和干旱胁迫时发现,随着外部胁迫程度的增加,种子萌发率显著下降,但去除胁迫后(复水),未萌发种子又有部分可以萌发,这表明未萌发种子仍保持活性等待适宜条件的到来。通常在小拟南芥自然生境中的早春季节,由于融雪水和降雨集中,不存在干旱胁迫,同时也使土表相对含盐量降至较低水平^[21],小拟南芥长期适应这种环境,使其萌发期的耐盐和耐旱性显著低于生长后期^[22]。但偶尔出现于萌发期的盐和干旱胁迫也促使小拟南芥部分种子在不萌发的状态下仍然保持活性,避免了在适宜条件来临时由于种子不能萌发导致种群繁衍受抑制。

References :

[1] Wang Y. Phenological observation of the early spring ephemeral and ephemeroid plant in Xinjiang. *Arid Zone Research*, 1993, 10 (3): 34-39.
[2] Wu L, Zhang X, Wang S M. Study on Germination of *Eremurus indierensis*. *Seed*, 2005, 24 (7): 1-4.
[3] Pan W B, Huang P Y. The ecology of four ephemeral plants. *Acta Phytocologica Sinica*, 1995, 19 (1): 85-91.
[4] Koch M, Bishop J, Mithell-Olds T. Molecular systematics and evolution of *Arabidopsis* and *Arabis*. *Plant Biology*, 1999, 1: 529-537.

[5] Stepan S J. Phylogenetic analysis of phenotypic covariance structure I. Contrasting results from matrix correlation and common principal component analysis. *Evolution* ,1997 ,51 :571 — 586.

[6] Pigliucci M , Kolodyska A. Phenotypic plasticity and integration in response to flooded conditions in natural Accessions of *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh (Brassicaceae). *Ann Bot* ,2002 ,90 :1 — 9.

[7] Sultan S E. Phenotypic plasticity in plants : a case study in ecological development. *Evolution & Development* ,2003 ,5 (1) :25 — 33.

[8] Liu T , Li X Y , Xiang Q B , *et al.* Study on Variation and Covariation Pattern of Seedling Nutrient Concentrations within and between Populations of *Arabidopsis pumila*. *Journal of Wuhan Botanical Research* ,2004 ,22 (3) 251 — 258.

[9] Zhu X X ,Gao J F ,Zhu J B , *et al.* Cloning and nucleotide sequencing of the chitinase gene from *Arabidopsis pumila*. *Biotechnology* 2004 ,14 (5) :10 — 13.

[10] Cui B M , Li Y X , Yue J H , *et al.* Cloning and analysis of a putative *COR15a* gene in *Arabidopsis pumila* var. *pumila*. *Journal of Shihezi University* (Nat. Sci.) 2003 ,7 (2) 87 — 89.

[11] Luo C , Liu T , Wei P , *et al.* A study on phenotypic plasticity of *Arabidopsis pumila* in Xinjiangin different light conditions. *Journal of Shihazi University* (Nat. Sci.) 2004 ,22 (4) :149 — 153.

[12] Zhang X , Wang S M , Fan X W , *et al.* Effects with Varies Treatments on the Seed Germination of *Arabidopsis Pumila*. *Seed* ,2003 , (4) :10 — 11.

[13] Imbert E. Ecological consequences and ontogeny of seed heteromorphism. *Perspectives in Plant Ecology , Evolution and Systematics* ,2002 ,5 :13 — 36.

[14] Mao Z M , Zhang D M. The Conspectus of Ephemeral Flora in Northern Xinjiang. *Arid Zone Research* ,1994 ,11 (3) :1 — 26.

[15] Mijit H , Xu J , Claves Plantarum Xinjiang Gensis. Urumqi :Publishing House Xinjiang University ,2000. 167.

[16] Baskin C C , Baskin J M. Ecological evolutionary aspects of seed dormancy , meaning germination studies and Biogeographical and In :Baskin C C and Baskin J M eds. *Seed , ecology , biogeography and evolution of dormancy and germination*. San Diego : Academic Press ,1998. 27 — 574.

[17] Venable D L , Levin D A. Ecology of achene dimorphism in *Heterotheca latifolia* I. Achene structure , germination and dispersal. *Journal of Ecology* ,1985 ,73 :113 — 145.

[18] McEvoy P B. Dormancy and dispersal in dimorphic achenes of tansy ragwort ,*Senecio jacobaea* L. (Compositae). *Oecologia* (Berlin) ,1984 ,61 :160 — 168.

[19] Yu Q L , Wu B Y. Effects of GA3 ,H₂O₂ treatment on the activity of deteriorative seeds of 3 kinds of vegetables. *Seed* ,2003 , (5) :72 — 74.

[20] Huang P Y. An unnoticed desertification dynamic and its countermeasure. *Research of Soil and Water Conservation* ,2005 ,12 (5) :101 — 103.

[21] Pan W B , Huang P Y. The ecology of four ephemeral plants. *Environmental Protection of Xinjiang* ,1991 ,13 (3) 22 — 27.

[22] Zhang H B , Liu P , Liu L H , *et al.* Preliminary Study on Salt Tolerance of Ephemeral Plant *Arabidopsis pumila* in Xinjiang. *Acta Bot. Boreal. - Occident. Sin.* ,2007 ,27 (2) 286 — 290.

参考文献：

[1] 王焯. 新疆早春短命及类短命植物的物候观测. *干旱区研究* ,1993 ,10 (3) :34 ~ 39.

[2] 吴玲 ,张霞 ,王绍明. 粗柄独尾草种子萌发特性的研究. *种子* 2005 ,24 (7) :1 ~ 4.

[3] 潘伟斌 ,黄培佑. 四种短命植物若干生物学生态学特性的研究. *植物生态学报* ,1995 ,19 (1) :85 ~ 91.

[8] 刘彤 ,李学禹 ,向其柏 ,等. 种群内和种群间小拟南芥植株营养含量的变化及协变格局研究. *武汉植物研究* ,2004 ,22 (3) :51 ~ 258.

[9] 朱新霞 ,高剑峰 ,祝建波 ,等. 小拟南芥 Chitinase 基因的克隆与核苷酸序列分析. *生物技术* ,2004 ,14 (5) :10 ~ 13.

[10] 崔百明 ,李予霞 ,乐锦华 ,等. 小拟南芥 *COR15a* 基因的克隆及序列分析. *石河子大学学报* ,2003 ,7 (2) 87 ~ 89.

[11] 骆柳 ,刘彤 ,魏鹏 ,等. 不同光照条件下新疆小拟南芥 (*Arabidopsis Pumila*) 的表型可塑性研究. *石河子大学学报* ,2004 ,22 (4) :149 ~ 153.

[12] 张霞 ,王绍明 ,樊宪伟 ,等. 不同处理对小拟南芥种子萌发的影响. *种子* ,2003 , (4) :10 ~ 11.

[14] 毛祖美 ,张佃民. 新疆北部早春短命植物区系纲要. *干旱区研究* ,1994 ,11 (3) :1 ~ 26.

[15] 米吉提 · 胡达拜尔地 ,徐建国编著. *新疆高等植物检索表*. 乌鲁木齐 :新疆大学出版社 ,2000. 167.

[19] 于泉林 ,武宝悦. GA₃ ,H₂O₂ 处理对三种蔬菜劣变种子活力的影响. *种子* ,2003 , (5) :72 ~ 74.

[20] 黄培佑. 一个未受关注的荒漠化机制与对应措施. *水土保持研究* ,2005 ,12 (5) :101 ~ 103.

[21] 潘伟斌 ,黄培佑. 四种短命植物若干生态学特性的研究. *新疆环境保护* ,1991 ,13 (3) 22 ~ 27.

[22] 张海波 ,刘彭 ,刘立鸿 ,等. 新疆短命植物小拟南芥耐盐性的初步研究. *西北植物学报* 2007 ,27 (2) 286 ~ 290.