

不同处理对无叶假木贼种子萌发的影响

王婷婷,楚光明,江萍,牛攀新,王梅*

(石河子大学 农学院,新疆 石河子 832000)

摘要:研究了对温度、盐分、干旱胁迫和果翅对无叶假木贼种子萌发的影响。结果表明,无叶假木贼种子在不同温度梯度下均有较高的萌发率,这说明低温仅仅抑制了无叶假木贼种子的萌发速率,但并不影响种子的最终萌发率。随着盐分浓度的增高,种子的萌发率降低,在 $>12\text{ g/L}$ 的NaCl溶液中种子的萌发率显著下降,将在盐溶液中处理过未萌发的种子用蒸馏水冲洗后,萌发恢复率较高。随着PEG溶液浓度的增加,无叶假木贼种子萌发率显著降低,复水后种子萌发率恢复正常,说明高浓度的PEG溶液对无叶假木贼种子萌发具有抑制作用。具翅种子的萌发率较低,表明果翅对种子的萌发有抑制作用,去除果翅可以促进种子的萌发。该研究对减缓荒漠化,改善生态环境具有重要意义。

关键词:无叶假木贼;温度;盐分;干旱胁迫;果翅;萌发

中图分类号:S722.14 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2017)05-0125-05

Influences of Different Treatments on the Germination of *Anabasis aphylla* Seeds

WANG Ting-ting, CHU Guang-ming, JIANG Ping, NIU Pan-xin, WANG Mei*

(Agricultural College, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

Abstract: Influences of temperature, salinity, drought and winged perianths on the germination of *Anabasis aphylla* seeds were examined. The results showed that the seeds could germinate in different temperatures set in the study, indicating that low temperature only inhibited the seed germination but had no effect on the final germination rate. The germination percentage decreased with the increase of NaCl concentration, the germination decreased significantly when the concentration of NaCl solution was higher than 12 g/L. When the incubated seeds treated in NaCl solution were transferred to distilled water, the recovery rate of the germination was high. With the increase of PEG concentration, seed germination rate decreased significantly, after the water recovery test, the seed germination rate returned to normal, indicating that high concentration of PEG solution inhibited the seed germination. Wing perianths exhibited mechanical inhibition on seed germination.

Key words: *Anabasis aphylla*; temperature; salinity; drought; winged perianth; germination

无叶假木贼(*Anabasis aphylla*)隶属于藜科,主要分布在欧洲、中亚及苏联西西伯利亚^[1]。我国主要分布于蒙古西部、宁夏、甘肃西部及新疆等地。在新疆主要集中分布于阜康荒漠靠近山麓的冲洪积区和准噶尔盆地南缘的荒漠中,常形成大面积的假木贼群落,是荒漠植被的主要建群种和优势种。无

叶假木贼具良好的防风固沙效果,同时假木贼属植物又是良好的牧草和药用植物,对新疆荒漠的改造及生产建设都有重要作用^[2]。无叶假木贼分布区内气候干旱,土层较为贫瘠,而其具有抗逆性强、耐干旱盐碱等特点,因此在龟裂改造和荒漠植被演替中有重要作用^[3]。但目前对无叶假木贼的报道较少,

收稿日期:2016-11-11 修回日期:2017-04-06

基金项目:国家自然科学基金(31360170,31570595);石河子大学高层次人才项目(RCZX201518)。

作者简介:王婷婷,女,在读硕士,研究方向:森林生态与可持续经营。E-mail:18703085253@163.com

*通信作者:王梅,女,副教授,博士,研究方向:森林生态与保护生物学。E-mail:wangm1205@163.com

主要涉及区系及地理分布,形态学特征,生态学特性和化学药理方面的研究^[4]等几个方面。

在植物的生活史中,种子萌发是一个关键阶段,而且具有极大的不可预测性^[5]。在这个阶段,诸如盐分、水分、温度、光照和果翅等一些因素调节种子的休眠和萌发,在时间和空间上也影响着幼苗的建立^[5-6]。在萌发试验中,温度和盐分是两个重要的因素,决定着种子萌发的时间和地点^[7]。干旱胁迫和果翅也是影响植物生长发育的主要非生物胁迫因素^[8-9]。有研究表明^[10],轻度的干旱胁迫对荒漠植物种子的萌发具有一定的促进作用;果翅可以有效地抑制高枝假木贼种子萌发,而将果翅移除后可以促进萌发^[2]。此外,Wei^[11]等还发现紫翅猪毛菜(*Salsola affinis*)3种类型的果翅均在不同程度上影响种子萌发。本研究针对准噶尔盆地南缘木本荒漠植物无叶假木贼种子开展萌发特性研究,主要就温度、盐分、干旱胁迫和果翅4个因素对种子萌发的影响进行了试验及探讨,这不仅有助于揭示环境因子对无叶假木贼种子萌发的影响,而且阐明了无叶假木贼种子对荒漠环境的适应对策,为准噶尔荒漠区植被恢复与重建提供科学依据。

1 材料与方法

于2013年10月在准噶尔盆地南缘的克拉玛依农业开发区自然种群中采集成熟的无叶假木贼种子,于室温下贮藏。2014年3月进行种子萌发试验,每组30粒种子、设3个重复。将种子放入直径为90 mm垫有2层滤纸的培养皿中,加入10 mL蒸馏水,在光照度为3 000 lx的光照培养箱中培养,每隔4 h观测1次,持续观测10 d,观测时培养皿湿度以两层滤纸正好完全被蒸馏水浸湿为标准,种子的萌发以胚根的出现为标志。

1.1 种子在不同温度下的萌发

在培养箱中,将无叶假木贼种子分别置于30℃/15℃,25℃/15℃,20℃/10℃,15℃/5℃,5℃/2℃(光照/黑暗=12 h/12 h)5个温度下进行萌发,分别测定其萌发率。

1.2 种子在不同NaCl浓度处理下的萌发

在20℃/10℃下,将无叶假木贼种子置于浓度分别为0、2、4、6、8、12、16、20、24、30、36 g/L NaCl溶液培养皿中。在适宜的温周期(光照/黑暗=12 h/12 h)条件下进行萌发。4 d后,对未萌发的种子进行复水处理(将未萌发的种子用蒸馏水进行反复冲洗)后继续培养6 d,观察种子在不同盐处理情况下的萌发恢复情况,记录并计算种子的萌发恢复率。

1.3 种子在不同干旱胁迫处理下的萌发

在20℃/10℃下,采用模拟干旱的PEG-6000溶液,溶液的渗透势为0、-0.3、-0.6、-0.9、-1.2、-1.5、-1.8、-2.1、-2.4、-2.7、-3.0 MPa。将2张用不同渗透势的PEG-6000溶液浸湿的滤纸放入各处理培养皿中,然后摆入种子。在适宜的温周期(黑暗/光照=12 h/12 h)条件下进行萌发。4 d后,对未萌发的种子进行复水试验继续培养6 d,观察种子在不同干旱处理条件下的萌发恢复情况,记录并计算种子的萌发恢复率。

1.4 果翅对种子萌发的影响

在20℃/10℃条件下,将无叶假木贼具翅种子,去翅种子和种翅分离种子(将果翅与种子分离)分别放入培养皿中萌发,观察并记录种子的萌发情况,计算其萌发率。

1.5 数据统计和分析

种子萌发过程中每4 h检测记录1次,并将已萌发的幼苗移走,萌发结果以百分率±标准误差表示。试验数据分析采用Excel 2007和SPSS 18.0软件,绘图采用ORIGIN 8.0软件。

2 结果与分析

2.1 温度对无叶假木贼种子萌发的影响

通过10 d的培养发现,随着时间变化无叶假木贼种子的萌发率总体呈增长趋势(图1,表1)。在温度为5℃/2℃时,无叶假木贼种子发芽率在0~12 h内为0,12~48 h内缓慢增加,48~144 h内迅速增加,随后达到最大发芽率98.3%不再变化。温度为15℃/5℃时,在0~8 h内,无叶假木贼种子发芽率为0,8~48 h内萌发率迅速增加到84.2%,在第3天时种子萌发率达到最大值95%不再变化。20℃/10℃时无叶假木贼种子在0~8 h内增长较为缓慢,随后出现迅速增长。在温度为25℃/15℃时,无叶假木贼种子发芽率迅速增加,在56 h时达到萌发最大值98.3%。在30℃/15℃时,无叶假木贼种子迅速萌发,4 d时达到最大值不再变化(图1)。由此可知,低温仅仅延迟了无叶假木贼种子萌发的时间,但是对最终的萌发率没有影响,无叶假木贼种子在各个温度梯度下均能萌发。在5℃/2℃,15℃/5℃,20℃/10℃,25℃/15℃,30℃/15℃(光/暗=12 h/12 h)5个温度下,无叶假木贼种子的萌发率差异不显著(表1)。

2.2 NaCl溶液处理对无叶假木贼种子萌发的影响

无叶假木贼种子的萌发率与NaCl浓度整体呈反比,即随着NaCl浓度的增加,无叶假木贼种子的萌发率逐渐降低(图2,表2)。NaCl浓度低于12 g/

L时,无叶假木贼种子的萌发率均在95%以上,且萌发速度较快。当NaCl浓度高于12 g/L时,无叶假木贼种子的萌发率呈显著下降趋势。当NaCl浓度高于30 g/L时,无叶假木贼种子在第1天不萌发,第2天开始缓慢萌发。4 d后,将未萌发的无叶假木贼种子进行复水试验处理后,种子迅速萌发且萌发恢复率较高,最终发芽率均达到90%以上(图2)。说明高浓度的NaCl盐溶液抑制了种子萌发。

无叶假木贼种子的萌发率在高于30 g/L的NaCl溶液中和低于30 g/L的NaCl溶液之间具有显著性差异,而在复水试验后,各浓度NaCl溶液对无叶假木贼种子萌发率的影响不显著(表2)。

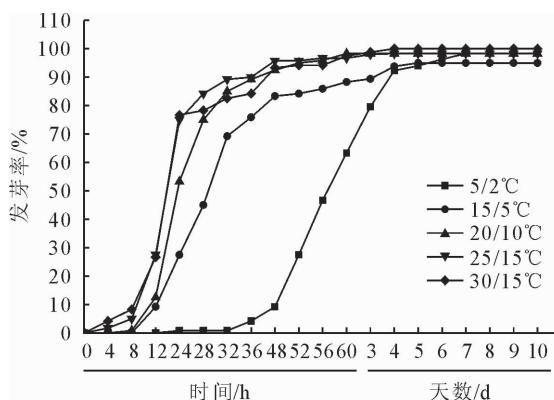


图1 无叶假木贼种子在不同温度下的萌发率

Fig. 1 The germination rate of *A. aphylla* seeds at different temperatures

表1 无叶假木贼种子在不同温度下的萌发率

Table 1 The germination rate of *A. aphylla* seeds at different temperatures

温度	发芽率/% ±土标准差	显著性差异($P<0.05$)
30/15°C	100.00±0	a
25/15°C	98.33±1.68	a
20/10°C	98.33±1.68	a
15/5°C	95.00±2.16	a
5/2°C	98.33±1.68	a

表2 NaCl处理对无叶假木贼种子萌发率的影响

Table 2 Effects of NaCl treatment on the germination rate of *A. aphylla* seeds

NaCl 浓度 ($g \cdot L^{-1}$)	复水前 发芽率/% ±土标准差	显著性 差异 ($P<0.05$)	复水后 发芽率/% ±土标准差	显著性 差异 ($P<0.05$)
0	97.78±2.22	a	97.78±2.22	a
2	98.89±1.11	a	98.89±1.11	a
4	98.89±1.11	a	98.89±1.11	a
6	100.00±0	a	100.00±0	a
8	96.67±1.93	a	98.89±1.11	a
12	98.89±1.11	a	98.89±1.11	a
16	98.89±1.11	a	98.89±1.11	a
20	95.56±2.94	a	97.78±2.22	a
24	90.00±5.09	a	100.00±0	a
30	34.45±17.78	b	98.89±1.11	a
36	31.11±6.19	b	94.45±4.01	a

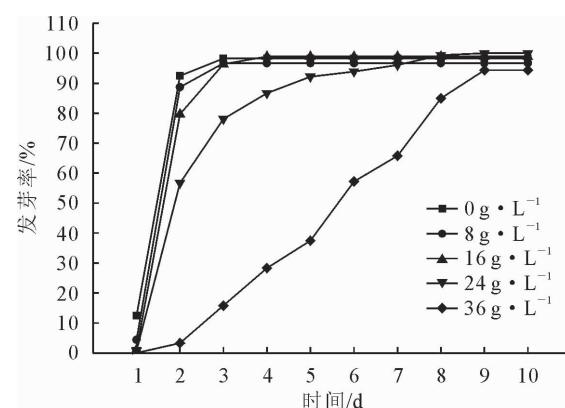


图2 NaCl处理对无叶假木贼种子萌发率的影响

Fig. 2 Effects of NaCl treatment on the germination rate of *A. aphylla* seeds

2.3 干旱胁迫对无叶假木贼种子萌发的影响

无叶假木贼种子在不同渗透势的PEG-6000溶液中的萌发率也不相同,并且随着干旱胁迫强度的增强种子萌发率显著降低。在PEG-6000溶液渗透势为0、-0.3、-0.6、-0.9、-1.2 MPa时,无叶假木贼种子在1~4 d内迅速萌发,随后种子萌发率缓慢增长最终达到稳定值不再变化。在PEG-6000溶液渗透势为-1.5、-1.8、-2.1、-2.4 MPa时,无叶假木贼种子在1~4 d内发芽率较低,在-2.7 MPa、-3.0 MPa时的萌发率为0。4 d后,将未萌发的种子进行复水试验,不同渗透势的PEG-6000下种子都有恢复萌发的能力。在PEG-6000溶液渗透势较低的条件下,种子萌发率恢复且迅速增加(图3)。

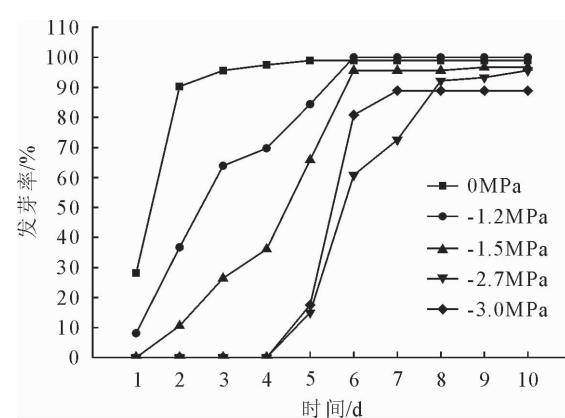


图3 PEG-6000处理对无叶假木贼种子萌发率的影响

Fig. 3 Effects of PEG-6000 treatment on the germination rate of *A. aphylla* seeds

在复水试验处理前,不同渗透势的PEG-6000溶液下种子发芽率不同;在0~-0.9 MPa时,无叶假木贼种子的发芽率之间无显著性差异;当PEG-6000溶液渗透势>-2.1 MPa时,无叶假木贼种子萌发率之间差异不显著。解除干旱胁迫后,不同渗透势的PEG-6000溶液下种子萌发率恢复且迅速增加。

透势处理的无叶假木贼种子的萌发率差异显著,说明干旱胁迫会抑制无叶假木贼种子的萌发(表3)。

表3 PEG-6000 处理对无叶假木贼种子萌发率的影响

Table 3 Effects of PEG-6000 treatment on the germination rate of *A. aphylla* seeds

渗透势 /MPa	复水前 发芽率/%	显著性 差异 土标准差 (P<0.05)	复水后 发芽率/%	显著性 差异 土标准差 (P<0.05)
0	98.89±1.11	a	98.89±1.11	ab
-0.3	97.78±2.22	a	97.78±2.22	abc
-0.6	97.78±1.11	a	98.89±1.11	ab
-0.9	93.33±1.92	a	97.78±1.11	abc
-1.2	72.22±5.88	b	100.00±0	a
-1.5	41.11±8.68	c	96.67±1.92	abc
-1.8	13.33±5.09	d	90.00±3.85	bc
-2.1	1.11±1.11	e	93.33±3.33	abc
-2.4	1.11±1.11	e	91.11±2.94	abc
-2.7	0±0	e	95.56±2.94	abc
-3.0	0±0	e	88.89±5.56	c

2.4 果翅对无叶假木贼种子萌发的影响

在20℃/10℃温度条件下,具翅种子的萌发率最低,与去除果翅的种子相比有显著性差异。将果翅与种子剥离,一起放入培养皿中萌发10 d后,种子的萌发率低于去翅种子,但差异不显著;去翅种子比具翅种子提早2 d达到最高萌发率。由此可见,去除果翅能促进无叶假木贼种子萌发(图4,表4)。

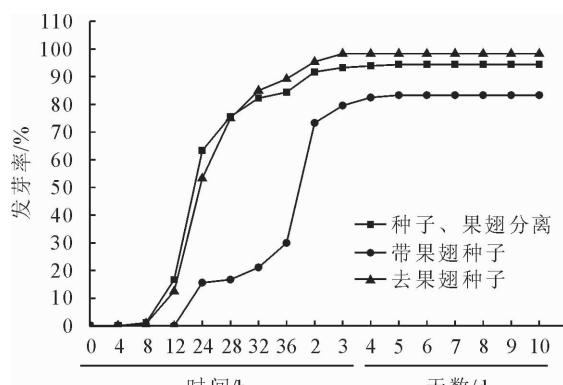


图4 果翅对无叶假木贼种子萌发率的影响

Fig. 4 Effects of winged perianths on the germination rate of *A. aphylla* seeds

表4 果翅对无叶假木贼种子萌发的影响

Table 4 Effects of winged perianths on the seed germination of *A. aphylla*

果翅情况	发芽率/%土标准差	显著性差异(P<0.05)
去翅种子	100±0	a
翅+种子	94.43±5.57	ab
具翅种子	83.33±4.41	b

3 结论与讨论

布的重要因素。不同的植物均具有适宜本物种种子萌发的温度范围,这与植物自身特性及所处生境密切相关^[12]。喜温的荒漠植物种子适宜的温度通常是15~25℃^[13],而在本研究中无叶假木贼种子的萌发率在25℃/15℃的常温下却不是最高的,当温度为30℃/15℃时,种子最终全部萌发。在5℃/2℃条件下,无叶假木贼种子在最初48 h内萌发率较低,而10 d后萌发率则骤然升至98.3%,说明低温仅仅延迟了无叶假木贼种子的萌发时间,但并不影响无叶假木贼种子的最终萌发率。这与不同温度对沙棘种子萌发的影响结果不一致^[14],但与假木贼属的高枝假木贼种子萌发结果相一致^[15],因此我们认为无叶假木贼种子具有更强的抗寒性,对于荒漠地区早春的低温有更强的适应能力。

在植物生命周期的关键阶段,种子的萌发和耐盐能力通常影响着植物种群的分布范围^[16]。土壤中过多的盐分会抑制矿质营养和水分的吸收,从而导致植物体内有毒离子的积累。有研究认为:在受到盐胁迫时盐生植物种子会发生休眠,在环境适宜的条件下再萌发,这样能使植物避免受到高浓度盐胁迫而致死,从而完成其生活史^[5]。在本文的研究中,无叶假木贼种子在低浓度的NaCl溶液中具有较高的萌发率,说明低浓度的盐溶液对无叶假木贼种子的萌发并没有起到抑制作用,而在高盐的条件下无叶假木贼种子也没有失去活力,因为在36 g/L的NaCl溶液中萌发率很低的无叶假木贼种子在恢复萌发试验中的最终萌发率较高。因此,当土壤中的盐分浓度降低到一定程度时种子萌发才发生,这也是种子对盐生环境的适应策略^[17],这与杨景宁^[18]、段德玉^[19]、伊丽米努尔^[20]等的研究结果相一致。韩建欣^[21]的研究结果表明,将在盐溶液中培养的高枝假木贼种子转移至蒸馏水后,种子的萌发恢复率都不高。而在本试验中,将各浓度盐溶液中未萌发的无叶假木贼种子经蒸馏水冲洗后,种子的萌发恢复率均较高,说明不同种的假木贼对盐胁迫的适应能力也不同。由此我们认为,无叶假木贼对准噶尔盆地荒漠环境的适应对策为种子延迟萌发直到融雪水或者降雨之后,并在土壤盐分降低的情况下恢复萌发。

干旱是严重威胁植物存活率及植被演替的非生物胁迫因素之一,水分的缺失是造成干旱的主要原因。对准噶尔盆地的荒漠植物来说,在早春种子萌发所需的水分条件是通过土壤传导的,融雪水和春季降雨满足了荒漠植物种子萌发的这一需求。但是,由于准噶尔盆地极高的蒸发量,在短暂的降雨和融雪之后土壤会迅速变干,荒漠植物种子将要经历

温度是影响种子萌发、植物生长发育及空间分

一段很长时间的干旱期。干旱荒漠环境对植物种子萌发和生长来说是一种严峻的考验,因此荒漠植物需要通过产生不同的生活史策略来增强其适应性^[21]。不同渗透势的 PEG-6000 胁迫对无叶假木贼种子萌发的影响不同,随着干旱胁迫的增加无叶假木贼种子的萌发速率整体呈下降趋势,这与已报道的许多研究结果相一致^[22-25]。本试验的研究中,在第 1 天时无叶假木贼种子在 0~−1.2 MPa 渗透势条件下全部萌发,说明轻度干旱的环境对无叶假木贼种子的萌发没有抑制作用。PEG-6000 溶液渗透势为 −3 MPa 时,无叶假木贼种子前 4 d 的萌发率为 0,第 4 天复水处理后,干旱胁迫被解除,种子的萌发率恢复较快且萌发率较高,不会因为水分的暂时缺少而使种子失去活力,这说明荒漠植物在长期的演化过程中对适应严酷生境有独特的萌发对策^[26]。可见无叶假木贼种子在干旱胁迫程度较轻时的萌发率较高且萌发速度快,在重度干旱胁迫时萌发率较低或不萌发,但在恢复萌发试验后种子的萌发率也较高,表明无叶假木贼种子具有很强的萌发抗旱性,这种特性与荒漠区干旱的气候相适应。

大多数荒漠植物成熟的繁殖体通过发育良好的果翅可以传播相当远的距离^[9]。然而,在野外带果翅的种子有休眠特性,导致秋季或第一场雪期间很难萌发。在本研究中,带果翅的无叶假木贼种子萌发率在最初的 12 h 内为 0,10 d 后的萌发率为 83.3%,然而果翅和种子分离处理的种子最终萌发率达到 94.4%,裸子的萌发率达到 98.3%。一方面,这些结果表明果翅里含有抑制种子萌发的抑制物;另一方面,我们认为果翅形成了一种机械障碍不利于种子吸收水分。一些研究表明^[27],滨藜属植物形成的果实的小苞片结构控制着种子萌发的时间,一年生植物戟叶滨藜(*Atriplex prostrata*)的小苞片可以在秋季限制种子的萌发。种子的小苞片含有较高的盐离子抑制种子萌发,可以阻止种子在不良的环境条件期间的不成功的萌发和建立,保护物种延续^[28-29]。研究表明,无叶假木贼的果翅和戟叶滨藜果实小苞片具有相似的功能。无叶假木贼的果翅对种子萌发也有机械障碍上的影响,在小雨量降水期间尤其是初冬阻碍种子的无效萌发。然而,种子的果翅在冬末和早春一直被融雪水浸润,导致果翅和种子分离或果翅腐烂以及抑制物被稀释。由此认为,无叶假木贼种子在融雪水的条件下可以克服机械障碍和解除抑制物从而萌发。通过这种途径,使得无叶假木贼种子能够在早春的融雪机制下快速萌发。

参考文献:

- [1] 新疆植物志编辑委员会.新疆植物志(第 2 卷.第 1 分册) [M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1994.
- [2] 韩建欣,魏岩,严成.果翅和盐分对高枝假木贼种子萌发的影响 [J].新疆农业大学学报,2011,34(1):12-15.
HAN J X,WEI Y,YAN C. Influences of wings and salinity on the germination of the seeds of *Anabasis elatior*[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University,2011,34(1):12-15. (in Chinese)
- [3] 楚光明,宋于洋,庄丽,等.温度·光照和盐分对无叶假木贼种子萌发的影响 [J].安徽农业科学,2009,37(11):5201-5203.
- [4] 楚光明,李卫红,庄丽,等.假木贼属植物研究进展 [J].湖北农业科学,2009,48(4):996-999.
- [5] TLIG T,GORIA M,NEFFATI M. Germination responses of *Diplotaxis harra* to temperature and salinity [J]. FLORA. 2008,203(5):421-428.
- [6] BASKIN J M,BASKIN C C. A classification system for seed dormancy [Review][J]. Seed Science Research,2004,14(1):1-16.
- [7] KHAN M A,UNGAR I A. Seed germination and dormancy of *Polygonum aviculare* L. as influenced by salinity, temperature, and gibberellic acid [J]. Seed Science and Technology, 1998,26(1):107-117.
- [8] 周平,黄俊华.果翅、盐分及干旱胁迫对白梭梭种子萌发的影响 [J].防护林科技,2012,5(3):9-13.
- [9] WEI Y,DONG M,HUANG Z Y. Factors influencing seed germination of *Salsola affinis* (Chenopodiaceae), a dominant annual halophyte inhabiting the deserts of Xinjiang, China [J]. FLORA,2008,203(2):134-140.
- [10] 杨景宁,王彦荣.PEG 模拟干旱胁迫对四种荒漠植物种子萌发的影响 [J].草业学报,2012,21(6):23-29.
YANG J N,WANG Y R. Effects of drought stress simulated by PEG on seed germination of four desert plant species[J]. Acta Prataculturae Sinica,2012,21(6):23-29. (in Chinese)
- [11] WEI Y,DONG M,HUANG Z Y. Seed polymorphism, dormancy and germination of *Salsola affinis* (Chenopodiaceae), a dominant desert annual inhabiting the Junggar Basin of Xinjiang, China [J]. Australian Journal of Botany. 2007,55(4):464-470.
- [12] 牛红彬,关文灵,李世峰,等.光照和温度对毛茛铁线莲种子萌发的影响 [J].亚热带植物科学,2013,42(1):43-45.
- [13] 赵晓英,任继周,王彦荣,等.3 种锦鸡儿种子萌发对温度和水分的响应 [J].西北植物学报,2005,25(2):211-217.
ZHAO X Y,REN J Z,WANG Y R, et al. Germination responses to temperature and moisture in seed from three species of *Caragana*[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Siniaca,2005,25(2):211-217. (in Chinese)
- [14] 张鹏,何梦雅,张宇.温度与浸种处理对沙棘种子萌发的影响 [J].西北林学院学报,2015,3(6):130-133.
ZHANG P,HE M Y,ZHANG Y. Effects of temperature and soaking treatments on seed germination of *Hippophae rhamnoides*[J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,3(6):130-133. (in Chinese)

- [7] 何建伟.环保型沙生灌木型材制备工艺研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2011.
- [8] 吴向文,赵智强,王喜明,等.竹柳材化学性质及其变异性研究[J].西北林学院学报,2016,31(2):239-243.
- WU X W,ZHAO Z Q,WANG X M,*et al*. Chemical properties and variations of salix discolor[J]. Journal of Northwest Forestry University,2016,31(2):239-243. (in Chinese)
- [9] 尹恩慈.木材学[M].北京.中国林业出版社,1996.
- [10] 张静文,王华忠,马乃训,等.刚竹属部分竹材纤维形态与主要理化性状[J].林业科学研究,1995(1):54-61.
- [11] 赵砾.湿法硬质纤维板常用灌木及阔叶乔木原料的综合分析[J].林产工业,1991(2):38-40.
- [12] 杨淑敏,江泽慧,任海青.青皮竹研究进展及展望[J].竹子研究汇刊,2007,26(1):15-19,26.
- YANG S M,JIANG Z H,RAN H Q. Advances in the study of bambusa textiles[J]. Journal of Bamboo Research,2007,26 (1):15-19,26. (in Chinese)
- [13] 郭起荣,杨光耀,陈伏生,等.厚皮毛竹纤维形态研究[J].江西农业大学学报,1999(2):83-85.
- GUO Q R,YANG G Y,CHEN F S,*et al*. The fiber morphology
- of *Phyllostachy heterocycla* cv. *pachyloen*[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*,1999(2):83-85. (in Chinese)
- [14] 许凤,JONES-Gwynn L L,孙润仓.速生灌木沙柳的纤维形态及解剖结构研究[J].林产化学与工业,2006,26(1):91-94.
- [15] 周宇,赵丽清,韩望,等.沙柳材在碳酸乙烯酯中液化的动力学研究[J].西北林学院学报,2016,31(4):269-274.
- ZHOU Y,ZHAO L Q,HAN W,*et al*. Kinetic study on the liquefaction of *Salix* in ethylene carbonate[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31 (4): 269-274. (in Chinese)
- [16] 杨淑惠,李友森,高扬.棉秆原料特性的分析研究[J].中国造纸,1989(2):21-29.
- [17] 张皎,华宁熙,王菊华.棉秆纤维形态和超微结构及果胶质分布的研究[J].中国造纸学报,1986(2):1-14.
- [18] 蔺焘,郭文静,高黎,等.棉秆的解剖特性及化学成分研究[J].西北林学院学报,2012,27(5):201-206.
- LIN T,GUO W J,GAO L,*et al*. Anatomical characteristics and chemical components of cotton stalk[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27 (5): 201-206. (in Chinese)

(上接第129页)

- [15] 韩建欣,魏岩,严成,等.高枝假木贼的胎生萌发特性及其生态适应[J].生态学报,2011,31(10):2662-2668.
- HAN J X,WEI Y,YAN C,*et al*. The vivipary characteristic of *Anabasis elatior* and its ecological adaptation[J]. *Acta Ecologica Sinica*,2011,31(10):2662-2668. (in Chinese)
- [16] UNGAR I A. Seed germination and seed-bank ecology of halophytes[M]//KIGEL J,GALILI G,eds. *Seed development and germination*. New York:Marcel Dekker,1995:599-627.
- [17] SONG J ,FENG G ,ZHANG F S. Salinity and temperature effects on germination for three salt-resistant Euhalophytes, *Halostachys caspica*, *Kalidium foliatum* and *Halocnemum strobilaceum*[J]. *Plant and Soil*,2006,279(1-2):201-207.
- [18] 杨景宁,王彦荣.NaCl胁迫对四种荒漠植物种子萌发的影响[J].草业学报,2012,21(5):32-38.
- YANG J N,WANG Y R. Effects of NaCl stress on seed germination of four desert plant species[J]. *Acta Prataculturae Sinica*,2012,21(5):32-38. (in Chinese)
- [19] 段德玉,刘小京,冯凤莲,等.不同盐分胁迫对盐地碱蓬种子萌发的效应[J].中国农学通报,2003,19(6):168-172.
- [20] 伊丽米努尔,艾力江·麦麦提,卓热木·塔西,等.NaCl胁迫下不同种源胡杨种子萌发特性[J].西北林学院学报,2015,30 (6):88-94.
- YILIMINUER,AILIJIANG M M T,ZHUOREMU T X,*et al*. Seed germination characteristics of *Populus euphratica* from different provenances under NaCl stress[J]. *Journal of Northwest Forestry University*,2015,30(6):88-94. (in Chinese)
- [21] GUTTERMAN,Y. Survival strategies of annual desert plants:adaptations of desert organisms[M]. Springer,Berlin,2002.
- [22] 宋雪梅,杨九艳,吕美婷,等.红砂种子萌发对盐胁迫及适度干旱的响应[J].中国沙漠,2012,32(6):1674-1680.
- SONG X M,YANG J Y,LV M T,*et al*. Responses of *Reaumuria soongorica* seed germination to salt stress and moderate drought[J]. *Journal of Desert Research*,2012,32 (6): 1674-1680. (in Chinese)
- [23] 何佳亮,董开茂,郑健,等.NaCl 和 PEG 胁迫对金露梅种子萌发及幼苗的影响[J].西北林学院学报,2014,29(4):123-126.
- HE J L,DONG K M,ZHENG J,*et al*. Effects of NaCl and PEG stress on seed germination and seedling growth of *Potentilla fruticosa*[J]. *Journal of Northwest Forestry University*,2014,29(4):123-126. (in Chinese)
- [24] SABERI M,CHALENO M R D,SARDO M S. Influence of salinity and temperature on germination of *Trifolium repens* [J]. *Modern Applied Science*,2012,6(9):1913-1852.
- [25] HAMEED A,AHMED M Z,GULZAR S,*et al*. Seed germination and recovery responses of *Suaeda heterophylla* to abiotic stresses[J]. *Pakistan Journal of Botany*,2013,45 (5): 1649-1656. (in Chinese)
- [26] 任珺,余方可,陶玲.荒漠植物种子逆境萌发研究进展[J].植物研究,2011,31(1):121-128.
- [27] UNGAR I A,KHAN M A. Effect of bracteoles on seed germination and dispersal of two species of *Atriplex*[J]. *Annals of Botany*,2001,87(2):233-239.
- [28] BEADLE N C W. Studies in *Halophytes*. I. the germination of the seed and establishment of the seedlings of five species of *Atriplex* in Australia[J]. *Ecology*,1952,33(1):49-62.
- [29] KOLLER D. Germination-regulating mechanisms in some desert seeds. IV. *Atriplex dimorphostegia* Kar. et Kir. [J]. *Ecology*,1957,38(1):1-13.