

温度、基质对泡泡刺种子萌发的影响*

李秋艳^{1**} 方海燕²

(¹中国科学院烟台海岸带可持续发展研究所, 山东烟台 264003; ²中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要 研究了温度、种子大小和基质对荒漠植物泡泡刺种子萌发的影响。结果表明: 无论是滤纸还是沙子基质上, 泡泡刺种子的萌发率、平均萌发时间和萌发率指数受温度的影响显著, 而受种子大小的影响不显著。在沙子处理中, 较高的萌发率发生在恒温 25 ~ 35 和变温 20 /30 , 10 时萌发率较低。平均萌发时间随着温度的上升而呈下降趋势。在滤纸和沙子基质中, 泡泡刺萌发的基本温度、最佳温度和最高温度分别为 9.0 、 25.3 、 45.2 和 4.8 、 34.1 、 45.0 。从 4.8 ~ 45 , 泡泡刺种子可萌发的热量范围广, 说明了泡泡刺定植的高度潜力。在荒漠生态系统恢复中, 这种特性可使泡泡刺成为较好的候选者。

关键词 泡泡刺; 萌发率指数; 温度; 基质; 荒漠植物

中图分类号 Q948.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2008)05-0723-06

Effects of temperature and substrate type on germination of *Nitraria sphaerocarpa*. LI Qiu-yan¹, FANG Hai-yan² (¹Yantai Institute of Coastal Zone Research for Sustainable Development, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, Shandong, China; ²Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(5): 723-728.

Abstract: This study examined the effects of temperature, seed size, and substrate type on the germination of *Nitraria sphaerocarpa*. The results showed that either on filter paper or on sand substrate, the germination percentage, mean germination time, and germination rate index of *N. sphaerocarpa* were significantly affected by temperature, but not by seed size. On sand substrate, the germination percentage was higher at constant temperature of 25 - 35 and alternating temperature of 20 /30 , but lower at 10 . The mean germination time was decreased with increasing temperature. On filter paper and sand substrate, the base temperature, optimum temperature, and maximum temperature of germination were 9.0 , 25.3 and 45.2 , and 4.8 , 34.1 and 45.0 , respectively. This extended temperature range for *N. sphaerocarpa* germination and the ability of *N. sphaerocarpa* to germinate rapidly suggested the high potential of *N. sphaerocarpa* to establish on sandy land.

Key words: *Nitraria sphaerocarpa*; germinate rate index; temperature; substrate; desert plant

植物种群不但在生长阶段具有动态特性, 在种子阶段也是如此, 而种子萌发是连接种子阶段和生长阶段、完成植物生活史的重要环节 (Moore & Chapman, 1986)。种子萌发及幼苗定植对植物种群发育具有重要作用。荒漠区严酷的生态条件, 使生长于该区的植物形成了独特的种子萌发特性 (韩建国, 1997)。种子萌发除主要受遗传因素控制外, 还受很多环境因子的影响。当植物萌发和生长的水分

条件适宜时, 土壤温度、土壤深度、基质类型等将是重要的可考虑的条件 (Baskin & Baskin, 1998)。

种子萌发对光温条件的不同反应, 是植物在长期进化过程中对生存环境条件所产生的生态适应性 (曾彦军等, 2000)。在风沙环境中, 不同灌木种子的萌发对温度具有不同的要求。一般温带植物种子萌发适宜温度条件为 15 ~ 25 , 但因植物种不同而呈现一定的变化。红砂 (*Reaumuria soongorica*)、猫头刺 (*Oxytropis aciphylla*)、旱生植物梭梭 (*Haloxylon ammodendron*) 和小叶锦鸡儿 (*Caragana microphylla*) 种子萌发的最佳温度为恒温 25 (郑

* 国家重点基础研究发展计划项目 (2007CB407207) 和中国科学院烟台海岸带可持续发展研究所前沿领域资助项目 (hg065007)。

** 通讯作者 E-mail: qyli@yc.ac.cn

收稿日期: 2007-07-24 接受日期: 2008-01-09

光华等, 1990), 结缕草 (*Zoysia japonica*) 种子萌发的最佳温度为变温 15 /35 或 20 /35 (王彦荣等, 1996), 地肤 (*Kochia scoparia*) 的最佳温度为 24 (Al-Ahmadi & Kafi, 2007)。

种子萌发率与温度的关系因植物种类不同而不同。肉质植物仙人掌 (*Neobuxbaumia tetetzo*) 种子 60% ~ 80% 的萌发率发生在 20 ~ 25 , 但在极端温度 10 和 40 时, 萌发率分别降至 10% ~ 40% 和 5% ~ 25% (Rojas-Aréhiga *et al*, 1998)。在北美沙漠中, McDonough (1964) 发现树形仙人掌 (*Camegeia gigantean*) 超过 90% 的萌发率发生在 25 , 而在 15 时未有萌发现象。伊比利亚岛上几种植物的种子在较低温度 (大约 15) 下萌发较快, 而温度高于 20 时萌发速度减慢或停止萌发 (Escudero *et al*, 1997)。变温条件下, 黄蒿 (*Artemisia scoparia*) 种子萌发率仅为 54%, 而乌丹蒿 (*A. wudanica*)、万年蒿 (*A. sacronum*)、大籽蒿 (*A. sieversiana*) 和冷蒿 (*A. frigida*) 的萌发率超过 90% (李雪华等, 2004)。干旱区的几种植物在变温条件下的萌发率高于恒温条件下的萌发率 (Mahmoud *et al*, 1983; 1984), 但是仙人掌种子的最大萌发率发生在大约 20 ~ 30 的恒温条件下 (Rojas-Aréhiga *et al*, 1998; Rojas-Aréhiga & Víquez-Yanes, 2000)。种子的适宜萌发温度是与其具体生境的降水或土壤水分密切相关的。黄振英等 (2001) 研究了梭梭种子萌发的最佳温度为 10 。梭梭种子在 10 月份成熟, 此时已经进入寒冷季节, 因此, 只有等到次年融雪期间才开始萌发生长, 而那时的土壤含水量和温度适于种子的萌发。

种子萌发具有一定的温度范围。耐旱植物地肤萌发的基本温度是 3.5 , 最高温度为 50 , 而最佳温度为 24 (Al-Ahmadi & Kafi, 2007)。绿豌豆 (*Pisum sativum*) 萌发的基本温度是 0 , 最高温度为 40 , 而最佳温度为 29 (Olivier & Annandale, 1998)。种子在较大温度范围上萌发的特性具有重要的意义。在人工选育植物时, 不同温度条件下萌发的特性可使其成为较好的候选者。

种子萌发对不同基质的反应, 在一定程度上表明种子萌发对土壤基质与沙埋深度的适应性, 适宜基质也是种子发芽试验基本条件之一。曾彦军等 (2000) 的实验表明, 红砂种子在纸上、纸间和沙子上发芽良好, 在沙中发芽率显著降低; 猫头刺种子在纸上、纸间和沙子上、沙中的发芽均良好。表明, 红

砂种子可能属浅表层发芽类型, 猫头刺种子对土壤埋深适应较广, 有一定的破土出苗能力。关于泡泡刺种子萌发对不同基质的响应还未有见报道。

本文研究了泡泡刺种子萌发对不同温度和基质的响应, 计算了萌发率、平均萌发时间、萌发率指数和影响萌发的 3 个重要温度 (基本温度、最佳温度和最高温度) 等, 探讨了泡泡刺种子萌发对荒漠生态环境的适应性。

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

实验在中国生态系统研究网络临泽内陆河流域研究站 (100 07 E, 39 21 N) 进行, 地处黑河流域中游、巴丹吉林沙漠边缘。研究区属温带大陆性荒漠气候, 年平均降水量 119.1 mm, 年蒸发量 2 337.6 mm, 全年日照时间 3 053.9 h, 年总辐射量 146.2 × 4.16 kJ · cm⁻²; 年平均气温 7.7 , 0 活动积温 3 544.6 , 10 活动积温 3 092.4 , 无霜期 152 d。年平均风速 3.2 m · s⁻¹, 大风日数 (> 17 m · s⁻¹ 的日数) 15 d, 风沙活动强烈。

1.2 植物选择

泡泡刺 (*Nitraria sphaerocarpa*), 为蒺藜科 (Zygophyllaceae) 白刺属灌木, 广泛分布于荒漠的戈壁和沙漠中, 具有耐干旱、盐碱、抗风蚀、耐沙埋等特点, 对防止流沙入侵绿洲、保持绿洲环境的稳定具有重要的生态作用。

1.3 研究方法

在沙漠中, 在不同个体上采集种子。然后干净、干燥后储存在实验室中。逐粒测量种子质量, 并分成 3 个质量组: L (23.49 ± 2.999)、M (17.31 ± 1.545)、S (10.78 ± 1.874) mg。将种子浸泡 24 h 后, 置于滤纸和沙子基质中。对于每种基质处理, 设 10 、15 、20 、25 、30 、35 6 个恒温和 15 /25 、20 /30 2 个变温, 12 h 光暗循环。所有发芽实验均在实验室温控培养箱内进行。每个处理中设 5 个重复, 每个重复 20 粒种子, 置于直径 9 cm 的培养皿中培养。发芽期间及时检查加水, 使滤纸和沙子始终保持湿润。每 1 d 观测 1 次, 将已经萌发的种子移走。

种子萌发以胚根出现为标志 (Bewley & Black, 1978)。

萌发率指数 (germination rate index) 计算公式: $GRI = G_x / x$, 式中, G 为时间 x 日的发芽数, x 为相

应的发芽天数 (Esechie, 1994);平均发芽天数计算公式: $MGT(d) = \sum T_i N_i / S$, 式中, T_i 为天数, N_i 为第 i 天萌发的种子数, S 为萌发种子总数。

基本温度是指低于此温度将不能萌发;最高温度指高于此温度将完全停止萌发;最佳温度定为此温度下萌发率指数最大。用非线性回归方法来描述此 3 个主要温度(基本温度、最佳温度和最高温度)。相交线模型是此方法中常用的方法 (Hadley *et al*, 1983; Kocabas *et al*, 1999; Phartyal *et al*, 2003)。模型包括 2 个线性回归, 描述在最佳温度之上和最佳温度之下萌发率对温度的响应。第 1 条线表明了至最佳温度前, 萌发率指数随着温度升高而升高;第 2 条线表明, 在萌发的最高温度前, 萌发率指数随着温度的升高而降低。基本温度和最高温度是每个回归线与横坐标轴的截据, 2 条线性回归线的相交点是最佳温度 (Covell *et al*, 1986)。

相交线模型利用下面方程表示:

$$f = \begin{cases} \text{region 1 (T)} & (T < T_{opt}) \\ \text{region 2 (T)} & (T > T_{opt}) \end{cases}$$

$$\text{region 1 (T)} = b(T - T_b)$$

$$\text{region 2 (T)} = c(T_{max} - T)$$

式中: T 是温度处理, T_b 、 T_{opt} 、 T_{max} 分别是基本温度、最佳温度和最高温度。

在沙子和滤纸处理中, 温度和种子重量对萌发率、平均萌发时间、萌发率指数的影响用双因素方差分析。方差分析结果为差异显著, 在 $P = 0.05$ 水平上用 Tukey 检验方法进行均值多重比较。

2 结果与分析

2.1 泡泡刺种子萌发率

在滤纸和沙子处理实验中, 泡泡刺种子萌发率受温度的影响显著 ($F = 3.299, df = 8, P = 0.017$; $F = 23.276, df = 8, P < 0.001$), 而受种子大小的影响不显著 ($F = 0.649, df = 2, P = 0.531$; $F = 0.639, df = 2, P = 0.537$)。对于恒温条件下, 无论是滤纸, 还是沙子基质处理中, 萌发率都是随着温度的上升而增加, 在 25 时达到最大值, 分别为 30% 和 40%, 高于 25 后, 萌发率逐渐降低 (图 1)。

2.2 泡泡刺种子平均萌发时间

在滤纸和沙子处理实验中, 泡泡刺种子平均萌发时间受温度的影响显著 ($F = 19.170, df = 8, P < 0.001$; $F = 40.895, df = 8, P < 0.001$), 而受种子大小的影响不显著 ($F = 0.461, df = 2, P = 0.636$; $F = 0.055, df = 2, P = 0.946$)。对于恒温条件下, 无

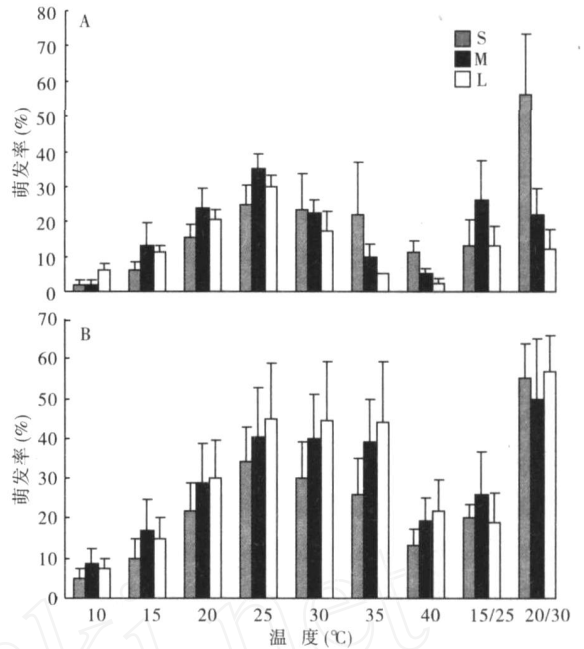


图 1 不同条件下泡泡刺种子萌发率

Fig. 1 Germination percentage of *Nitraria sphaerocarpa* at different treatments

A, 滤纸上; B, 沙子上。下同。

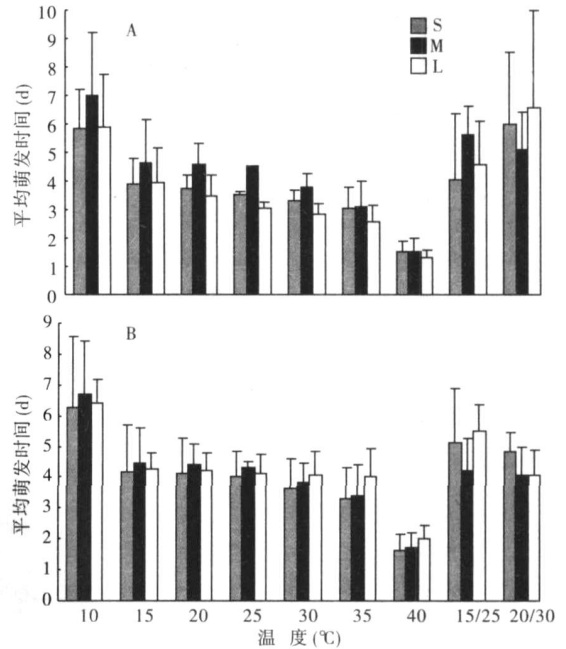


图 2 不同条件下泡泡刺种子平均萌发时间

Fig. 2 Mean germination time of *Nitraria sphaerocarpa* at different treatments

论是滤纸, 还是沙子处理实验, 平均萌发时间随着温度的上升而呈下降趋势 (图 2)。

2.3 泡泡刺种子萌发率指数

在滤纸和沙子处理实验中, 萌发率指数受温度

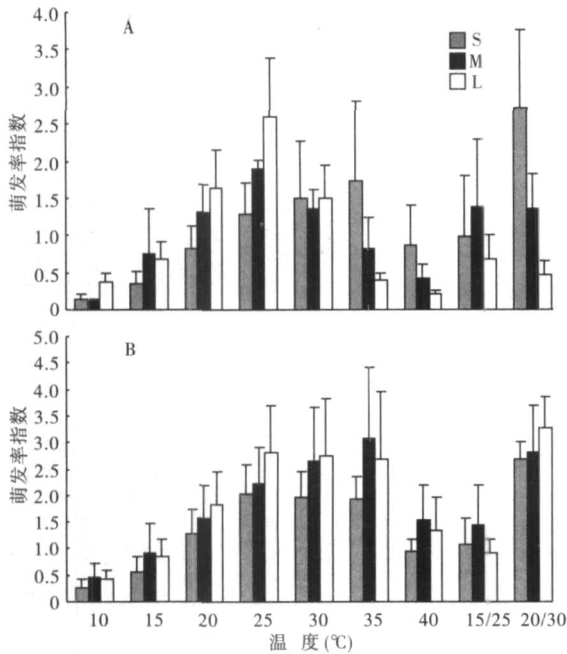


图 3 不同条件下泡泡刺种子萌发率指数

Fig 3 Germination rate index of *Nitaria sphaerocarpa* at different treatments

的影响显著 ($F = 3.104$, $df = 8$, $P = 0.022$; $F = 19.733$, $df = 8$, $P < 0.001$), 而受种子大小的影响不显著 ($F = 0.186$, $df = 2$, $P = 0.831$; $F = 0.720$, $df = 2$, $P = 0.497$)。对于恒温条件下, 无论是滤纸, 还是沙子处理实验, 萌发率指数都是随着温度的上升而增加, 在 25 时达到最大值, 高于 25 后, 萌发率指数逐渐降低 (图 3)。

2.4 基质对泡泡刺种子萌发的影响

在较高恒温 30、35、40 条件下, 沙子上

表 1 不同基质处理下泡泡刺种子萌发率、平均萌发时间和萌发率指数

Tab 1 Germination percentage, mean germination time and germination rate index of *Nitaria sphaerocarpa* at two substrate types

温度 (°C)	萌发率		平均萌发时间		萌发率指数	
	滤纸	沙子	滤纸	沙子	滤纸	沙子
10	3.3 ± 1.5aA	7.0 ± 2.9aA	6.2 ± 1.8aA	6.5 ± 1.6aA	0.2 ± 0.1aA	0.4 ± 0.2aA
15	10.0 ± 3.7aA	14.0 ± 5.9aB	4.2 ± 1.2aB	4.3 ± 1.1aB	0.6 ± 0.3aA	0.8 ± 0.4aA
20	20.0 ± 4.0aB	26.9 ± 8.8aC	3.9 ± 0.7aB	4.2 ± 0.8aB	1.3 ± 0.4aB	1.6 ± 0.6aBC
25	30.0 ± 4.2aB	39.8 ± 11.7aD	3.7 ± 0.1aB	4.2 ± 0.5aB	1.9 ± 0.4aB	2.4 ± 0.7aBD
30	21.2 ± 6.5aB	38.1 ± 11.7bD	3.3 ± 0.4aB	3.9 ± 0.8aB	1.5 ± 0.5aB	2.5 ± 0.9bBD
35	12.3 ± 6.1aAB	36.3 ± 11.6bDE	2.9 ± 0.7aB	3.6 ± 1.0aB	1.0 ± 0.5aBC	2.5 ± 1.0bBD
40	6.2 ± 2.1aA	18.2 ± 5.8bBC	1.5 ± 0.4aC	1.8 ± 0.5aC	0.5 ± 0.3aAC	1.3 ± 0.5bC
15/25	17.3 ± 8.2aAB	21.7 ± 7.3aBCE	4.8 ± 1.6aBD	4.9 ± 1.2aB	1.0 ± 0.7aBC	1.1 ± 0.5aC
20/30	30.0 ± 10.2aAB	54.0 ± 10.9aF	5.9 ± 2.4aAD	4.3 ± 0.8bB	1.5 ± 0.6aBC	2.9 ± 0.6aD

每一列变量中, 不同小写字母的数值表示在 0.05 水平上差别显著; 对于同一温度, 对于每个变量 (萌发率、平均萌发时间、萌发率指数), 不同大写字母的数值表示在 0.05 水平上差别显著。

的萌发率和萌发率指数显著大于滤纸上的萌发率和萌发率指数, 而在较低恒温 10、15、20、25 和变温 15/25、20/30 处理上未有显著差异。平均萌发时间反映了萌发的速度, 除了变温 20/30 处理上, 其他温度下, 滤纸和沙子上的平均萌发时间没有显著差别。

在滤纸处理, 较高的萌发率发生在恒温 25 和变温 20/30, 10 和 40 时萌发率较低; 在沙子处理, 较高的萌发率和萌发率指数发生在恒温 25~35 和变温 20/30, 10 时萌发率和萌发率指数较低, 只有 7% 和 0.4。

对于恒温条件下, 无论是滤纸, 还是沙子处理实验, 随着温度的升高, 平均萌发时间减少。恒温 10 条件下显著大于其他恒温下的平均萌发时间, 而恒温 40 条件显著小于其他恒温下的平均萌发时间, 其他恒温条件下, 平均萌发时间没有显著差异 (表 1)。

2.5 泡泡刺种子萌发的基本温度、最佳温度和最高温度

在滤纸处理上, 基本温度、最佳温度和最高温度分别为 9.0、25.3、45.2; 对于沙子处理, 基本温度、最佳温度和最高温度分别为 4.8、34.1、45.0 (图 4)。尤其在萌发期间, 最高温度反映了泡泡刺对高温的高度容忍性。从 4.8~45, 泡泡刺萌发的热量范围较广, 表明了泡泡刺定植的高度潜力。当土壤温度达到 4.8 时, 泡泡刺种子就可萌发。

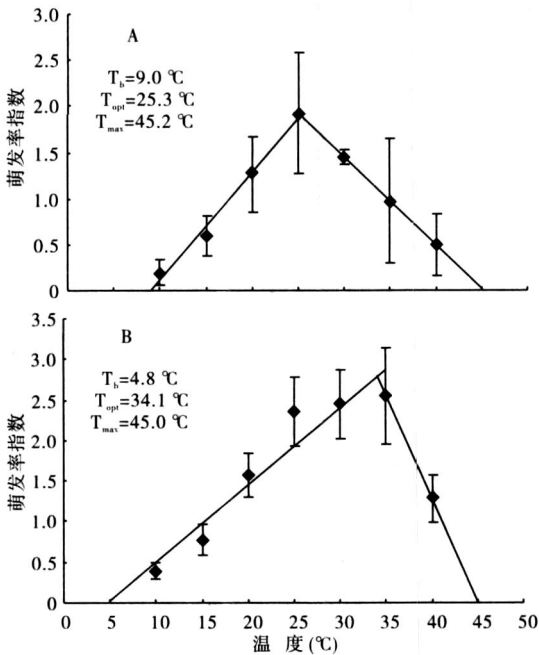


图 4 泡泡刺萌发率指数响应温度
Fig 4 Germination rate index in response to temperatures

3 讨论

对于每种植物来说,温度决定了新陈代谢的速率,进而影响了植物发育的过程 (Olivier & Annandale, 1998)。温度对于萌发的开端、潜能和萌发率具有重要影响 (Flores & Briones, 2001),是决定植物定植成功的最关键的因素。每种植物在其任何一个生命阶段,都有一个它能够生存的基本温度、适宜它生长的温度范围即最佳温度和完全抑制它生长的最高温度。种子萌发同样具有一定的温度范围。在基本温度之下种子不能萌发,而在基本温度之上又存在一个最佳温度,对于不同的植物种,种子萌发的最佳温度有所不同。

Baskin和 Baskin (1998) 报道了半干旱区的灌木植物在 10 ~ 35 条件下的萌发率可达到 60% ~ 100%,但大部分植物萌发的最佳温度为 20 ~ 25 。耐旱植物地肤萌发的基本温度是 3.5 ,最高温度为 50 ,而最佳温度为 24 (Al-Ahmadi & Kafi, 2007)。绿豌豆萌发的基本温度是 0 ,最高温度为 40 ,而最佳温度为 29 (Olivier & Annandale, 1998)。Orozco-Amanza等 (2003)发现墨西哥中部半干旱区的灌木含羞草 (*Mimosa depauperata*)的最佳萌发温度为 20 ~ 35 。在滤纸基质上,泡泡刺种子萌发的适宜温度为 25.3 ,与红砂

(曾彦军等, 2000)、梭梭、小叶锦鸡儿 (郑光华等, 1990)种子萌发温度 (25)基本相同,比白沙蒿 (*Artemisia sphaerocephala*)和沙打旺 (*Astragalus adsurgens*) (王彦荣等, 1996)种子萌发温度 (20)高,但比沙枣 (*Elaeagnus angustifolia*) (郑光华等, 1990)种子萌发温度 (30)低。

Flores和 Briones(2001)在研究 6种荒漠植物的 3个主要温度时,发现随着温度的升高,种子的平均萌发时间提前,而且达到 50%萌发率的时间减少。盐角草属植物 (*Salicornia rubra*)在低于 15 的温度下延迟了萌发 (Khan *et al* , 2000)。一种抗旱灌木绵毛优若藜 (*Krascheninnikovia lanata*),随着温度升高,萌发率增加,达到最高萌发率的时间降低 (Schellenberg, 2003)。研究发现,对于恒温条件下,无论是滤纸,还是沙子处理实验,泡泡刺种子的萌发率都是先随着温度的上升而增加,在 25 时达到最大值,高于 25 后,萌发率逐渐降低,而平均萌发时间随着温度的上升而呈下降趋势。

在滤纸基质处理上,基本温度、最佳温度和最高温度分别为 9.0 、25.3 、45.2 ;对于沙子基质处理中,基本温度、最佳温度和最高温度分别为 4.8 、34.1 、45.0 。泡泡刺可在如此大温度范围上萌发具有重要的意义。在人工培育植物时,这种特性可使泡泡刺成为较好的候选者。

种子的适宜萌发温度是与其具体生境的降水或土壤水分密切相关的。以色列 Negev荒漠的许多一年生植物的种子在冬季 (平均温度为 15 ,是多数一年生植物种子的萌发适宜温度)萌发,而此时正是雨季 (Gutteman, 1993)。泡泡刺种子的适宜萌发温度为 34.1 (沙子基质处理)是对其生境的适应的结果。因为 7月份的温度为 39.1 ,而大约占全年降水量 65%的降水又主要集中在 7、8和 9月,所以此时的温度和降水适于种子的萌发。

种子萌发对不同基质的反应,在一定程度上表明种子萌发对土壤基质与埋深的适应性,适宜基质也是种子发芽试验基本条件之一。实验结果显示,在较高恒温 30 、35 和 40 条件下,沙子上的萌发率和萌发率指数显著大于滤纸上的萌发率和萌发率指数,而在较低恒温 10 、15 、20 和 25 和变温 15 /25 、20 /30 处理上未有显著差别。这表明泡泡刺种子在较高温度条件下,破土出苗能力较强。

致谢 感谢中国生态系统研究网络临泽内陆河流域研究站为本研究提供了实验和生活条件,感谢赵文智研究员在论文写作中给予的指导。

参考文献

- 韩建国. 1997. 实用牧草种子学. 北京: 中国农业大学出版社.
- 黄振英, 张新时, Gutteman Y. 2001. 光照、温度和盐分对梭梭种子萌发的影响. 植物生理学报, 27(3): 275-280.
- 李雪华, 刘志民, 蒋德明, 等. 2004. 七种蒿属植物种子重量形状及萌发特性的比较研究. 生态学杂志, 23(5): 57-60.
- 王彦荣, 张巨明, 聂斌. 1996. 兰引 3 号草坪型结缕草发芽生态适应性研究. 草业学报, 5(2): 49-55.
- 曾彦军, 王彦荣, 张宝林, 等. 2000. 红砂和猫头刺种子萌发生态适应性的研究. 草业学报, 9(3): 36-42.
- 郑光华, 史忠礼, 赵同芳, 等. 1990. 实用种子生理学. 北京: 农业出版社.
- Al-Ahmedi MJ, Kafi M. 2007. Cardinal temperatures for germination of *Kochia scoparia* (L.). *Journal of Arid Environments*, 68: 308-314.
- Baskin C, Baskin JM. 1998. Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. San Diego: Academic Press.
- Bewley JD, Black M. 1978. Physiology and Biochemistry of Seeds (vol 1). New York: Springer.
- Covell S, Ellis RH, Roberts EH, et al. 1986. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. *Journal of Experimental Botany*, 37: 705-715.
- Escudero A, Cames LF, Pérez-García F. 1997. Seed germination of gypsophytes and gypsosvags in semi-arid central Spain. *Journal of Arid Environments*, 36: 487-497.
- Esechie H. 1994. Interaction of salinity and temperature on the germination of sorghum. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 172: 194-199.
- Flores J, Briones O. 2001. Plant life-form and germination in a Mexican inter-tropical desert: Effects of soil water potential and temperature. *Journal of Arid Environments*, 47: 485-497.
- Gutteman Y. 1993. Seed germination in desert plants. Adaptations of Desert Organisms. Berlin: Springer-Verlag.
- Hadley P, Roberts EH, Summerfield RJ, et al. 1983. A quantitative model of reproductive development in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) in relation to photoperiod and temperature and implications for screening germplasm. *Annals of Botany*, 33: 288-296.
- Khan MA, Gul B, Weber DJ. 2000. Germination response of *Salicornia nabra* to temperature and salinity. *Journal of Arid Environments*, 45: 207-214.
- Kocabas Z, Craigon J, Azam-Ali SN. 1999. The germination response of Bambara groundnut (*Vigna subterranean* (L.) Verdo) to temperature. *Seed Science and Technology*, 27: 303-313.
- Mahmoud A, El-Sheikh AM, Abdul Baset S. 1983. Germination of *Artemisia abyssinica* Sch. Bip. *Journal of the College of Sciences of King Saud University*, 14: 253-272.
- Mahmoud A, El-Sheikh AM, Abdul Baset S. 1984. Germination ecology of *Phazya stricta* Decne. *Journal of the College of Sciences of King Saud University*, 15: 5-25.
- McDonough W. 1964. Germination responses of *Camegiera gigantea* and *Lanairocereus thurberi*. *Ecology*, 45: 155-159.
- Moore PD, Chapman SB. 1986. Methods in Plant Ecology (2nd edition). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Olivier FC, Annandale JG. 1998. Thermal time requirements for the development of green pea (*Pisum sativum* L.). *Field Crops Research*, 56: 301-307.
- Orozco-Amanza MS, León-García LP, Grether R, et al. 2003. Germination of four species of the genus *Mimosa* (leguminosae) in a semi-arid zone of Central Mexico. *Journal of Arid Environments*, 55: 75-92.
- Phartyal SS, Thapliyal RC, Nayal JS, et al. 2003. The influences of temperatures on seed germination rate in Himalayan elm (*Ulmus wallichiana*). *Seed Science and Technology*, 31: 83-93.
- Rojas-Aréhiga M, Vázquez-Yanes C, Orozco-Segovia A. 1998. Seed response to temperature of Mexican cacti species from two life forms, an ecophysiological interpretation. *Plant Ecology*, 135: 207-214.
- Rojas-Aréhiga M, Vázquez-Yanes C. 2000. Cactus seed germination, a review. *Journal of Arid Environments*, 44: 85-104.
- Schellenberg MP. 2003. Germination temperature response of two ecotypes of winterfat [*Kraschenninkovia lanata* (Pursh) guldenstaedt]. *Canadian Journal of Plant Science*, 83: 65-68.

作者简介 李秋艳,女,1978年生,博士,助理研究员。主要从事恢复生态学研究。E-mail: qyli@yic.ac.cn
责任编辑 王伟