

蒙古扁桃种子萌发和幼苗生长对渗透胁迫的响应

王 进, 张 勇, 赵 刚, 闫 芳, 张成国, 雷 蕾, 马银山

(河西学院农业与生物技术学院, 甘肃 张掖 734000)

摘要: 以天然生长于祁连山自然保护区隆畅河自然保护站的濒危植物蒙古扁桃 (*Prunus mongolica*) 去内果皮的种子为材料, 以不同渗透势 PEG-6000 溶液模拟干旱条件, 研究了种子萌发和幼苗生长对干旱胁迫的响应特征。结果表明, 随着干旱胁迫程度的加剧, 蒙古扁桃种子吸胀速率、萌发率、萌发指数、活力指数、苗高和根长、组织饱和含水量等指标均表现出明显降低的趋势, 而幼苗初生芽干重、根干重和根冠比均呈先升后降的趋势。蒙古扁桃种子对水势变化既敏感又抗旱, 种子能够萌发的最低渗透势阈值为 -0.65 MPa。干旱胁迫未能萌发的种子复水后萌发率较高。分析认为, 蒙古扁桃种子萌发和幼苗生长对干旱胁迫的响应特征对种的延续具有重要意义, 但在人工栽培时保证土壤墒情应是保障建植成功的关键措施。

关键词: 蒙古扁桃; 吸水速率; 吸水率; 萌发率; 渗透胁迫

中图分类号: Q949.751.8; Q945.17 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)01-0191-05

Response of mongolian almond seed germination and seedling growth to osmotic stress

WANG Jin, ZHANG Yong, ZHAO Gang, YAN Fang, ZHANG Cheng-guo, LEI Lei, MA Yin-shan

(College of Agricultural and Biological Technology, Hexi University, Zhangye 734000, Gansu)

Abstract: Mongolian almond (*Prunus mongolica* Maxim) is an endangered species in Mount Qilian Nature Reserve. This study investigated the response of its seed germination and seedling growth to drought stress, using osmotic treatments by PEG-6000 solution. The result indicated that rate of imbibition, germination, index of germination and seedling vigor, seedling height, and root length decreased as the concentration of PEG-6000 increased. The fresh seedling dry weight, root dry weight, and root/shoot ratio first increased and then decreased. Mongolian almond seed was sensitive to changes in soil water potential, with the minimum threshold for germination being 0.65 MPa. Response characteristics of the drought stress of mongolian almond seed germination and seedling growth have important meaning for the continuation of the species.

Keywords: *Prunus mongolica* Maxim; germination percentage; water uptake rate; germination rate; osmotic stress

蒙古扁桃 (*Prunus mongolica* Maxim) 又称山樱桃、土豆子, 是蔷薇科 (Rosaceae) 李属 (*Prunus* L.) 的落叶灌木, 可作干旱地区的景观植物和水土保持植物, 有极大的生态价值^[1-3]。蒙古扁桃为重要的木本油料树种之一, 种仁含油率约为 40%, 其油可供食用, 种仁可代“郁李仁”入药, 能润燥肠、利尿, 主治大便燥结、水肿、脚气等症^[4-5]。长期以来被人们采集果实和当作燃料, 牲畜亦喜啃食其果实, 因其植株数量锐减, 被中国植物红皮书收录为濒危植物, 并被

确定为国家二级保护植物^[6]。

以往, 国内外学者曾对蒙古扁桃从形态特征、生理特性、细胞学、生殖生物学、生态习性、生态经济价值、引种繁殖及造林技术等方面开展了大量的研究工作^[7-11]。对种子萌发、种子硬实特性、播种条件及抗旱特性等方面鲜有报道, 本研究以天然生长于河西走廊中部祁连山自然保护区隆畅河自然保护站的濒危植物蒙古扁桃种子为材料, 探讨去内果皮后种子吸胀、萌发和幼苗生长对干旱胁迫的响应特点,

收稿日期: 2013-07-05

基金项目: 中医药行业科研专项子课题 (2013ZYZYPC-17); 河西学院祁连学者计划 (201202); 河西学院大学生科技创新基金

作者简介: 王 进 (1974—), 男, 甘肃张掖人, 副教授, 主要从事种子抗逆生理等方面的研究。

通信作者: 张 勇 (1963—), 男, 甘肃民乐人, 教授, 博士, 硕士生导师。E-mail: zhangyong@hxy.edu.cn。

为直播栽培、幼苗培育及蒙古扁桃在干旱区的人工种植提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究材料

成熟的蒙古扁桃种子于 2011 年 9 月初采集于甘肃省河西走廊中部祁连山自然保护区隆畅河自然保护区(38°50'N, 99°38'E), 该地区海拔高度 2 361 m, 年均降水量 458.2 mm, 年潜在蒸发量 1 000 mm 左右, 年平均气温 3.6℃, 无霜期 93 d。土壤类型为森林灰褐土, 该区域植被以适应于高寒半湿润气候的草本和灌木占居优势地位。其种子收集后剔除果肉并阴干, 获净种子 30 kg。种子在 4℃冷柜中储存待用。

1.2 研究方法

1.2.1 种子处理 将蒙古扁桃种子在 35℃恒温箱中处理 72 h, 使种子完成后熟, 然后机械破除内果皮, 取出种子。

1.2.2 干旱胁迫处理 采用不同浓度 PEG-6000 溶液进行 PEG 渗透胁迫。PEG 溶液浓度设 5%、10%、15%、20%、25%、30% 6 个梯度, 以蒸馏水处理作对照。根据 Michel 和 Kaufmann^[11]文献中 PEG 溶液浓度与渗透势的关系方程计算, 以上 PEG 浓度在 20℃时其渗透势依次为 -0.03、-0.10、-0.24、-0.42、-0.65 MPa 和 -0.94 MPa。

1.2.3 吸水试验 每处理 4 次重复, 试验温度为 20℃, 吸水床用发芽纸和直径为 11 cm 的培养皿。试验时随机取处理后的蒙古扁桃种子约 5.000 g, 用发芽纸包裹后放置于培养皿内, 用不同浓度 PEG 溶液或蒸馏水(15 mL)湿润发芽纸后盖好培养皿。为减少蒸发和种子吸水引起培养皿内发芽纸中水势的改变, 3 h 更换 1 次发芽纸和溶液。试验设置 4 次重复, 时间为 48 h, 每 3 h 测定 1 次吸水量。测定时将发芽床内包裹的种子全部取出, 用滤纸吸去种子表面黏附的溶液, 快速称重。并根据下式计算种子吸水率:

$$W_r = (W_t - W_0) / W_0 \times 100\%$$

式中, W_r 为种子重量的增加率, W_0 , W_t 分别代表种子吸水前后的重量^[12-13]。

1.2.4 萌发试验 PEG 渗透胁迫条件以 15 mL 的 -0.03 MPa、-0.10 MPa、-0.24 MPa、-0.42 MPa、-0.65 MPa 和 -0.94 MPa 的 PEG 溶液湿润芽床, 以蒸馏水湿润萌发床作对照, 共 7 个处理。萌发试验用完成后熟后机械破除内果皮的完整种子在人工气候箱内进行, 采用 20℃全光照、纸卷(BP)萌发方法。每处理设 4 个重复, 每重复 50 粒种子。萌发试验期

间每日统计萌发数, 每 2 d 更换一次 PEG 溶液处理的萌发床, 以保持发芽床水势恒定。记录种子起始萌发的天数, 第 15 天统计种子萌发率, 计算萌发指数和活力指数。萌发率以正常幼苗占测试种子的百分率表示; 萌发指数按 $GI = \sum G_i / D_i$ 公式计算, 活力指数按 $VI = GI \times S$ 公式计算。以上公式中: G 为萌发率, GI 为萌发指数, G_i 为逐日萌发数, D_i 为相应的萌发天数, VI 为活力指数, S 为幼苗鲜重^[12-14]。

此外, 为了分析干旱胁迫对幼苗生长、物质分配及复水后萌发率的影响, 在萌发试验进行到第 15 天时, 于每一培养皿中随机取 30 株正常幼苗测量幼苗高度、初生根长度、次生根个数、幼苗鲜重, 初生芽干重、初生根干重、幼苗组织相对含水量、根冠比和壮苗指数。幼苗组织相对含水量采用饱和称量法测定, 壮苗指数 = (幼苗粗/幼苗高度) × 幼苗干重; 将未萌发的种子清洗后用蒸馏水处理芽床做恢复萌发试验, 第 10 天统计恢复萌发率, 恢复萌发率(%) = (萌发种子数/未萌发种子总数) × 100%。

1.3 统计分析

本研究应用 SPSS 10.0 软件进行数据统计分析。采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和最小显著差法(LSD)检验各平均值间的差异显著性。结果以(平均数 ± 标准误)表示。

2 结果与分析

2.1 种子累计吸水率及对干旱胁迫的响应

由图 1 可以看出, 蒙古扁桃种子吸水过程呈现 3 个阶段, 即急剧吸水期、缓慢吸水期和饱和吸水期。置床后 15 h 内为急剧吸水期, 吸水率由 0% 上升到 42% ~ 66%; 置床后 15 ~ 36 h 为稳定吸水期, 吸水率从 42% ~ 66% 上升到 45% ~ 82%; 置床 36 h 后为饱和吸水期, 吸水率维持在 48% ~ 82%。在不同处理中, 种子在对照、-0.03、-0.10 MPa PEG 处理下, 36 h 达到最大吸水率, 分别为 75.56%、81.14%、79.61%, 在 -0.24、-0.42、-0.65 PEG 溶液处理下, 39 h 达到最大吸水率, 分别为 71.64%、65.77%、59.15%, 在 -0.94 MPa PEG 溶液处理下, 42 h 达到最大吸水率 49.63%。

从吸水效率来看, 在 -0.03、-0.10 MPa PEG 处理下, 前 36 h 的吸水率极显著高于对照($P < 0.01$, $N = 3$); 在 -0.24 MPa PEG 溶液处理下, 前 21 h 吸水率与对照差异不显著($P > 0.05$, $N = 3$), 其后随吸水时间的延长, 吸水率显著低于对照($P < 0.05$, $N = 3$); 在 -0.42、-0.65 MPa PEG 溶液处理下, 前 15 h

吸水率与对照差异不显著 ($P > 0.05, N = 3$), 其后种子累计吸水率随 PEG 渗透胁迫的加剧呈显著降

低趋势 ($P < 0.01, N = 3$); 在 -0.94 MPa PEG 溶液处理下, 吸水率极显著低于其他各处理。

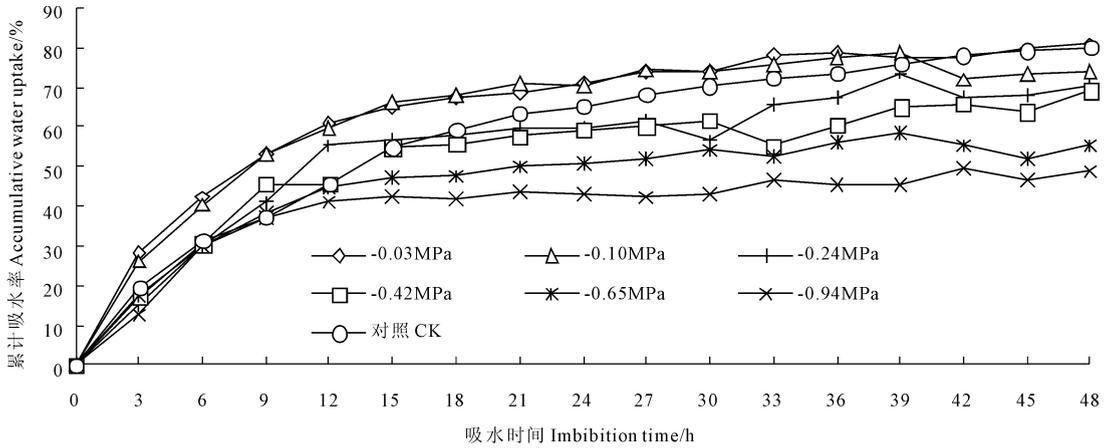


图 1 PEG 渗透胁迫下蒙古扁桃种子在 20℃ 下的累积吸水率

Fig. 1 Accumulative water uptake of seeds of *Prunus Mongolica* under different simulated osmotic stress at 20℃

2.2 种子萌发对 PEG 渗透胁迫的响应

萌发试验结果显示: 蒙古扁桃种子在对照条件下萌发率为 96.14%。与对照相比, 在 -0.03 、 -0.10 MPa PEG 溶液处理下, 萌发率无显著降低 ($P > 0.05$)。在 -0.24 、 -0.42 、 -0.65 MPa PEG 溶液处理下, 萌发率极显著降低 ($P < 0.01$), -0.94 MPa 处理下不萌发 (表 1)。

随着渗透胁迫的加剧, 种子萌发起始天数推迟。

蒙古扁桃种子在对照、 -0.03 MPa 的处理条件下, 第 2 天开始萌发, 在 -0.10 MPa 处理下, 第 3 天开始萌发, -0.24 MPa 处理下第 4 天才开始萌发, 在 -0.42 、 -0.65 MPa 的处理下第 8 天才开始萌发。

随着干旱的加剧和水势的降低, 蒙古扁桃种子萌发指数和活力指数在各水势间极显著降低 ($P < 0.01$), 其种子萌发的最低渗透势阈值为 -0.65 MPa (表 1)。

表 1 蒙古扁桃种子发芽对 PEG 渗透胁迫的响应

Table 1 Responses of *Prunus mongolica* germination to simulated osmotic stress

处理 Treatments	发芽起始天数/d Day of germination from seeding	发芽率/% Germination rate	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index
对照 CK	2	96.14 ± 0.66Aa	39.36 ± 0.56Aa	16.50 ± 0.72 Aa
-0.03 MPa	2	95.72 ± 1.43Aa	31.57 ± 0.42Bb	11.84 ± 0.15 Bb
-0.10 MPa	3	95.72 ± 1.43Aa	20.86 ± 0.48Cc	6.79 ± 0.27 Cc
-0.24 MPa	4	83.57 ± 1.37Bb	10.36 ± 0.17Dd	2.94 ± 0.08 Dd
-0.42 MPa	8	35.99 ± 1.44Cc	3.09 ± 0.15Ee	0.78 ± 0.04 Ee
-0.65 MPa	8	5.72 ± 1.17Dd	0.58 ± 0.11Ff	0.12 ± 0.02 Ee

注: 同列中不同大写字母表示在 0.01 水平差异显著, 不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著, 下同。

Note: Different uppercase and lowercase letters indicate significant differences at level of 0.01 and 0.05 by Duncan tests, respectively. The same below.

2.3 蒙古扁桃种子萌发率与 48 h 累计吸水率的关系

种子最终萌发率与累计吸水率的相关与回归分析结果表明: PEG 渗透胁迫条件下, 蒙古扁桃种子最终萌发率与 48 h 累计吸水率均显著正相关 ($P < 0.05, r = 0.928, n = 4$), 蒙古扁桃种子萌发率与累计吸水率的相关趋势符合二次方程曲线模型 (图 2)。

2.4 PEG 渗透胁迫对幼苗生长的影响

从幼苗生长形态来看, 在对照条件下, 蒙古扁桃幼苗生长健壮, 初生根匀称粗壮, 次生根多, 上胚轴

长, 真叶暗绿展开, 在 -0.03 MPa PEG 溶液处理下, 幼苗生长健壮, 次生根长且数目多, 真叶淡绿展开, 上胚轴较对照短, -0.10 MPa PEG 溶液处理下, 初生根长, 次生根少, 子叶淡黄绿微展; 在 -0.24 MPa PEG 溶液处理下, 初生根伸出短, 无次生根, 上胚轴连同顶芽刚伸出子叶, 真叶和顶芽紧缩在一起; 在 -0.42 、 -0.65 MPa PEG 溶液处理下, 初生根稍有伸长, 无次生根, 顶芽和上胚轴未伸出子叶。

随着 PEG 渗透胁迫的加剧, 蒙古扁桃幼苗的初生芽、根长、次生根个数和幼苗鲜重呈极显著 ($P <$

0.01)降低趋势。从壮苗指数来看,对照与 - 0.03 MPa PEG 溶液处理无显著差异 ($P > 0.05$),显著低于 - 0.10 MPa PEG 溶液处理 ($P < 0.05$),在 - 0.24 MPa PEG 溶液处理下的壮苗指数,极显著高于其他水势下的处理 ($P < 0.01$)。

2.5 PEG 渗透胁迫对幼苗饱和含水量、萌发恢复率和物质分配的影响

从渗透胁迫对幼苗物质分配的影响来看,随着 PEG 渗透胁迫的加剧,幼苗饱和含水量降低,幼苗的干重增加,幼苗根干重和根冠比极显著降低 ($P < 0.01$)。蒙古扁桃种子在 - 0.03、- 0.10 MPa PEG 溶液处理下,幼苗饱和含水量差异不显著 ($P > 0.05$),但极显著低于对照 ($P < 0.01$), - 0.24、- 0.42、- 0.65 MPa PEG 溶液处理的饱和含水量极显著降低 ($P < 0.01$)。在 - 0.03、- 0.10 MPa PEG 溶液处理下,幼苗地上部分干重差异不显著 ($P > 0.05$),但极显著高于对照 ($P < 0.01$), - 0.24 MPa 与 - 0.42

MPa PEG 溶液处理的幼苗地上部分干重差异不显著 ($P > 0.05$),但显著低于 - 0.65 MPa 的幼苗地上部分干重 ($P < 0.05$), - 0.65 MPa 与 - 0.42 MPa PEG 溶液处理的幼苗地上部分干重差异不显著 ($P > 0.05$);受到 - 0.24、- 0.42、- 0.65、- 0.94 MPa PEG 溶液胁迫的蒙古扁桃吸胀种子复水后的萌发率随胁迫加剧显著提高(表 3)。

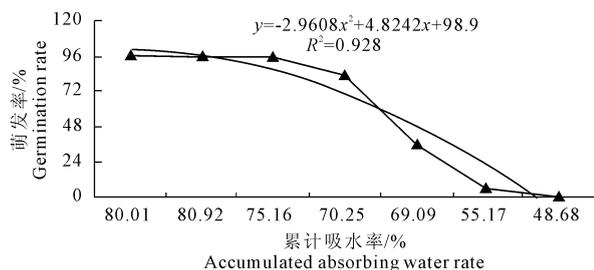


图 2 蒙古扁桃种子萌发率与 48 h 累计吸水率的关系

Fig.2 Relationships between germination percentage and accumulated seed water uptake of *Prunus mongolica*

表 2 蒙古扁桃幼苗生长对 PEG 渗透胁迫的响应

Table 2 Responses of *Prunus mongolica* seedling to different simulated osmotic stress

处理 Treatments	初生芽/cm Shoot length	根长/cm Root length	次生根个数 Secondary roots	幼苗鲜重/(g·5株 ⁻¹) Fresh seedling weight	壮苗指数 seedling index
对照 CK	5.89 ± 0.19Aa	13.65 ± 0.37Aa	16.08 ± 0.45Aa	2.083 ± 0.04Aa	0.0090 ± 0.0003Bc
- 0.03 MPa	5.33 ± 0.07Bb	10.89 ± 0.34Bb	10.88 ± 0.52Bb	1.86 ± 0.02Bb	0.0096 ± 0.0003Bbc
- 0.10 MPa	4.64 ± 0.11Cc	9.28 ± 0.29Cc	6.80 ± 0.50Cc	1.64 ± 0.08Cc	0.0106 ± 0.0003Bb
- 0.24 MPa	1.74 ± 0.06Dd	3.39 ± 0.23Dd	2.76 ± 0.17Dd	1.43 ± 0.04Dd	0.0239 ± 0.0012Aa
- 0.42 MPa	—	1.81 ± 0.18Ee	0.86 ± 0.08Ee	1.26 ± 0.05De	—
- 0.65 MPa	—	0.88 ± 0.04Ff	0.00 ± 0.00Ee	0.90 ± 0.02Ef	—

表 3 PEG 渗透胁迫对蒙古扁桃物质分配、幼苗饱和含水量和萌发恢复率的影响

Table 3 Effects of simulated osmotic stress on seed matter distribution, seedling saturated water content, and recovery rate on *Prunus mongolica*

处理 Treatments	饱和含水量/% Saturated water content	萌发恢复率/% Recovery rate	初生芽干重/(g·5株 ⁻¹) Shoot dry weight	根干重/(g·5株 ⁻¹) Root dry weight	根冠比 Root/shoot
对照 CK	77.43 ± 0.54Aa	0.00 ± 0.00Cd	0.3762 ± 0.0113Dd	0.0962 ± 0.0028Aa	0.2574 ± 0.0068Aa
- 0.03 MPa	70.57 ± 0.47Bb	0.00 ± 0.00Cd	0.4531 ± 0.0251Cc	0.0803 ± 0.0018Bb	0.1689 ± 0.0041Bb
- 0.10 MPa	68.49 ± 0.98Bb	0.00 ± 0.00Cd	0.4819 ± 0.0163BCc	0.0536 ± 0.0035Cc	0.1189 ± 0.0072Cc
- 0.24 MPa	60.25 ± 1.73Cc	37.21 ± 0.69Bc	0.5355 ± 0.0163ABb	0.0263 ± 0.0026Dd	0.0496 ± 0.0051Dd
- 0.42 MPa	53.65 ± 0.69Dd	81.91 ± 1.75Ab	0.5671 ± 0.0131Aab	0.0167 ± 0.0035Ee	0.0289 ± 0.0049Ee
- 0.65 MPa	50.68 ± 0.20De	82.67 ± 1.19Aab	0.5971 ± 0.0166Aa	0.0088 ± 0.0002Eef	0.0147 ± 0.0004Eef
- 0.94	—	85.56 ± 0.76Aa	—	—	—

3 讨论

3.1 蒙古扁桃种子吸胀和萌发对渗透胁迫的响应特征及其生态学意义

不同类型的植物种子,在吸胀和萌发时对水势的要求不同,萌发期间吸水速度也不同。一般认为抗旱类型的植物种子吸水速度快,而干旱敏感类型

的种子吸水速度慢^[15-16]。本试验结果显示,蒙古扁桃种子在较高水势下吸水速度快,在低水势下吸水速度相对较慢,表明蒙古扁桃种子萌发对干旱有特殊适应策略,在较高水势下,通过提高吸水速率,促进种子萌发,在低水势下,通过控制吸水防止种子萌发而“闪苗”,这说明蒙古扁桃种子对水势变化既敏感又抗旱。在轻度胁迫下(- 0.03、- 0.10 MPa

PEG处理),与对照相比蒙古扁桃种子吸水速率显著提高;在更低的水势下,种子吸水率、萌发率、萌发速度和活力水平显著下降。蒙古扁桃种子萌发的最低渗透势阈值为 -0.65 MPa ,与其他荒漠植物种子柠条(*Caragana Korshinskii* Kom.)和花棒^[16](*Hedysarum scoparium* Fisch.)(种子萌发的最低渗透势阈值分别为 -2.1 MPa 和 -1.8 MPa)相比,蒙古扁桃种子萌发对干旱胁迫更为敏感。有学者认为,限制水分条件下萌发缓慢、萌发率低的特性是干旱沙漠区植物保证幼苗存活的策略之一^[17-18]。因此,蒙古扁桃种子萌发对干旱胁迫的响应特征对种的延续具有重要的生态学意义。然而,在人工直播栽培蒙古扁桃时,必须保证土壤的墒情和较高的水势,以促使种子充分吸胀,保证良好的田间出苗率。

3.2 蒙古扁桃幼苗生长对渗透胁迫的响应特征及其对苗期管理的启示

蒙古扁桃的苗高、根长、次生根个数和幼苗生长量随干旱胁迫的加剧而降低,表明了即使轻度的干旱胁迫对其幼苗生长均具有限制性影响。在干旱胁迫下,初生芽比根的生长受干旱胁迫影响更大,这与曾彦军等对红砂、霸王种子结果相一致^[19-20];壮苗指数是衡量幼苗素质的数量指标,培育壮苗,不仅有利于其群体合理发展,个体稳健生长,而且是单株分根多,分根大以及主根长,根深叶茂的基础,试验结果显示,在轻度胁迫下,蒙古扁桃幼苗的壮苗指数随水势的降低而提高,其原因是由于干旱抑制了地下部和地上部伸长,促进了上胚轴增粗,降低了种子萌发时的物质损耗而造成。

因此,在人工直播栽培蒙古扁桃时,应注意幼苗期的土壤水分管理,对生长过快的幼苗限制水分,使其适当干旱,确保幼苗健壮生长,防止因干旱或水渍导致幼苗生长不良或闪苗。

3.3 蒙古扁桃幼苗饱和含水量、萌发恢复率和物质分配对渗透胁迫的响应特征

试验结果显示,随干旱胁迫的加剧,蒙古扁桃幼苗子叶养分转化率降低,幼苗饱和含水量降低。种子随干旱胁迫的加剧未能萌发的种子复水后萌发率较高,这从另一方面反应蒙古扁桃种子萌发适应干旱环境的对策。

在水分胁迫下,萌发种子通常会主动调节地上与地下器官比例和生长量,使其有限的营养物质和水分优先满足根部生长。随着干旱的加剧,初生芽干重增加,根干重降低,根冠比随胁迫的加剧显著降低,这表明蒙古扁桃幼苗对于外界干旱胁迫采取降低生长量来进行适应。该结果与刘长利、王进等对甘草、苦豆子和披针叶黄华的研究相一致^[21-22],

这一结果显示出植物幼苗生长对干旱的适应性反应。但胁迫时间长或干旱很严重时,幼苗发育受到抑制甚至不能成苗。因此,在幼苗发育期给予适当水分条件提高幼苗生长量,促进幼苗形态建成,是保证苗全、苗壮的有效措施。

参考文献:

- [1] 赵一之. 蒙古扁桃的植物区系地理分布研究[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 1995, 26(6): 713-715.
- [2] 陆玲娣. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1986, (1): 8-17.
- [3] 刘建荣. 荒漠植物生态特性浅析[J]. 甘肃林业科技, 1991, (3): 40-45.
- [4] 李爱平, 王晓江, 张纪钢, 等. 优良生态灌木蒙古扁桃生物学特性与生态经济价值研究[J]. 内蒙古林业科技, 2004, (1): 10-13.
- [5] 方海涛, 李俊兰, 王黎元. 珍稀濒危植物蒙古扁桃研究进展[J]. 阴山学刊, 2004, 18(2): 16-18.
- [6] 戚康标, 常 弘, 缪汝槐. 中国珍稀濒危动物植物辞典[M]. 广州: 广东人民出版社, 2001: 674.
- [7] 红 雨, 邹林林, 朱清芳. 濒危植物蒙古扁桃种子雨和土壤种子库特征[J]. 林业科学, 2012, 48(10): 145-149.
- [8] 严子柱, 李爱德, 李得禄, 等. 珍稀濒危保护植物蒙古扁桃的生长特性研究[J]. 西北植物学报, 2007, 27(3): 625-628.
- [9] 斯琴巴特尔, 满 良. 蒙古扁桃种子萌发生理研究[J]. 广西植物, 2002, 22(6): 564-566.
- [10] 斯琴巴特尔, 秀 敏. 蒙古扁桃种子萌发的生理生化特性[J]. 中国草地学报, 2006, 28(2): 39-43.
- [11] Michel B E, Kaufmann M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000[J]. Plant Physiology, 1973, 51: 914-916.
- [12] 韩建国. 实用牧草种子学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1997: 87-92.
- [13] 颜启传. 种子检验原理与技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2001: 50-80.
- [14] 国际种子检验协会. 徐本美译. 种苗评定与种子活力测定方法手册[S]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993: 53-56.
- [15] 杨鹏辉, 李贵全, 郭 丽, 等. 干旱胁迫对不同抗旱大豆品种骨架期质膜透性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 31(3): 23-26.
- [16] 曾彦军, 王彦荣, 萨 仁, 等. 几种旱生灌木种子萌发对干旱胁迫的响应[J]. 应用生态学报, 2002, 13(8): 953-956.
- [17] Zeng Y J, Wang Y R, Zhang J M. Is reduced seed germination due to water limitation a special survival strategy used by xerophytes in arid dunes[J]. Journal of Arid Environments, 2010, 74(4): 508-511.
- [18] Bartels D, Sunkar R. Drought and salt tolerance in plants[J]. Cri Rev Plant Sci, 2005, 24(1): 23-58.
- [19] 曾彦军, 王彦荣, 保 平, 等. 几种生态因子对红砂和霸王种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 草业学报, 2005, 10: 24-31.
- [20] 曾彦军, 王彦荣, 庄光辉, 等. 红砂和霸王种子萌发对干旱与播深条件的响应[J]. 生态学报, 2008, (8): 1629-1634.
- [21] 刘长利, 王文全, 魏胜利. 干旱胁迫对甘草种子吸胀萌发的影响[J]. 中草药, 2004, 12(35): 1403-1405.
- [22] 王 进, 王桔红, 张 勇, 等. 苦豆子和披针叶黄华种子萌发和幼苗生长对干旱胁迫的响应[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(4): 872-877