

蒙古扁桃(*Amygdalus mongolica*)种子萌发 及幼苗生长对胁迫的响应

王进¹, 颜霞^{1b,2}, 李军元³, 谢全刚¹, 张勇¹,
赵刚⁴, 张成国^{1a}

(1. 河西学院 a. 农业与生物技术学院, b. 甘肃省高校河西走廊特色资源利用省级重点实验室, 甘肃 张掖 734000; 2. 临泽县职教中心, 甘肃 临泽 734200; 3. 临泽县国营五泉林场, 甘肃 临泽 734200; 4. 肃南县农牧业委员会, 甘肃 肃南 734400)

摘要: 为了探讨蒙古扁桃(*Amygdalus mongolica*)种群退化原因和实生苗繁育的疑难问题,以祁连山中部蒙古扁桃种子为材料,采用室内控制干旱胁迫、混合盐胁迫、变温与种子剥壳相结合的处理方法,研究了种子萌发及幼苗生长对逆境生态因子的响应。结果表明:采用清水对照、-0.15 MPa PEG 溶液处理,种子萌发率差异不显著($P>0.05$);不同 PEG 溶液处理(-0.32、-0.54、-0.81 MPa)条件下,种子萌发率依次极显著降低($P<0.01$);-1.15 MPa 处理条件下,种子不萌发;蒙古扁桃的种子萌发时间随着干旱加剧推迟,种子萌发指数、活力指数、初生根、根长、次生根个数和幼苗鲜重随水势极显著降低($P<0.01$),但在-0.32 MPa 处理下壮苗指数极显著增高,-0.15 MPa 处理次之;种子萌发的最低渗透势阈值为-0.81 MPa。种子萌发的最低混合盐胁迫阈值为1.6%,在轻度混合盐(0.2%~0.4%)胁迫下,初生根长度和次生根数量增加,随混合盐胁迫加剧,初生根长度、幼苗鲜重降低,表明幼苗对轻度混合盐胁迫首先采取降低生长量,促进根生长来进行适应。经低渗透势或高浓度混合盐胁迫后,部分种子休眠而保持生活力,未能萌发的种子复水后萌发率高达62%~96%,一次萌发率与恢复萌发率累计之和与对照萌发率无差异($P>0.05$)。种皮障碍是制约蒙古扁桃种子萌发的主要原因,机械破除果皮可打破种子休眠,低温层积(2~5℃)能极显著提高蒙古扁桃种子活力,变温层积(5~10℃)能极显著提高蒙古扁桃种子发芽率和活力。低水势、高的混合盐胁迫、高温、种子浅的休眠及幼苗差的抗寒性是蒙古扁桃种群退化的原因,在拯救蒙古扁桃种群和人工驯化时,应选择有灌溉条件、春季气温低的区域育苗,建议土壤解冻时播种,利用早春的低温破除种子休眠,培育壮苗。

关键词: 蒙古扁桃(*Amygdalus mongolica*); 萌发; 逆境; 生态因子

文章编号: 1000-694X(2018)01-0140-09

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2016.00135

中图分类号: S330.3

文献标志码: A

0 引言

种子萌发和幼苗生长是荒漠植物生命周期的重要环节,易受到外界环境因素的干扰,并影响植物后期的生长和存活^[1-4]。在西北干旱荒漠区,温度、光照、水分、盐碱、沙埋是影响植物生长的主要限制因素^[5-6]。干旱胁迫是种子萌发的首要限制性因素,但有限的降水渗透和地表水的冲刷去除或降低了表层土壤盐分,为植物种子萌发和幼苗生长提供了条件^[7]。盐胁迫通过离子毒害使种子失活或通过渗透作用延缓、抑制种子的萌发^[8]。温度影响种子或植株酶的活性,对种子活力、幼苗生长速率及幼苗存活

产生影响。在沙埋胁迫下,种子保持生活力,当胁迫解除或减轻时又恢复萌发的特性,是荒漠植物维持种群的生存策略。但在恶劣环境下,种子生活力丧失,是种群濒危的原因之一^[9]。

蒙古扁桃(*Amygdalus mongolica*)为蔷薇科李属植物,是亚洲中部戈壁荒漠区特有的旱生落叶灌木,也是盐碱地治理、防止水土流失的良好树种和具有较高生态价值的荒漠景观植物^[10-11]。其种仁可代替“郁李仁”入药,能润肠通便、止痰化咳、利尿,主治大便燥结、水肿、脚气等,为传统中药材;种仁油可食用,含油率约为40%^[12-14]。长期以来由于人类的过度利用,加上放牧牲畜喜啃食其茎叶,种群数量

收稿日期: 2016-05-16; **改回日期:** 2016-09-20

资助项目: 张掖市沙产业技术模式项目(144JTCG254-08);甘肃省农牧厅农业生物技术研究与应用开发项目(GNSW-2016-11);河西学院青年教师科研基金项目(QN-2014-21)

作者简介: 王进(1974—),男,甘肃张掖人,教授,主要从事种子生物学教学和种子生理方面的研究。E-mail: wangjin0810@163.com

通信作者: 颜霞(E-mail: yx790305@163.com)

急剧减少,现列为濒危植物和国家二级重点保护植物^[15-16]。

作者在蒙古扁桃生境地调查时发现,该地区的蒙古扁桃种群面积虽然较大,树体结果量较多,但春季很少见到幼苗更新生长,且幼苗死亡率较高,种群呈退化趋势。国内有关荒漠植物种子萌发的研究报告很多^[17-23],有关蒙古扁桃种子在逆境胁迫下的萌发研究未见报道。本试验通过测定干旱、混合盐、低温、冻害和高温胁迫条件下蒙古扁桃种子萌发和幼苗生长等相关指标,研究逆境胁迫因子对蒙古扁桃种子萌发特征的影响,为蒙古扁桃野生种群致危生态因子研究、人工驯化、栽培利用、种群恢复及异地引种提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料

蒙古扁桃种子于 2013 年 9 初采集于祁连山国家级自然保护区隆畅河自然保护站(38°50'N,99°38'E),阴干后剔除果肉,一部分剔除内果皮,一部分保留内种皮,冷藏(4℃)备用。

1.2 方法

1.2.1 干旱胁迫对种子萌发和幼苗生长的影响

干旱胁迫条件采用 5%、10%、15%、20%、25%、30%等 6 个梯度的 PEG(聚乙二醇,分子量为 6 000)溶液模拟,根据 PEG 溶液浓度与渗透势的关系方程^[24],20℃条件下 PEG 溶液的渗透势依次为-0.05、-0.15、-0.32、-0.54、-0.81、-1.15 MPa。以蒸馏水做对照(CK),模拟干旱胁迫

条件以 20 mL 的-0.05、-0.15、-0.32、-0.54、-0.81、-1.15 MPa 的 PEG 溶液湿润种子发芽床,共 7 个处理。每处理设 4 个重复,每重复 50 粒种子,采用 20℃全光照、纸卷(BP)萌发方法。为保持发芽床水势的恒定,每 2 d 更换一次 PEG 溶液处理的萌发床。每天记录萌发数。

1.2.2 土壤混合盐胁迫对种子萌发和幼苗生长的影响

在蒙古扁桃生长的荒漠盐碱地采用五点混合法取土样。该土壤总盐度 1%~4%,主要由 NaCl、CaCl₂、MgCl₂、Na₂SO₄、CaSO₄、MgSO₄等组成^[25]。用铁锹铲去表层土壤,并除净落叶,以蒙古扁桃植株为中心取样。取土样 1 000 g 放入锥形瓶中,加入 500 mL 蒸馏水,浸泡 24 h 后,振荡 12 h 再静置 12 h,取上清液并过滤 2 次,获得浓度为 5%的土壤混合盐母液,然后用电导仪将母液配制成 0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%、1.4%、1.6%和 1.8%的混合盐溶液,置于 4℃下保存备用。

以 30 mL 的盐渍土壤混合盐溶液湿润种子发芽床,对照设置为蒸馏水,共 10 个处理。萌发试验在人工智能气候箱内进行,在 20℃条件下采用全光照纸卷(BP)发芽法。每处理 4 个重复,每重复 50 粒种子。萌发试验期间,每天统计种子萌发个数。为保持种子发芽床盐浓度恒定,每 2 d 更换 1 次各混合盐溶液处理的发芽床。

1.2.3 储藏条件对蒙古扁桃带内果皮种子萌发影响

按表 1 的方式将带内果皮蒙古扁桃种子处理,每处理设 4 个重复,每重复 50 粒种子,采用 20℃全光照、沙中(1 cm)萌发方法进行试验。

表 1 储藏条件对蒙古扁桃带种子萌发影响试验

Table 1 Effects of storage conditions on germination of *Amygdalus mongolica* seed

处理序号	处理方法
处理一	将种子在低温 2~5℃下层积 30 d
处理二	将种子在低温 5℃、16 h,高温 10℃、8 h 下变温层积 30 d
处理三	将种子在冬季室外埋湿沙过冬(≤0℃)后置床
处理四	将剔除内果皮的蒙古扁桃种子在冬季室外埋湿沙越冬(≤0℃)
处理五	第二年三月初取土壤种子库种子(9 月中下旬采摘后,浅埋于地表 3~8 cm)
对照 1	剔除内果皮的种子
对照 2	干储藏的蒙古扁桃种子

1.2.4 温度对蒙古扁桃种子萌发的影响

按表 2 方式将剔除内果皮的蒙古扁桃种子进行

发芽试验,每处理设 4 个重复,每重复 50 粒种子,采用沙中(1 cm)置床萌发方法进行试验。

表 2 温度对蒙古扁桃种子萌发的影响试验

Table 2 Germination of <i>Amygdalus mongolica</i> seed in 16 h/8 h alternating light and dark under variable temperature	
处理序号	处理方法
处理一	蒙古扁桃种子在 15 ℃/8 ℃、8 h/16 h 变光变温下模拟初春条件下置床
处理二	蒙古扁桃种子在 20 ℃/10 ℃、8 h/16 h 变光变温下模拟春末条件下置床
处理三	蒙古扁桃种子在 25 ℃/15 ℃、8 h/16 h 变光变温下模拟初夏条件下置床
处理四	蒙古扁桃种子在 30 ℃/20 ℃、8 h/16 h 变光变温下模拟盛夏条件下置床

1.2.5 测定指标与方法

干旱、混合盐和温度胁迫发芽试验期间,每天观察记录种子萌发数,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 $GI = \sum Gt/Dt$ 公式计算,活力指数按 $VI = GI \times S$ 公式计算;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%。以上公式中:G 为萌发率,GI 为萌发指数,Gt 为逐日萌发数,Dt 为相应的萌发天数,VI 为活力指数,S 为幼苗鲜重^[26-29]。在萌发试验的第 15 天,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、幼苗鲜重和壮苗指数,壮苗指数=(幼苗粗/幼苗高度)×

幼苗干重。

1.2.6 数据处理方法

数据统计和处理使用 SPSS 10.0 软件,采用单因素方差分析和最小显著差法(LSD)检验各平均值间的差异显著性,结果以平均数±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对种子萌发的响应

在蒸馏水对照和-0.05 MPa 溶液处理下,种子第 2 天开始萌发;随着干旱胁迫的加剧,在-0.15、-0.32、-0.54、-0.81 MPa 溶液处理下,第 3、4、8、8 天种子才开始萌发(表 3);-1.15 MPa 的处理下不发芽。

表 3 土壤干旱胁迫条件下的蒙古扁桃种子活力指标

Table 3 Responses of <i>Amygdalus mongolica</i> seeds' vigor to different simulated drought stress					
处理水势/MPa	发芽起始天数	发芽率/%	发芽指数	活力指数	恢复萌发率/%
对照	2	96.14±0.66 ^{Aa}	39.36±0.56 ^{Aa}	16.50±0.72 ^{Aa}	0.00±0.00 ^{Cd}
-0.05	2	95.72±1.43 ^{Aa}	31.57±0.42 ^{Bb}	11.84±0.15 ^{Bb}	0.00±0.00 ^{Cd}
-0.15	3	95.72±1.43 ^{Aa}	20.86±0.48 ^{Cc}	6.79±0.27 ^{Cc}	0.00±0.00 ^{Cd}
-0.32	4	83.57±1.37 ^{Bb}	10.36±0.17 ^{Dd}	2.94±0.08 ^{Dd}	67.21±0.69 ^{Bc}
-0.54	8	35.99±1.44 ^{Cc}	3.09±0.15 ^{Ec}	0.78±0.04 ^{Ec}	91.91±1.75 ^{AbCc}
-0.81	8	5.72±1.17 ^{Dd}	0.58±0.11 ^{Ff}	0.12±0.02 ^{Ec}	92.67±1.19 ^{Aab}
-1.15	—	—	—	—	95.56±0.76 ^{Aa}

同列中大写字母表示在 0.01 水平差异显著性,小写字母表示在 0.05 水平差异显著性。

对照条件下,蒙古扁桃种子的萌发率最高,达到 96.14%。-0.05、-0.15 MPa 溶液处理条件下种子萌发率与对照无显著差异($P>0.05$),而-0.32、-0.54、-0.81 MPa 溶液处理下种子萌发率极显著降低($P<0.01$),-1.15 MPa 处理条件下种子不萌发。

随着干旱的加剧,水势逐渐降低,蒙古扁桃的种子萌发指数和活力指数在各水势间极显著降低($P<0.01$),种子萌发的最低渗透势阈值为-0.81 MPa;-0.32、-0.54、-0.81、-1.15 MPa 溶液胁

迫条件下不萌发的种子经复水处理后,恢复萌发率随胁迫加剧显著提高,累计恢复萌发率与对照萌发率无差异。

2.2 干旱胁迫对幼苗生长的影响

随干旱程度的增加,蒙古扁桃幼苗的幼苗生长指标,如初生芽、根长、次生根个数和幼苗鲜重随水势极显著($P<0.01$)降低,均表现为对照处理的数值最大(表 4)。在-0.32 MPa 溶液处理下,壮苗指数极显著高于其他处理($P<0.01$),-0.15 MPa 溶

表 4 模拟干旱条件下蒙古扁桃的幼苗生长情况

Table 4 Responses of *Amygdalus mongolica* seedling to different simulated drought stress

处理水势/MPa	初生芽长/cm	根长/cm	次生根个数	幼苗鲜重/(g/5 株)	壮苗指数
对照	5.89±0.19 ^{Aa}	13.65±0.37 ^{Aa}	16.08±0.45 ^{Aa}	2.083±0.04 ^{Aa}	0.0090±0.0003 ^{Bc}
−0.05	5.33±0.07 ^{Bb}	10.89±0.34 ^{Bb}	10.88±0.52 ^{Bb}	1.86±0.02 ^{Bb}	0.0096±0.0003 ^{Bbc}
−0.15	4.64±0.11 ^{Cc}	9.28±0.29 ^{Cc}	6.80±0.50 ^{Cc}	1.64±0.08 ^{Cc}	0.0106±0.0003 ^{Bb}
−0.32	1.74±0.06 ^{Dd}	3.39±0.23 ^{Dd}	2.76±0.17 ^{Dd}	1.43±0.04 ^{Dd}	0.0239±0.0012 ^{Aa}
−0.54	—	1.81±0.18 ^{Ec}	0.86±0.08 ^{Ec}	1.26±0.05 ^{De}	—
−0.81	—	0.88±0.04 ^{Ff}	0.00±0.00 ^{Ec}	0.90±0.02 ^{Ef}	—
−1.15	—	—	—	—	—

同列中大写字母表示在 0.01 水平差异显著性,小写字母表示在 0.05 水平差异显著性。

液处理显著高于对照($P>0.05$),−0.05 MPa 溶液处理与对照相比无显著差异($P>0.05$)。

2.3 不同浓度混合盐胁迫对种子萌发的影响

随着混合盐浓度的升高,蒙古扁桃种子的发芽率、发芽指数和活力指数逐渐降低,起始萌发天数推迟(表 5)。在含盐量<0.8%条件下,蒙古扁桃种子第 2 天开始萌发。随着盐浓度的提高,种子起始萌发时间推迟。含盐量达到 1.8%时,蒙古扁桃种子

不萌发。受到 1.0%~1.8%盐胁迫的蒙古扁桃吸胀种子复水后的萌发率随胁迫加剧极显著提高($P<0.01$),一次萌发率与恢复萌发率累计和与对照萌发率无差异,蒙古扁桃种子的萌发恢复率逐渐升高,高达 96.75%。综上所述,盐浓度的增加显著抑制蒙古扁桃种子的萌发;种子萌发对混合盐的耐受阈值为 0.8%(P50 规则);在不良条件下的不萌发的种子,如果重新给予良好的环境条件,仍然可以达到较高的萌发率。

表 5 不同浓度混合盐胁迫对蒙古扁桃种子萌发的影响

Table 5 The influence of concentrations of salt to *Amygdalus mongolica* germination

含盐量/%	起始萌发天数	发芽率/%	发芽指数	活力指数	萌发恢复率/%
对照	2	95.56±2.72 ^{Aa}	80.48±2.85 ^{Bb}	36.51±1.86 ^{Aa}	0±0.00 ^{Dd}
0.2	2	93.89±1.36 ^{Aa}	85.74±2.13 ^{Aa}	36.99±0.68 ^{Aa}	0±0.00 ^{Dd}
0.4	2	93.89±3.90 ^{Aa}	80.98±4.41 ^{Bb}	33.95±1.90 ^{Bb}	0±0.00 ^{Dd}
0.6	2	93.33±2.98 ^{Aa}	66.94±1.72 ^{Cc}	23.79±0.64 ^{Cc}	0±0.00 ^{Dd}
0.8	2	93.33±3.65 ^{Aa}	51.14±4.72 ^{Dd}	17.85±1.77 ^{Dd}	0±0.00 ^{Dd}
1.0	3	86.11±3.90 ^{Bb}	23.62±2.58 ^{Ec}	7.98±0.95 ^{Ec}	61.75±7.12 ^{Cc}
1.2	3	80.00±3.65 ^{Cc}	21.70±3.62 ^{Ec}	6.50±0.65 ^{Ef}	75.50±6.25 ^{Bb}
1.4	5	35.56±2.72 ^{Dd}	4.61±0.49 ^{Ff}	1.07±0.14 ^{Fg}	94.00±2.27 ^{Aa}
1.6	6	16.11±3.28 ^{Ec}	2.14±0.46 ^{FGfg}	0.47±0.09 ^{Fg}	96.75±3.76 ^{Aa}
1.8	—	0.00±0.00 ^{Ff}	0.00±0.00 ^{Gg}	0.00±0.00 ^{Fg}	96.25±4.00 ^{Aa}

同列中大写字母表示在 0.01 水平差异显著性,小写字母表示在 0.05 水平差异显著性。

2.4 不同浓度混合盐胁迫对幼苗生长的响应

混合盐浓度<0.4%胁迫条件下,蒙古扁桃的苗高和根长生长良好,显著优于更高的盐胁迫条件(表 6)。低盐浓度条件下(0.2%~0.4%),蒙古扁桃幼苗的初生生根长度随盐浓度的升高而增长,较高盐度条件下(>0.4%),幼苗根系生长受到抑制。含盐

量 1.2%~1.6%胁迫条件下,蒙古扁桃幼苗只有初生根伸长,没有次生根产生。含盐量 1.6%胁迫条件下,蒙古扁桃种子只长根不长芽。综上所述,蒙古扁桃幼苗生长对混合盐的耐受阈值约为 0.8%(P₅₀ 规则);蒙古扁桃幼苗的株高和鲜重,随着盐浓度的增加而降低;较低盐浓度条件(0.2%~0.4%)能提高蒙古扁桃幼苗根的伸长,增加次生根个数,幼苗综

表 6 不同浓度混合盐胁迫对蒙古扁桃幼苗生长的响应

Table 6 The influence of concentrations of salt to *Amygdalus mongolica* growth

含盐量/%	初生芽/cm	根长/cm	次生根个数	幼苗鲜重/(g/5 株)
对照	4.26±0.18 ^{Aa}	8.66±0.26 ^{Bb}	1.23±0.10 ^{Bb}	2.27±0.06 ^{Aa}
0.2	4.13±0.08 ^{Aab}	9.57±0.35 ^{Aa}	1.68±0.15 ^{Aa}	2.19±0.11 ^{Bb}
0.4	3.97±0.37 ^{Ab}	9.94±0.76 ^{Aa}	1.83±0.53 ^{Aa}	2.10±0.07 ^{Cc}
0.6	2.68±0.19 ^{Bc}	6.20±0.50 ^{Cc}	1.17±0.12 ^{Bb}	1.80±0.05 ^{Dd}
0.8	2.36±0.23 ^{Cd}	4.62±0.40 ^{Dd}	0.83±0.12 ^{Cc}	1.74±0.04 ^{DEd}
1.0	2.10±0.28 ^{Ce}	3.27±0.24 ^{Ec}	0.68±0.08 ^{Cc}	1.69±0.04 ^{Ec}
1.2	1.32±0.16 ^{Df}	2.05±0.37 ^{Ff}	0.00±0.00 ^{Dd}	1.57±0.09 ^{Ff}
1.4	0.37±0.06 ^{Eg}	1.66±0.18 ^{Ff}	0.00±0.00 ^{Dd}	1.16±0.04 ^{Gg}
1.6	0.00±0.00 ^{Fh}	0.95±0.28 ^{Gg}	0.00±0.00 ^{Dd}	1.08±0.11 ^{Hh}
1.8	0.00±0.00 ^{Fh}	0.00±0.00	0.00±0.00 ^{Dd}	0.00±0.00 ^{Ii}

同列中大写字母表示在 0.01 水平差异显著性,小写字母表示在 0.05 水平差异显著性。

合表现为抗逆性强;低盐条件下,促进蒙古扁桃幼苗次生根的产生,较高盐度(>1.2%)抑制次生根的产生。

2.5 储藏条件对蒙古扁桃带内果皮种子萌发影响

由表 7 可见,带内果皮的蒙古扁桃种子萌发慢,萌发率极显著低于除去内果皮的种子($P<0.01$),低温层积、变温层积和种子冬季室外沙埋可极显著提高种子萌发率,但萌发率仍极显著低于机械破除果皮的种子($P<0.01$);冬季沙埋致使种子冻死,低

温层积和冬季室外沙埋可极显著提高种子活力指数和萌发指数;9 月进入土壤种子库层积的种子与在 5~10℃变温条件下层积的种子,10 月初,观测到有 30%种子萌动,11 月初,78%种子胚根突破种皮,置床时大部分果壳脱落,但土壤封冻前萌发的种子,第二年春天全部死亡。综上所述,蒙古扁桃内果皮对种子萌发有阻碍作用,在严寒的冬季,内果皮对土壤种子库中的种子有保护作用,低温层积、变温层积和室外沙埋可极显著提高发芽率和种子活力,种子休眠浅,萌发温度低,幼苗抗冻性差。

表 7 不同储藏条件对蒙古扁桃带内果皮种子萌发影响

Table 7 Impacts of the germination of *Amygdalus mongolica* seed

处理	出苗起始天数	发芽率/%	新鲜不发芽种子数	发芽指数	活力指数
低温层积(2~5℃)	7	24±3.42 ^{Dd}	74±3.11 ^{Bb}	2.66±0.34 ^{Dd}	1.86±0.26 ^{Ec}
变温层积(5~10℃)	4	78±3.12 ^{Bb}	17±3.11 ^{Cc}	8.66±0.34 ^{Bb}	7.86±0.26 ^{Cc}
种子冬季室外沙埋	4	34±3.45 ^{Cc}	15±3.11 ^{Cc}	6.76±0.41 ^{Cc}	4.86±0.26 ^{Dd}
种仁冬季室外沙埋	4	1±0.86 ^{Ec}	0±0.00 ^{Ec}	0.25±0.50 ^{Ec}	0.45±0.36 ^{Ff}
模拟土壤种子库种子处理	3	1±0.50 ^{Ec}	7±3.25 ^{Dd}	0.35±0.50 ^{Ec}	0.55±0.75 ^{Ff}
对照 1	3	96±0.66 ^{Aa}	0±0.00 ^{Ec}	26.50±0.48 ^{Aa}	13.50±0.42 ^{Aa}
对照 2	11	1±1.15 ^{Ec}	98±1.15 ^{Aa}	0.08±0.10 ^{Ec}	0.04±0.04 ^{Ff}

同列中大写字母表示在 0.01 水平差异显著性,小写字母表示在 0.05 水平差异显著性。

2.6 温度对蒙古扁桃种子萌发的影响

由表 8 可见,8 h/16 h 光暗交替,30℃/20℃、25℃/15℃、20℃/10℃变温条件下,蒙古扁桃第 3 天开始萌发,15℃/8℃条件下种子第 7 天开始萌发;从萌发率来看,16 h/8 h 光暗交替,20℃/10℃变温条件下发芽率高达 98%,极显著高于其他变温

条件($P<0.01$),在 16 h/8 h 光暗交替,30℃/20℃、25℃/15℃变温条件下,发芽率差异不显著($P>0.05$),但极显著高于 15℃/8℃变温条件下的发芽率($P<0.01$);从平均发芽日数来看,在 16 h/8 h 光暗交替下,随日夜温度的升高,平均发芽日数极显著减少($P<0.01$);从发芽指数和活力指数来看,在 16 h/8 h 光照交替下,随日夜温度的升高,发芽指数

表 8 不同温度对蒙古扁桃种子萌发的影响

Table 8 16 h/8 h alternating light and dark under variable temperature of the germination of <i>Amygdalus mongolica</i> seed					
处理	起始萌发时间(第 <i>n</i> 天)	数发芽率/%	平均发芽日数	发芽指数	活力指数
30 ℃/20 ℃	3	82±5.54 ^{Bb}	2.81±0.42 ^{Cd}	25.84±0.75 ^{Aa}	12.31±0.36 ^{Aa}
25 ℃/15 ℃	3	85±2.04 ^{Bb}	3.42±0.30 ^{Cc}	24.14±0.78 ^{Bb}	10.82±0.46 ^{Bb}
20 ℃/10 ℃	3	98±1.70 ^{Aa}	5.15±0.08 ^{Bb}	20.22±0.38 ^{Cc}	8.86±0.30 ^{Cc}
15 ℃/8 ℃	7	53±3.46 ^{Cc}	8.39±0.26 ^{Aa}	6.41±0.43 ^{Dd}	2.43±0.13 ^{Dd}

同列中大写字母表示在 0.01 水平差异显著性,小写字母表示在 0.05 水平差异显著性。

和活力指数极显著提高($P<0.01$)。

2.7 温度对蒙古扁桃幼苗生长的影响

8 h/16 h 光暗交替、15 ℃/8 ℃变温条件下,幼苗初生根乳白粗短,无次生根,仅 2%子叶黄色平展,98%子叶被种皮包被,顶芽和中胚轴未伸长(表 9);20 ℃/10 ℃变温条件下,初生根粗壮,根尖新鲜,次生根较少,中胚轴和上胚轴稍有伸长,真叶黄绿色,子叶黄绿色稍展;25 ℃/15 ℃变温条件下,初生根健壮,根尖滞长死亡,次生根较多,种子萌发后幼苗第 12 天开始有死苗情况,上胚轴细长,子叶翠绿色平展,真叶淡绿色;在 30 ℃/20 ℃变温条件下,初生根黄褐色,稍有伸长,表现滞长,根尖干死,有较多次生根发生,种子萌发后幼苗第 9 天开始有死苗

情况,上胚轴细弱,幼苗生长量小,表现出抑制生长状,真叶宽大、黑绿,子叶零星平展、灰绿。随日夜温度的升高,苗高、次生根数、5 苗鲜重呈升高趋势,根长先升高后降低(表 9);30 ℃/20 ℃日夜变温变光的苗高显著高于 25 ℃/15 ℃日夜变温变光($P<0.05$),极显著高于 20 ℃/10 ℃、15 ℃/8 ℃日夜变温变光的苗高($P<0.01$);20 ℃/10 ℃根长极显著高于 30 ℃/20 ℃、25 ℃/15 ℃、15 ℃/8 ℃日夜变温变光的根长($P<0.01$);30 ℃/20 ℃日夜变温变光的次生根和幼苗鲜重极显著高于其他变温($P<0.01$)。综上所述,在日/夜变换光照的条件下,20 ℃/10 ℃的变温是蒙古扁桃种子发芽的最适温度,30 ℃/20 ℃、25 ℃/15 ℃有利于种子萌发,有利于苗高、次生根和苗鲜重的增加。

表 9 不同温度对蒙古扁桃幼苗生长的影响

Table 9 16 h/8 h alternating light and dark under variable temperature on seedling growth of <i>Amygdalus mongolica</i>				
处理	苗高/cm	根长/cm	次生根数	5 苗鲜重/g
30 ℃/20 ℃	1.63±0.07 ^{Aa}	1.98±0.128 ^{Cc}	4.55±0.42 ^{Aa}	2.38±0.12 ^{Aa}
25 ℃/15 ℃	1.52±0.08 ^{Ab}	2.16±0.26 ^{Bc}	3.73±0.22 ^{Bb}	2.24±0.03 ^{Bb}
20 ℃/10 ℃	1.31±0.07 ^{Bc}	3.64±0.13 ^{Aa}	1.28±0.25 ^{Cc}	2.18±0.05 ^{Bb}
15 ℃/8 ℃	0.00±0.00 ^{Cd}	2.60±0.23 ^{Bb}	0.00±0.00 ^{Dd}	1.90±0.08 ^{Cc}

同列中大写字母表示在 0.01 水平差异显著性,小写字母表示在 0.05 水平差异显著性。

3 结论与讨论

3.1 种子萌发对干旱胁迫的响应特征及其生态学意义

不同类型的植物种子,萌发时对水势的要求不同,有学者认为,限水分条件下种子萌发缓慢、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^[30]。本试验结果表明,蒙古扁桃种子在较高水势下萌发快,在低水势下萌发相对较慢,且随干旱胁迫的加剧,蒙古扁桃种子发芽率、发芽指数、活力指数均呈下降趋势,蒙古扁桃种子萌发的最低渗透势阈值为-0.81 MPa。与柠条和花棒(种子萌发的最

低渗透势阈值分别为-2.1 MPa 和-1.8 MPa)相比^[17],蒙古扁桃种子萌发对干旱胁迫更为敏感,种子萌发对干旱胁迫的响应模式体现了其对干旱的特殊适应策略,该特征对种的延续具有重要的生态学意义。在人工直播栽培蒙古扁桃时,就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 幼苗生长对干旱胁迫的响应特征及其对苗期管理的启示

壮苗指数是衡量幼苗素质的数量指标,培育壮苗,不仅有利于群体合理发展、个体稳健生长,而且能使单株分根多、分根大且主根长,是根深叶茂的基

础。试验结果显示,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,即使轻度的干旱胁迫对幼苗生长也具有显著的限制性,在干旱胁迫下,初生芽比根的生长受干旱胁迫影响更大,这与对红砂、霸王种子的研究结果一致^[20-23],这正是蒙古扁桃幼苗死亡率较高、整个种群呈退化趋势的原因所在。另外,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,可能由于干旱抑制了地下部分和地上部分的伸长,促进了上胚轴增粗,降低了种子萌发时的物质损耗。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,对生长过快的幼苗适当限制水分,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 种子萌发和幼苗生长对混合盐胁迫的响应特征及其对苗期管理的启示

在低度和中度盐胁迫下,蒙古扁桃起始萌发天数、萌发率差异不显著,在 0.2% 的混合盐胁迫下,发芽速度有增快趋势,重度胁迫下,发芽起始时间推迟,发芽率降低,活力指数随盐胁迫浓度的升高而降低。蒙古扁桃的初生芽长度和幼苗生长量随混合盐胁迫的加剧而降低,根长、次生根个数随盐胁迫的加剧先升高(0~0.4%)后降低(0.4%~1.6%)。这些结果表明即使轻度的盐胁迫对其幼苗生长也具有限制性影响,在混合盐胁迫下,初生芽比根的生长受干旱胁迫影响更大,幼苗通过加速根的生长和次生根的发生,以适应土壤盐分胁迫,防止幼苗在混合盐条件下“闪苗”,这与马闯等^[31]对红柳种子研究结果一致。因此,在人工直播栽培蒙古扁桃时,应注意选择含盐量在 0.3%~0.4% 的造林地比较合适,对含盐量高的田块,通过排盐、洗盐或增施盐碱改良剂等措施,确保种子萌发和幼苗健壮生长,防止因盐胁迫导致种子不萌发、幼苗生长不良或闪苗^[32]。

3.4 干旱、盐碱胁迫后种子复水萌发特性对物种在干旱、盐碱地种群扩繁的意义

经干旱或高浓度混合盐胁迫后,部分种子强迫休眠而保持生活力,该类蒙古扁桃种子复水后,随着干旱加剧或混合盐浓度的继续增大种子萌发恢复率极显著升高($P<0.01$),当渗透势为-0.81、-1.15 MPa 时种子的萌发恢复率分别为 93%、96%,混合盐浓度为 1.4%~1.8% 时种子的萌发恢复率为 93%~96%,干旱或高浓度混合盐胁迫下种子一次

发芽率和复水后发芽率累计与种子在低盐胁迫下发芽率差异不显著($P>0.05$)。这表明干旱或盐胁迫解除或减轻,种子能恢复萌发。这是蒙古扁桃在干旱、胁迫等恶劣环境下维持种群的生存策略,尤其在降雨或大水浇灌后,水势升高,干旱解除或盐碱稀释后,种子能迅速萌发,建立种群。这与王志才等^[8]对花花柴种子的研究结果一致。

3.5 生境温度与蒙古扁桃种子萌发及物种致频的关系

在荒漠或半荒漠地区,不同植物种子的萌发对温度具有不同的要求。种子的适宜萌发温度与具体生境的降水或土壤水分密切相关^[7]。蒙古扁桃种子的适宜萌发温度为 10~20℃,是对其生境的适应结果。蒙古扁桃种子 8 月底 9 月初成熟后,在重力、雨水或风沙作用下形成土壤种子库,此时,西北已进入秋季,雨水充沛,在秋季较低的气温作用下,种子迅速破除休眠而萌发,萌发的种子和出土的幼苗遭遇冬季低温而致死是该物种在自然环境中致频的主要原因。而少量封冻时进入土壤的种子,在种皮的保护下顺利越冬,翌春土壤解冻,种子破除休眠,快速出土,出苗土幼苗,当遇高温、干旱等逆境,部分幼苗也会致死。

荒漠地区的气候特点是稀少的、不规则的降水量与很大的蒸发量并存。只有含水量、盐分浓度和温度协调变化,蒙古扁桃种子才会大量萌发,但这样的机率很小。再加上人类活动的干扰,蒙古扁桃幼苗补充困难,种群呈衰退趋势。在拯救蒙古扁桃种群和人工驯化时,应选择有灌溉条件且春季气温低的区域育苗,建议土壤解冻时播种,利用早春的低温破除种子休眠,培育壮苗。在大棚内或夏秋季节育苗,建议将温度调整至 25℃ 以下,防止高温引起幼苗死亡,降低出成苗率。

参考文献:

- [1] Miller T. Effects of emergence time on survival and growth in an early old-field plant community[J]. *Oecologia*, 1987, 72: 272-278.
- [2] 张肖,王旭,焦培培,等. 胡杨(*Populus euphratica*)种子萌发及胚生长对盐旱胁迫的响应[J]. *中国沙漠*, 2016, 36(6): 1597-1605.
- [3] 曾幼玲,蔡忠贞,马纪. 盐分和水分胁迫对两种盐生植物盐爪爪和盐穗木种子萌发的影响[J]. *生态学杂志*, 2006, 25(9): 1014-1018.
- [4] 高天鹏,王春燕,张勇,等. 播种深度和土壤水分对黄花补血草种子萌发的影响[J]. *中国沙漠*, 2009, 29(2): 529-535.

[5] Maun M A. Adaptations of plants to burial in coastal sand dunes[J]. Canadian Journal of Botany, 1996, 74: 1322—1330.

[6] Omami E N, Haigh A M, Medd R W, et al. Changes in germinability, dormancy and viability of *Amaranthus retroflexus* as affected by depth and duration of burial[J]. Weed Research, 1999, 39: 345—354.

[7] 高瑞如, 赵瑞华, 张双凤, 等. 盐分和温度对盐节木种子萌发的影响[J]. 西北植物学报, 2007, 27(11): 2281—2285.

[8] 王志才, 牙库甫江·阿西木, 王艳, 等. 水盐胁迫对花花柴种子萌发的影响[J]. 中国沙漠, 2012, 32(5): 750—755.

[9] Keiffer C W, Ungar I A. Germination responses of halophyte seeds exposed to prolonged hypersaline conditions[M]//Khan M A, Ungar I A. Biology of Salt Tolerant Plants. Karachi, Pakistan: Department of Botany, University of Karachi. 1995: 43—50

[10] 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.

[11] 陆玲娣. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1986: 8—17.

[12] 王进, 马国泰, 宋涛, 等. 干旱、半干旱地区蒙古扁桃种子萌发对土壤水分和播种深度的响应特征[J]. 冰川冻土, 2014, 36(5): 1313—1320.

[13] 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.

[14] 斯琴巴特爾, 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.

[15] 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(1): 674.

[16] 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.

[17] 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.

[18] 罗光宏, 王进, 颜霞, 等. 干旱胁迫对唐古特白刺(*Nitraria tangutorum*)种子吸胀萌发和幼苗生长的影响[J]. 中国沙漠, 2014, 34(6): 1537—1543

[19] 李悦, 陈志强, 时瑞亭, 等. 不同白榆家系苗期耐盐碱综合评价[J]. 北京林业大学学报, 2011(3): 8—11.

[20] 王进, 张勇, 赵刚, 等. 蒙古扁桃种子萌发和幼苗生长对渗透胁迫的响应[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(1): 191—195.

[21] 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.

[22] 石勇, 刘源, 殷恒霞, 等. 红砂(*Reaumuria soongarica*)种子萌发特性及其局部适应性[J]. 中国沙漠, 2016, 36(3): 644—650.

[23] 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.

[24] Michel B E, Kaufmann M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000[J]. Plant Physiology, 1973, 51: 914—916.

[25] 闫治斌, 秦嘉海, 王爱勤, 等. 盐碱土改良材料对草甸盐土理化性质与玉米生产效益的影响[J]. 水土保持通报, 2011, 32(2): 122—127.

[26] 尹燕枰, 董学会. 种子学实验技术[M]北京: 中国农业出版社, 1997: 87—96.

[27] 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.

[28] 国际种子检验协会. 种苗评定与种子活力测定方法手册[M]. 徐本美、韩建国, 等译. 北京: 北京农业大学出版社, 1993: 53—56.

[29] 胡晋. 种子生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 16.

[30] 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.

[31] 马闯, 张文辉, 刘新成, 等. 盐分和水分的胁迫对红柳种子萌发的影响[J]. 植物研究, 2008(4): 465—470.

[32] 罗君, 彭飞, 王涛, 等. 黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)种子萌发及幼苗生长对盐胁迫的响应[J]. 中国沙漠, 2017, 37(2): 264—267.

Response of the Seed Germination and Seedling Growth of
Amygdalus mongolica to Stresses

Wang Jin¹, Yan Xia^{1b,2}, Li Junyuan³, Xie Quangang¹, Zhang Yong¹, Zhao Gang⁴, Zhang Chengguo^{1a}

(1.a.College of Agriculture and Biotechnology/b.Gansu Universities Provincial Key Laboratory for Utilization of Fea-
tured Resources in Hexi Corridor, Hexi University, Zhangye 734000, Gansu, China; 2.Linze Centre of Professional Ed-
ucation, Linze 734200, Gansu, China; 3.Linze State-owned Wuquan Forest Farm, Linze 734200, Gansu, China; 4.Com-
mission of Agriculture and Animal husbandry in Sunan County, Sunan 734400, Gansu, China)

Abstract: In order to investigate the causes of degradation and the difficult problems in seedlings breeding of *Amygdalus mongolica*, the response characteristics of the seed germination and seedling growth of *Amygdalus mongolica* to adverse ecological factors were investigated, using a method of indoor control of drought stress, mixed salt stress, variable temperatures and seed husking, with the seeds of *A. mongolica* in the middle section of the Qilian Mountain. The results showed insignificant difference in the germination rate ($P>0.05$) of the *A. mongolica* seeds processed in clean water for control and -0.15 MPa PEG solution, and significant sequential decrease in the germination rate ($P<0.01$) processed in the water potentials of -0.32 , -0.54 , and -0.81 MPa, and non-germination processed in -1.15 MPa, and non-germination processed in -1.15 MPa. As the drought worsened and water potential decreased, the germination was delayed, the germination and vitality indices, the primary bud rates, root lengths, number of secondary roots and fresh weights of seedlings were on a significantly decreasing trend ($P<0.01$). But the sound seedling index were significantly increased in case of treatment in -0.32 MPa. And the lowest thresholds of osmotic potential for seed germination was -0.81 MPa. The lowest mixed salt stress threshold for seed germination was 1.6% . Under light mixed salt stress ($0.2\% - 0.4\%$), the length of primary buds and the number of secondary roots increased. With the increase in the mixed salt stress, the dry weight of primary buds and the fresh weight of seedlings were decreased, indicating that the seedlings responded and adapted to light mixed salt stress by reducing growth to promote root growth. After the stress of low osmotic potential or high-concentration mixed salt, a certain amount of the seeds developed into dormancy to maintain life force. The ungerminated seeds showed a germination rate of $62\% - 96\%$ after rewatering, and the total of the primary germination rate and the re-germination rate was not different from the germination rate of the control seeds ($P>0.05$). The obstacle of seed coat is the main factor restricting seed germination. Seed dormancy can be interrupted by mechanical peeling. Stratification of seeds in low temperature ($2 - 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) can significantly enhance seed vitality, and stratification in variable temperatures ($5 - 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) can significantly improve the germination rate and vigor. The causes of degradation of *A. mongolica* include low water potential, high salt stress, high temperature, sensitive dormancy of seeds, and poor cold resistance of seedlings. For saving and manual breeding of *A. mongolica*, an area with irrigation conditions and of low temperature in spring should be selected for raising of seedlings, and sowing of seeds is suggested to occur at the time of soil thawing, to take advantage of the low temperature in early spring to and wake the seeds from their dormancy and cultivate strong seedlings.

Key words: *Amygdalus mongolica*; germination; adverse; ecological factors