

DOI:10.7522/j.issn.1000-0240.2017.0049
WANG Jin, YAN Xia, LI Junyuan, et al. A study on spatial distribution pattern of seed rain and seed germination characteristics of endangered plant *Amygdalus mongolica* [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2017, 39(2): 429–434. [王进, 颜霞, 李军元, 等. 蒙古扁桃种子雨散布及种子萌发特性研究[J]. 冰川冻土, 2017, 39(2): 429–434.]

蒙古扁桃种子雨散布及种子萌发特性研究

王 进^{1,3}, 颜 霞³, 李军元², 张 勇^{1,3*}, 谢全刚^{1,3}, 李 刚^{3,4}, 顾文豪^{1,3}

(1. 河西学院 农业与生物技术学院, 甘肃 张掖 734000; 2. 临泽县国营五泉林场, 甘肃 临泽 734200; 3. 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; 4. 张掖市东大山自然保护区管理站, 甘肃 张掖 734000)

摘 要:以蒙古扁桃(*Amygdalus mongolica* Maxim)种群和种子为研究材料,通过物理特性、休眠特性、萌发特性的研究,探讨种群致濒因素。结果表明,蒙古扁桃种子比重、体积和千粒重大,散布时间较集中,散布格局是聚集型散布,散布主要依靠自身重力,靠动物散布和水力作用的散布,使种子能传播较远的距离。制约种子萌发的主要因素是种皮障碍和生理休眠(10%),采用 35℃条件下处理 72 h 后机械破除果皮可破除种子休眠,种子低温(2~5℃)层积处理能极显著($P<0.01$)提高活力,种子变温(5~10℃)层积能极显著($P<0.01$)提高发芽率和活力,种子萌发对光照不敏感。蒙古扁桃种子休眠较浅,种子萌发所需温度较低,冬前进入土壤库的种子迅速萌发,因不能度过严冬而死亡,是致濒的主要原因。封冻时进入土壤库的种子,在种皮保护下越冬,仍有很高成苗率,开展人工繁育是拯救蒙古扁桃资源的直接措施。

关键词:蒙古扁桃;种子特性;种子萌发;种子散布;种群致濒

中图分类号:S351 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-0240(2017)02-0429-06

0 引言

蒙古扁桃(*Amygdalus mongolica* Maxim)又称山樱桃、土豆子,蒙古语名称叫乌兰布依勒斯,是蔷薇科(Rosaceae)李属(*Prunus* L.)的落叶灌木,每年4月底5月初开花,8月中下旬到9月初成熟,种子为核果。在我国,蒙古扁桃分布北界在蒙古国南部的戈壁至阿尔泰山,南界在贺兰山南段至河西走廊中部一带,东界在阴山山脉的九峰山,西界与阿拉善荒漠西界大体一致,一般连片生长,结构简单,伴生种少。蒙古扁桃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]。同时是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]。

长期以来由于人类利用不当加之被牲畜啃食其植株,造成目前资源匮乏。它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]。

在自然环境中,蒙古扁桃无性繁殖能力极差,种子繁殖是该物种远距离传播所依赖的方式,种子的特征特性对物种的生存具有重要意义。国内外学者已从植株形态特征、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对蒙古扁桃开展了大量的研究^[7-9]。对种子物理特性、萌发特性和休眠特性与种群致濒关系等方面的研究鲜有报道。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蒙古扁桃种群和种子为研究材料,通过物理特性、休眠特性、萌发特性的研究,探讨种群致濒因素,为蒙古扁桃的人工驯化、栽培利用、种群恢复及种

收稿日期: 2016-10-20; 修订日期: 2017-02-20
基金项目: 张掖市沙产业技术模式项目(144JTCG254-08); 2014 年中医药部门公共卫生专项“中药原料质量监测体系建设”; 甘肃省农业生物技术研究与应用开发项目(GNSW-2016-11)资助
作者简介: 王进(1974-),男,甘肃张掖人,教授,2010 年在甘肃农业大学获硕士学位,从事种子生物学教学和种子生理方面的研究。
E-mail: wangjin0810@163.com
* 通讯作者: 张勇, E-mail: zhangyong@hxu.edu.cn.

子加工处理提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试蒙古扁桃种群位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站(38°50′ N、99°38′ E), 该地区海拔 2 361 m, 年均降水量 458.2 mm, 年潜在蒸发量约 1 000 mm, 年平均气温 3.6 ℃, 无霜期 93 天, 土壤类型为森林灰褐土。成熟的蒙古扁桃种子于 2013 年 8 月末采集, 剔除果肉并阴干, 获净种子 3 kg。种子在 4 ℃冷柜中储存待用。

1.2 试验方法

1.2.1 种子雨的散布方式

选取有代表性的单株蒙古扁桃灌丛 10 株, 距灌丛至少 2 m 以内无其它蒙古扁桃灌丛存在, 以罗盘定方位, 东、南、西、北四个象限分别取样, 每个小样方大小为 30 cm × 30 cm, 每个方向取 6 个样方, 将小样方内 10 cm 厚的表层土壤取走, 用孔径 3.5 mm 土壤筛过筛, 统计样方内的种子数, 并计算扩散系数。

1.2.2 种子形态特征及物理特性

通过观察法对种子颜色、形状、表面状态进行观察, 种子健壮度用解剖法测定。种子大小用游标卡尺抽样测量 100 粒种子的长度、宽度和厚度, 种子千粒重用百粒法测定, 种子比重用排水法测定, 生活力采用 TTC 染色法^[10-11]。

1.2.3 种子休眠特性

对蒙古扁桃种子进行如下处理: ①温汤浸种, ②湿沙低温(2 ~ 5 ℃)层积, ③变温层积(5 ~ 10 ℃)层积, ④种仁湿沙低温(2 ~ 5 ℃)层积, ⑤种仁黑暗发芽, ⑥种仁光照发芽, ⑦种子高温后熟(35 ℃处理 72 h), ⑧种仁高温后熟(35 ℃处理 72 h), ⑨用 0.02% GA₃处理种子。以新鲜种子作对照, 在 20 ℃下做砂中发芽试验, 4 次重复, 每重复 100 粒, 统计发芽率、新鲜不发芽种子数和发芽指数。

1.2.4 土壤种子库生命特性

分别于 9 月 5 日、10 月 5 日、11 月 5 日和 12 月 3 日土壤封冻时, 取健壮的种子 100 粒, 重复 4 次, 以 5 cm 深度, 置于盛有湿润森林灰褐土的 30 cm × 20 cm × 15 cm 的培养盒内, 室外自然温度下培养, 保持培养盒土壤湿润, 分别于土壤封冻前统计出苗率和来年 5 月中下旬统计成苗率。

以上试验, 发芽率以正常幼苗占测试种子的百分率来表示, 发芽指数按 $GI = \sum Gt/Dt$ 计算, 活力指数按 $VI = GI \cdot S$ 计算。式中 G 为发芽率, GI 为萌发指数, Gt 为逐日发芽数, Dt 为相应的发芽天数, VI 为活力指数, S 为幼苗鲜重^[10-11]。将没有萌发的种子清洗后用 0.5% 的 TTC 黑暗下染色 3 h, 以判断种子是否存活。

1.2.5 统计分析

用 SPSS 10.0 统计软件对数据进行统计分析, 以单因素方差分析(one-way ANOVAs)和最小显著差法(LSD)在 0.05 和 0.01 概率水平确定各平均值间的差异显著性。分析结果以平均数 ± 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 种子雨的散布方式

蒙古扁桃种子散布时间比较集中, 将带果肉的核果、剔除果肉的核果、土壤库中的核果在砂中分别进行种子萌发实验。由表 1 可见, 带果肉的核果不萌发, 剔除果肉的核果萌发率为 2%, 在土壤库中的核果萌发率高达 20%。这说明外、中果皮对种子有保护作用, 可以使种子长时间保存于种子库中, 剔除外、中果皮的种子减小了对种子萌发的制约作用, 土壤对种子萌发有引发作用。

表 1 带果壳种子萌发率 Table 1 Germination rate of seed with own nut shell			
果实类型	带果肉的核果	剔除果肉的核果	土壤库中的核果
萌发率/%	0	2	20

采用扩散系数 $C = s^2/x$ 判断种子的散布格局。 $C = 1$ 为随机分布, $C < 1$ 为均匀分布, $C > 1$ 为聚集分布。由表 2 可见, 蒙古扁桃种子的散布格局是聚集型散布, 种子大多数散落于母株周围。蒙古扁桃种子比较大, 很多以核果形式散布, 种子散

表 2 蒙古扁桃种子的散布格局 Table 2 Seed dispersal patterns of <i>Amygdalus mongolica</i>			
样方	种子数	扩散系数	
		s^2/x	格局
1	81	4.226	聚集型散布
2	65	2.741	聚集型散布
3	103	5.632	聚集型散布
4	78	3.866	聚集型散布
5	55	2.151	聚集型散布

布主要依靠自身重力。由图1可见，蒙古扁桃种子主要散布于距母株0~150 cm范围内，只有不到1.1%的种子可以散布在150 cm以外。

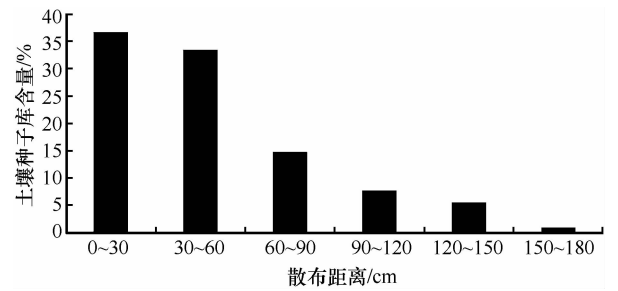


图1 蒙古扁桃种子雨散布距离图
Fig. 1 Soil seed bank content of *Amygdalus mongolica* changing with dispersal distance

2.2 种子物理特性、健壮度和生活力

通过研究，蒙古扁桃种子实际为农业生产上的类似种子的果实-核果，其内果皮灰褐色至浅灰白色，极少数为黄褐色，椭圆形、半扇形和稍偏卵圆形，表面革质化，较光滑，有树状花纹，种被较坚硬。由表3可见，蒙古扁桃种子长8.98~18.56 mm，

宽6.34~13.14 mm，厚3.90~9.80 mm，种子长度>宽度>厚度。健壮度和生活力测定值一致，均为95%，且变异系数最小。蒙古扁桃种子千粒重为371.7~403.9 g，比重为1.06~1.11 g·cm⁻³。从各测定指标的变异系数来看，种子宽>种子长>种子厚>种子千粒重>种子比重>健壮度>生活力。

2.3 种子休眠特性

由表4可见，带果皮种子萌发天数很迟，萌发率极显著低于不带果皮的种子(*P* < 0.01)，变温层积和低温层积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)。剔除果皮的种子在高温后熟处理下极显著提高了萌发率(*P* < 0.01)，种仁低温2~5℃层积、光照、黑暗处理间发芽率差异不显著(*P* > 0.05)，但低温层积和高温后熟可极显著提高种子活力指数和萌发指数。种子在低温5~10℃条件下层积，15天观测到有30%种子萌发，胚根生长速度快，层积30天时，75%种子胚根突破种皮，置床时大部分果壳脱落，发芽率高达81%。综上所述，蒙古扁桃种子

表3 蒙古扁桃种子物理特性、健壮度和生活力分析					
Table 3 The physical and morphological characteristics, robust degree and life force of <i>Amygdalus mongolica</i> seed					
项目	最大值	最小值	平均数	标准差	变异系数/%
种子长/mm	18.56	8.94	13.58	1.59	11.71
种子宽/mm	13.14	6.34	9.25	1.15	12.42
种子厚/mm	9.80	3.90	7.57	0.71	9.37
健壮度/%	98.00	93.00	95.00	1.41	1.49
生活力/%	97.00	92.00	95.00	1.37	1.44
种子千粒重/g	403.90	371.70	383.50	9.98	2.60
比重/(g·cm ⁻³)	1.11	1.06	1.08	0.02	1.85

表4 不同处理对蒙古扁桃种子发芽的影响					
Table 4 Impacts of different approaches upon the germination of <i>Amygdalus mongolica</i> 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
温汤浸种	10	2 ± 1.00Ee	98 ± 0.96Aa	0.14 ± 0.09Ff	0.07 ± 0.05Ee
低温层积(2~5℃)	7	24 ± 3.42Dd	84 ± 3.11Bb	2.66 ± 0.34Ee	1.86 ± 0.26Dd
变温层积(5~10℃)	4	81 ± 3.42Cc	17 ± 3.11Cc	8.66 ± 0.34Dd	7.86 ± 0.26Bb
种仁低温层积	5	89 ± 2.99Bb	8 ± 1.26Dd	12.78 ± 0.36Bb	8.93 ± 0.36Aa
种仁黑暗置床	5	90 ± 1.63Bb	8 ± 0.82Dd	11.96 ± 0.25Cc	6.37 ± 0.26Cc
种仁光照处理后置床	5	89 ± 1.91Bb	9 ± 1.15Dd	12.03 ± 0.20Cc	6.61 ± 0.35Cc
后熟处理	10	2 ± 1.63Dd	97 ± 1.41Aa	0.19 ± 0.16Ee	0.09 ± 0.07Ee
后熟处理后取出种仁	5	98 ± 2.31Aa	0 ± 0Ee	13.25 ± 0.22Aa	7.74 ± 0.31Bb
GA ₃	10	1 ± 1.15Ee	98 ± 0.82Aa	0.09 ± 0.11Ff	0.05 ± 0.06Ee
对照	11	1 ± 1.15Ee	98 ± 1.15Aa	0.08 ± 0.10Ff	0.04 ± 0.04Ee

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。

休眠的原因是种皮障碍和生理后熟(10%左右),破除休眠措施是 35 ℃条件下处理 72 h 后机械破除果皮,种仁高温后熟处理和低温(2~5 ℃)层积处理能极显著($P < 0.01$)提高活力,种子变温(5~10 ℃)层积能极显著($P < 0.01$)提高发芽率和活力,种子萌发对光照不敏感,该物种种子休眠较浅,种子萌发所需温度较低。

2.4 土壤种子库生命特性

由表 5 可见,封冻前土壤种子库中的种子,冬

前就获得萌发机会,9 月和 10 月进入土壤种子库的种子萌发率差异不显著($P > 0.05$),11 月进入土壤种子库的种子萌发率极显著低于 9 月和 10 月进入土壤种子库的萌发率($P < 0.01$),封冻时进入土壤库的种子不萌发。从翌春观察到的幼苗和种子越冬情况看,封冻前萌发的种子,翌春全部死亡;封冻时没萌发的种子,在种皮保护下顺利越冬,翌春获得萌发机会。结合 2.3 节结论认为,种子休眠浅,萌发温度低,幼苗抗冻性差是该物种致濒的原

表 5 蒙古扁桃土壤种子库生命特性
Table 5 Soil seed bank life characteristics of *Amygdalus mongolica*

项目	播种日期			
	9 月 5 日	10 月 5 日	11 月 5 日	12 月 3 日
冬前萌发率/%	84 ± 2.74Aa	83 ± 3.63Aa	52 ± 6.34Bb	0 ± 0.00
翌春成苗率/%	0 ± 0.25Cc	1 ± 0.50Cc	12 ± 4.64Bb	54 ± 3.25Aa

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。

因之一。

3 结论与讨论

3.1 种子散布方式与种群扩张的关系

种子散布决定了该物种可能扩展的新区域^[7]。蒙古扁桃果实在 8 月中下旬到 9 月初成熟,果实成熟后从植株上掉落,在母株上不作停留,果实落地后外果皮、中果皮在虫、蚁或微生物作用下脱落,种子留在地面,经过长时间风雨作用,核果直接进入土壤种子库。由表 6 可见,蒙古扁桃种子的水平分布较窄,仅存在于距母株 0~150 cm 范围内,这不利于种子找到适宜的生存环境。此外,还有动物散布,蒙古扁桃种子成熟以后被家畜啃食,种子经过动物消化道,不易消化,包裹于粪便中散往各处,在适宜的环境即可萌发,但由于蒙古扁桃果实中果皮不肉质化,致使鸟兽传播种子很受限;还可通过啮齿动物采食果肉或将种子贮存于洞穴内,遇到良好的土壤环境而获得萌发机会;人类采集蒙古扁桃种子也可以造成其物种的散布,但这是一个随机过程,散布距离不易确定。因此,封育在一定程度上可阻止蒙古扁桃种群的扩散。再者,蒙古扁桃种子可在雨水作用下近距离传播。野外观测到在山

涧沟壑及河道两岸均有少量的蒙古扁桃生长。由于自然生境中蒙古扁桃落花落果严重,种子产量小^[7-8],靠动物和雨水的自然散布很有限,开展人工繁育成为拯救蒙古扁桃资源的直接措施。

3.2 种子物理特性对种子散布的影响

种子物理特性对种子识别、传播及加工有重要影响,种皮上的花纹、颜色、形态和表面状况等特点,可以用来鉴别作物的不同种类和品种。蒙古扁桃种子颜色和周围环境极其相似,形状扁平,表面粗糙,个体大,不利于种子随动物采食传播种子;另外,蒙古扁桃比重大,不易随水远距离传播。

种子大小是清选种子时选择筛孔的依据^[10]。种子生活力、含水量、优良度是种子安全贮藏的保障,同时是种子质量评定和分级的依据^[11]。蒙古扁桃种子含水量很低,生活力和优良度很高,这对安全存储非常有利。本试验结果显示,种子生活力与优良度测定结果一致。因此,在急需了解种子质量时,种子优良度测定可作为一个简单快速的评价种子质量的指标,根据比重选择精选液体或风的大小,将空秕种子和不健壮种子从种子批中剔除;根据种子千粒重来确定播种量。

表 6 影响蒙古扁桃种子种群扩张的相关因素
Table 6 The properties of the factors relevant to *Amygdalus mongolica* population expansion

单株产生种子数	种子寿命	散布距离	散布方式	野外种子萌发区域	种子特性	种间竞争
少	长	近	聚集散布	小范围	休眠浅,萌发温度低	不激烈

3.3 种子休眠特性与物种致濒关系分析及休眠特性运用

种子休眠是植物在长期系统发育过程中形成的抵抗不良环境条件的适应性,是调节种子萌发最佳时间和空间分布的有效方法^[12-16]。从各处理对种子萌发和幼苗生长的结果看,蒙古扁桃种子休眠的原因有两个方面,一方面种皮坚硬木质化,对种子萌发有机械约束作用,这与其他核果类如桃李杏一致;另一方面约有 10% 左右的种子存在生理后熟,这一结果与方海涛等^[17]、斯琴巴特尔等^[18]研究的蒙古扁桃种子不存在生理休眠不相一致。破除蒙古扁桃种子休眠最佳的方法是 35℃ 处理 72 h 后机械破除坚硬的内果皮。从光、暗条件对种子萌发的影响来看,破除机械障碍的蒙古扁桃种子萌发对光照不敏感,在光下或黑暗中均能很好地萌发,这一结果与方海涛等^[17]、斯琴巴特尔等^[18]、刘建泉等^[19]研究的蒙古扁桃为光敏性种子不相一致^[17-19]。低温 2~5℃ 层积和高温后熟都可促进种子活力的改善,低温 5~10℃ 层积有利于破除种皮障碍而快速出苗。因该物种休眠浅,释放休眠简单,萌发条件宽泛,萌发速度快,萌发活力高,致使物种与不良环境而“闪苗”,导致物种致濒。建议在人工培育实生苗时,将种子通过晒种或高温处理后早春播种或层积后播种,以期培植健壮的幼苗。

3.4 土壤种子库生命特性与物种致濒的关系

种子萌发与幼苗建成阶段是植物生活史中最脆弱的阶段,特别是在资源受限制的环境中,常常伴随较高死亡率^[20-23]。蒙古扁桃种子成熟后,在重力、雨水或风沙作用下形成土壤种子库,在秋季较低的气温作用下,种子迅速释放休眠而萌发,萌发的种子和出土的幼苗遭遇冬季低温而致死,而封冻时进入土壤的种子库,在种皮的保护下顺利越冬,翌春土壤解冻,种子释放休眠,快速出土出苗。深秋和初冬,种子萌发速度快,萌发的种子和出土的幼苗抗冻性差是自然环境中物种致濒的主要原因,在春季干旱和升温快的区域育苗,建议土壤封冻时播种,利用冬季降水和冻融交替破除种子休眠,翌春培育壮苗。

参考文献 (References):

- [1] Ma Yuquan. Flora of Inner Mongolia: volume 3 [M]. 2nd ed. Hohhot: Inner Mongolia People's Publishing House, 1994. [马毓泉. 内蒙古植物志: 第三卷 [M]. 2 版. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1994.]
- [2] Li Aiping, Wang Xiaojang, Zhang Jigang, et al. Biological characteristic and eco-economic value of *Prunus mongolica* Maxim [J]. Inner Mongolia Forestry Science and Technology, 2004 (1): 10-13. [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.]
- [3] Zhao Yizhi. On floristic geographical distribution of *Caryopteris mongolica* [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis NeiMonggol (Natural Science), 1995, 26(2): 195-197. [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(2): 195-197.]
- [4] Wang Jin, Ma Guotai, Song Tao, et al. The response characteristics of germination of *Prunus mongolica* seed to soil moisture and sowing depth in the arid and semi-arid regions [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2014, 36(5): 1313-1320. [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.]
- [5] Fang Haitao, Li Junlan, Wang Liyuan. Research advance of endangered plant *Prunus mongolica* [J]. Yinshan Academic Journal, 2004, 18(2): 16-18. [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] Qi Kangbiao, Chang Hong, Miao Ruhuai. Dictionary of rare and endangered plant and animal in China [M]. Guangzhou: Guangdong People's Publishing House, 2001. [戚康标, 常弘, 缪汝槐. 中国珍稀濒危动植物辞典 [M]. 广州: 广东人民出版社, 2001.]
- [7] Hong Yu, Zou Linlin, Zhu Qingfang. The seed rain and soil seed bank of endangered *Amygdalus mongolica* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2012, 48(10): 145-149. [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] Yan Zizhu, Li Aide, Li Delu, et al. Growth characteristics of endangered *Amygdalus mongolica* [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2007, 27(3): 625-628. [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] Siqinbatee, Xiu Min. Physiological and biochemical characteristics of seed germination in *Prunus mongolica* [J]. Chinese Journal of Grassland, 2006, 28(2): 39-43. [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.]
- [10] Yin Yanping, Dong Xuehui. Seed science experimental technology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997: 87-96. [尹燕萍, 董学会. 种子学实验技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 87-96.]
- [11] Fu Jiarui. Seed physiology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1992: 18-21; 68-70. [傅家瑞. 种子生理 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1992: 18-21; 68-70.]
- [12] Zhu Yajuan, Dong Ming, Huang Zhenying. Adaptation strategies of seed germination and seedling growth to sand dune environment [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(1): 137-142. [朱雅娟, 董鸣, 黄振英. 种子萌发和幼苗生长对沙丘环境的适应机制 [J]. 应用生态学报, 2006, 17(1): 137-142.]
- [13] Zhang Yong, Xue Lingui, Gao Tianpeng, et al. Research advance on seed germination of desert plant [J]. Journal of Desert Research, 2005, 25(1): 106-112. [张勇, 薛林贵, 高天鹏, 等. 荒漠植物种子萌发研究进展 [J]. 中国沙漠, 2005, 25(1): 106-112.]

- [14] Koller D. Germination regulating mechanisms in some desert seeds III: *Calligonum comosum* L' Her[J]. Ecology, 1956, 37(3): 430–433.
- [15] Bartels D, Sunkar R. Drought and salt tolerance in plants[J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 2005, 24(1): 23–58.
- [16] Li Qiuyan, Zhao Wenzhi. Responses of seedlings of five desert species to simulated precipitation change[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2006, 28(3): 414–419. [李秋艳, 赵文智. 5种荒漠植物幼苗对模拟降水量变化的响应[J]. 冰川冻土, 2006, 28(3): 414–419.]
- [17] Fang Haitao, An Ruili, Zhang Huifang, et al. The imminent danger plant *Prunus mongolica* Maxim seed characteristic and the germination physiology research[J]. Yinshan Academic Journal, 2007, 21(3): 28–31. [方海涛, 安瑞丽, 张惠芳, 等. 濒危植物蒙古扁桃种子特性及萌发生理研究[J]. 阴山学刊, 2007, 21(3): 28–31.]
- [18] Sechenbater, Man Liang. Study on seed germination's physiology of *Prunus mongolica* Maxim[J]. Guihaia, 2002, 22(6): 564–566. [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.]
- [19] Liu Jianquan, Wang Ling, Wang Duoyao, et al. Observation of seed morphology, germination and seedling growth of endangered plant, *Prunus mongolica* Maxim[J]. Journal of West China Forestry Science, 2010, 39(1): 36–42. [刘建泉, 王零, 王多尧, 等. 濒危植物蒙古扁桃种子的形态与萌芽过程及成苗生长状态的研究[J]. 西部林业科学, 2010, 39(1): 36–42.]
- [20] Gutterman Y. Survival strategies of annual desert plants[J]. Adaptations of Desert Organism, 2002, 15: 39–52.
- [21] Maun M A. Adaptations of plants to burial in coastal sand dunes[J]. Canadian Journal of Botany, 2011, 76(5): 713–738.
- [22] Zeng Yanjun, Wang Yanrong, Zhang Juming. 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.
- [23] Yin Li, Zhao Liangju, Ruan Yunfeng, et al. Study of the replenishment sources of typical ecosystems water and dominant plant water in the lower reaches of the Heihe, China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, 34(6): 1478–1486. [尹力, 赵良菊, 阮云峰, 等. 黑河下游典型生态系统水分补给源及优势植物水分来源研究[J]. 冰川冻土, 2012, 34(6): 1478–1486.]

A study on spatial distribution pattern of seed rain and seed germination characteristics of endangered plant *Amygdalus mongolica*

WANG Jin^{1,3}, YAN Xia³, LI Junyuan², ZHANG Yong^{1,3}, XIE Quangang^{1,3},
LI Gang^{3,4}, GU Wenhao^{1,3}

(1. College of Agriculture and Biotechnology, Hexi University, Zhangye 734000, Gansu, China; 2. Wuquan State Forest Farm of Linze County, Linze 734200, Gansu, China; 3. Key Laboratory of Hexi Corridor Resources Utilization of Gansu Universities, Zhangye 734000, Gansu, China; 4. Management Station of Dongdashan Nature Reserve of Zhangye City, Zhangye 734000, Gansu, China)

Abstract: In this article, the *Amygdalus mongolica* population and seeds are taken as the research object to explore its endangered factors based on the study on its physical properties and characteristics in dormancy and germination. The results showed that *Amygdalus mongolica* seed has large volume, heavy specific weight and grain big. It spreads in a rather aggregative pattern, which mainly relies on its own gravity, animal and water, so it could spread much further. The main factors that restrict seed germination are seed coat barriers and physiological dormancy (accounting for about 10 percent). The physiological dormancy of the seed may be stopped by peeling mechanically after 72-hours exposure in 35 °C. Seed stratification in low temperature (2–5 °C) will effectively improve its vitality. Meanwhile, seeds thermocline (5–10 °C) will increase its germination rate. However, seed germination is not sensitive to light. The dormancy term of *Amygdalus mongolica* seed is quite short and seed germination could happen in low temperature, so the seed put into soil library before the winter would germinate quickly and die in the chilly winter, which makes *Amygdalus mongolica* become an endangered species. However, the seed putting into soil library during frozen period can survive and has a high seedling rate due to the protection of seed coat. In summary, it is proved that artificial breeding is the most effective measure to rescue *Amygdalus mongolica* from extinction.

Key words: *Amygdalus mongolica*; seed characteristics; seed germination; seed dispersal; species endangerment