

# 梭梭种子萌发对干旱和盐分胁迫的响应

吕朝燕<sup>1,2</sup>, 张希明<sup>2</sup>, 吕薇<sup>3</sup>, 高智席<sup>1</sup>, 王加真<sup>4</sup>

(1. 遵义师范学院 农业科技学院, 贵州 遵义 563002; 2. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011;  
3. 遵义师范学院 公共管理学院, 贵州 遵义 563002; 4. 遵义师范学院 生命科学学院, 贵州 遵义 563002)

**摘要:**以荒漠严酷环境下植物种子适应性为科学问题,运用生理生态学原理,以采自不同生境的5个梭梭种群的种子为试材,在实验室模拟基础上,研究了梭梭种子萌发对干旱和盐分胁迫的响应规律。结果表明:在PEG溶液和盐溶液中,来自不同生境梭梭种群的种子其萌发率均随水势的降低而下降,分别到-2.26 MPa和-4.15 MPa时,所有种群梭梭种子萌发率均接近于零。在水势相等的情况下,所有种子的萌发均受到NaCl和等渗PEG溶液的抑制,并且等渗NaCl溶液对梭梭种子萌发的抑制程度要显著小于PEG溶液,说明渗透胁迫是影响梭梭种子萌发的主要因素。当解除盐胁迫后,梭梭种子恢复萌发率较高,表现出一定程度的高盐诱导休眠现象。水势相等条件下,PEG溶液中恢复萌发率低于NaCl溶液中恢复萌发率,表明离子效应对梭梭种子的影响要小于渗透胁迫。可见,梭梭种子萌发对盐分和干旱胁迫适应性强,是该种群恢复和保育的基础。

**关键词:**梭梭;盐胁迫;干旱胁迫;种子萌发

**中图分类号:**S 687.904<sup>+</sup>.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)01-0055-06

种子萌发是植物生活史的开始,对植物种群建成非常关键<sup>[1-2]</sup>。荒漠地区气候干燥,降水稀少。干旱胁迫

是种子萌发的主要障碍之一。同时,由于气温高且日照强度大,地表蒸发强烈,促使地下水位上升的同时,将地下水含有的盐分带到并残留在土壤表层,又由于降水量小且季节分配不均,不能将土壤表层积累盐分淋溶排走,致使土壤表层的盐分越积越多,尤其以NaCl等易溶性盐类的累积最为常见。可见,盐分是荒漠地区限制种子萌发的另一重要因素。干旱荒漠环境高温少雨,其对植物的生存是极端严酷的。植物能够在荒漠条件下生存,大多形成了其特殊的环境适应机制<sup>[3]</sup>。种子繁殖是大多数荒漠植物的主要繁殖方式,因而种子在荒漠环境的萌发策略是荒漠植物生存对策的重要方面。荒漠植物种子特殊的萌发机制是种子在合适的时间与地点萌

**第一作者简介:**吕朝燕(1985-),男,重庆巴南人,博士,研究方向为植物资源利用与恢复生态学及种子生态学。E-mail:lvchaoyan1985@126.com.

**责任作者:**张希明(1951-),男,江苏镇江人,研究员,研究方向为植物生理生态学及种群生态学。E-mail:zhxm@ms.xjb.ac.cn.

**基金项目:**贵州省教育厅自然科学研究资助项目(黔教合KY字[2015]409号);遵义师范学院博士启动基金资助项目(遵师BS[2014]17号);国家自然科学基金资助项目(30870472)。

**收稿日期:**2015-07-27

**Abstract:** Taking *Coreopsis tinctoria* seeds as the test materials, using peat, vermiculite, perlite matrix, the application effect of 5 different ratio of substrates on the *Coreopsis tinctoria* seedling was studied. The results showed that the ratio IV ( $V_{\text{peat}} : V_{\text{vermiculite}} : V_{\text{perlite matrix}} = 3 : 1 : 0$ ) in the seedling growth growing preferably, the height 13.93 cm, stem diameter 2.04 mm, root length 10.2 cm, leaf number 11; chlorophyll content of 28.21 SPAD, shoot fresh weight of 1.261 g/plant, underground fresh weight 0.423 g/plant, shoot dry weight of 0.268 g/plant, underground dry weight 0.050 g/plant, whole plant fresh weight of 1.529 g/plant, total dry weight of 0.473 g/plant, 0.056 seedling index, fresh and dry than 30.94%, and this matrix porosity ratio of water holding 55%, ventilation porosity 38%, the total porosity 93%, gas-water ratio 0.69, pH value of 6.65, EC value 0.092 mS/cm; followed by the ratio III growth of seedlings were preferred; the ratio of I, the ratio of II and the ratio of V the parties face in relation to the other two deal with seedling growth indexes were not ideal chose, and not adapt for stoichiometric matrix of *Coreopsis tinctoria*.

**Keywords:** *Coreopsis tinctoria*; seedlings; the ratio of the matrix

发以及幼苗的生长发育的有利保证<sup>[4]</sup>。关于种子萌发阶段对干旱和盐分适应能力强弱方面,国内外研究者均进行了大量的研究<sup>[5-15]</sup>。对在干旱、半干旱地区生长的植物而言,种子在水分和盐分胁迫下的特殊萌发机制体现了其对生境条件的适应性,是植物自然更新成败的关键。

梭梭 [*Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey) Bunge] 属藜科(Chenopodiaceae)梭梭属(*Haloxylon* Bunge)灌木或小乔木<sup>[16]</sup>,是亚洲荒漠区中分布最广泛的荒漠植被类型<sup>[17]</sup>,也是准噶尔盆地荒漠植被的主要建群种。梭梭作为古地中海区系的重要荒漠植被成分,在我国西北地区广泛分布,在准噶尔盆地分布尤其集中,其分布面积约占我国梭梭总面积的 68.2%<sup>[18]</sup>。梭梭具有防风固沙、改善气候、改良土壤等多种功能,由其所构成的荒漠梭梭林是新疆的重要森林资源,又是荒漠生态系统的主体,是保护绿洲的天然屏障,在维护荒漠-绿洲生态平衡中具有极其重要的作用。然而,近半个多世纪以来,由于滥垦、乱樵、过牧等不合理的开发利用,梭梭林资源锐减。梭梭已经被列为国家濒危三级保护植物<sup>[19]</sup>。关于梭梭的研究长期以来主要集中在梭梭的地理分布<sup>[20-21]</sup>、生物学特性<sup>[22]</sup>、生理生态学特性<sup>[23-24]</sup>、种群动态<sup>[25-28]</sup>、梭梭林

土壤水分状况<sup>[29]</sup>、梭梭林更新复壮技术<sup>[18]</sup>等方面,对于梭梭种子萌发生理<sup>[30-32]</sup>也有涉及。但针对梭梭种子抗逆性的研究相对缺乏,且大多样本量偏少。该研究采集来自准噶尔盆地古尔班通古特沙漠边缘不同生境条件下 5 个原生梭梭种群的成熟梭梭种子进行其抗逆性试验,分析水分和盐分这 2 个荒漠地区重要的环境影响因子对其萌发的影响,阐明梭梭种子萌发对荒漠环境的适应机制,以期梭梭种群的恢复和保育提供科学的理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

为了保证取样的代表性与典型性,供试种子采自于古尔班通古特沙漠边缘不同生境的 5 个梭梭种群(P-01、P-02、P-03、P-04、P-05),生境的具体情况见表 1。每一个种群至少采集 100 株以上梭梭植株的成熟种子。由于梭梭种子的重量与其干枯同化枝的重量接近,分离困难,采集到的种子经风选、筛分、人工拣选等多步分选才能得到纯净的种子。按照试验规定,为了保证萌发试验进行时种子活力仍然较高,将纯净的种子放入封口袋内,冷藏于冰箱中(-5℃)。

表 1

梭梭种群生境特点及理化性质

Table 1 Habitat characteristics, physical and chemical properties of *H. ammodendron* populations

种群 Population	地理坐标 Location	海拔 Altitude /m	生境类型及特点 Habitat type and characteristics	土壤理化性质 Soil characteristics				
				土层 Soil layers/cm	pH 值 pH value	电导 Conductance/(mS · cm <sup>-1</sup> )	有机质 Organic matter/(g · kg <sup>-1</sup> )	总盐 Total salt/(g · kg <sup>-1</sup> )
P-01	北纬 46°10.012' 东经 85°33.087'	419	山前戈壁,基质大部分为物理风化的岩石碎片构成	0~10	8.90	0.095	4.294	0.755
				10~20	9.03	0.077	2.910	0.700
				20~30	9.04	0.083	2.341	0.750
				>30	8.95	0.108	2.836	0.800
				0~10	9.37	7.940	6.699	25.350
P-02	北纬 45°50.460' 东经 85°55.593'	252	干涸湖底,土壤为盐化沙质土壤	10~20	8.98	6.820	3.855	23.330
				20~44	8.66	2.480	3.064	9.550
				44~68	8.68	3.240	4.324	13.150
				>68	8.57	1.590	2.543	5.850
				0~17	8.67	1.430	11.266	4.525
P-03	北纬 44°56.588' 东经 83°32.268'	231	粘质灰漠土,地形平坦,土壤粘重板结,透水透气性差	17~27	8.06	2.900	6.818	10.050
				27~57	7.73	5.680	10.120	20.950
				57~90	8.57	0.634	2.196	2.350
				90~97	8.24	0.891	2.026	3.250
				>97	8.22	0.923	2.017	3.175
P-04	北纬 44°56.737' 东经 83°32.368'	219	盐渍化沙土,地表有松脆盐壳,下部为潮湿松软的沙壤土,水分条件较好	0~10	7.16	15.150	46.236	42.050
				10~20	7.35	9.100	11.832	37.500
				20~34	7.45	8.040	9.477	31.550
				34~69	7.69	4.350	3.591	17.975
				69~72	7.77	3.780	3.779	13.850
P-05	北纬 44°56.224' 东经 83°32.553'	208	沙壤质灰棕色荒漠土,地形平缓,土层厚,肥力高,质地细,水分条件优越	72~86	7.85	3.160	3.076	11.600
				>86	7.85	3.560	2.693	13.250
				0~10	9.57	2.090	10.672	9.150
				10~20	8.12	1.770	10.511	6.875
				20~37	7.90	1.258	13.545	4.975
				37~40	7.68	1.254	60.597	4.825
				>40	8.03	0.930	9.815	3.775

1.2 试验方法

1.2.1 种子萌发 采用直径 90 mm 的培养皿中垫 2 层滤纸作为种子萌发的载体,每培养皿均匀放入 50 粒梭梭种子,然后分别加入蒸馏水、NaCl 或 PEG-6000 溶液至滤纸饱和,盖好盖子,作为 1 个处理。每处理设 4 个重复。为了保持每个培养皿中溶液的水势在试验期内基本恒定,每 24 h 用相同浓度的 NaCl(或 PEG)溶液将培养皿内的滤纸轻轻冲洗 3 遍。该试验以胚根露出种皮 1~2 cm 作为种子发芽的标准,并计算最终的种子发芽率。考虑到梭梭种子的萌发特性<sup>[30-32]</sup>,盐分、水分胁迫试验和蒸馏水恢复萌发试验分别以 15 d 和 10 d 作为种子萌发的观察周期。整个试验在光照培养箱(10℃,12 h 光照)中进行,通过设置相同的温度和光照条件排除其对种子萌发的影响。萌发试验过程中,每 24 h 统计 1 次萌发种子的数量,并将已萌发的种子移出培养皿。

1.2.2 水盐胁迫处理 该试验通过模拟不同程度干旱胁迫和盐分胁迫来研究其对梭梭种子萌发的影响。具体为采用不同浓度的聚乙二醇(PEG)溶液来模拟干旱胁迫。PEG 是一种高分子渗透剂,其本身不能渗入活细胞且无毒<sup>[33]</sup>,其不同浓度溶液可以模拟不同程度的水分亏缺环境;同时,由于土壤中普遍含有 NaCl 且含量较为丰富<sup>[34]</sup>,因而采用不同浓度的 NaCl 溶液来模拟盐分胁迫;为了比较 2 种处理下的胁迫状况,以便确定盐离子效应,采用相等水势的 PEG 和 NaCl 溶液进行试验。按照 MICHEL<sup>[35]</sup>的经验公式,水势与 PEG 溶液浓度间的计算关系如下:  $(1.18 - 8.39 \times 10^{-3} \times t) x^2 + (118 - 2.67 \times t) x - \psi_s \times 10^5 = 0$ 。式中,  $\psi_s$  指渗透势,单位: MPa,其值为负,用正值进行计算;  $t$  指温度,单位:℃;  $x$  指浓度,单位: g/kg。同时,按照 MICHEL<sup>[36]</sup>的经验公式计算水势与 NaCl 浓度间的关系。梭梭种子萌发试验采用其适宜萌发温度 10℃(12 h 光照)<sup>[30]</sup>,在光照培养箱中进行。盐胁迫和水分胁迫分别由 NaCl 溶液和 PEG-6000 溶液产生。水势以及其对应 PEG 溶液和 NaCl 溶液浓度见表 2。

表 2 NaCl、PEG、水势和水的关系(20℃)

Table 2 Relationship between water potential, NaCl, PEG and water (20℃)

水势 Water potential/MPa	NaCl /(mol·L <sup>-1</sup> )	PEG /g	NaCl /g	水 Water/g
-0.23	0.05	122.171	2.925	1 000
-0.46	0.1	183.644	5.85	1 000
-1.35	0.3	334.683	17.55	1 000
-2.26	0.5	441.687	29.25	1 000
-3.19	0.7	529.503	40.95	1 000
-4.15	0.9	609.195	52.65	1 000

1.2.3 蒸馏水恢复萌发试验 将 PEG 溶液和 NaCl 溶液处理中未萌发的种子用蒸馏水清洗以后,转入到用蒸馏水处理的培养皿中,在相同的温度和光照条件下,继续进行萌发试验,观察期 10 d。并每天记录萌发的种子数并移走已萌发的种子。种子萌发率计算公式:种子萌发率(%)= $n/N \times 100$ ,式中,  $n$  和  $N$  分别为萌发种子数和试验过程中所用种子总数。

1.3 数据分析

采用 SPSS 19.0 统计软件对不同水、盐胁迫条件下的种子萌发率进行方差分析(One-way ANOVA)。采用最小显著差异法(LSD)对其进行多重比较。同时,采用 Excel 2013 软件进行简单统计分析并作图。

2 结果与分析

2.1 NaCl 胁迫下不同生境梭梭种子的萌发

由图 1 可知,在不同浓度 NaCl 溶液模拟盐胁迫条件下,采自不同生境梭梭种群种子其萌发对盐胁迫的反应存在明显差异。低盐浓度下(0、-0.23、-0.46 MPa 时),不同生境各种群梭梭种子的萌发率差异不显著( $P < 0.05$ ),其后差异逐渐显现。总体来看,梭梭种子的萌发率随水势的降低而降低。其中 P-04 种群梭梭种子萌发率高于其它各种群。并且,P-04 种群梭梭种子萌发率从 -2.26 MPa 开始,随水势的降低而迅速降低。其余种群从 -0.46 MPa 开始,梭梭种子的萌发率随水势的降低而迅速降低。到 -4.15 MPa 时,所有种群梭梭种子萌发率均接近于零。可见,P-04 种群其种子耐盐性要强于其它种群,表现来自不同生境梭梭种群间的异质性。

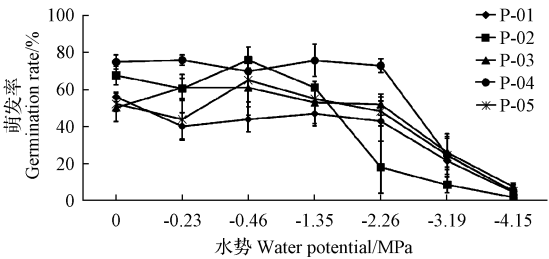


图 1 不同水势 NaCl 溶液中不同生境梭梭种子的萌发率

Fig. 1 Seed germination rate of *H. ammodendron* populations in different habitats and NaCl treatments

2.2 PEG 胁迫下不同生境梭梭种子的萌发

由图 2 可知,在 PEG 溶液中,采自不同生境梭梭种群种子对于干旱胁迫的反应差异明显。高水势下(0、-0.23、-0.46 MPa 时),P-02、P-04 种群梭梭种子的萌发率显著高于其它种群,且萌发率随水势下降缓慢( $P < 0.05$ )。而 P-01 种群梭梭种子萌发率随水势降低而快速降低,表现出明显的种群间差异。当水势从 -0.46 MPa 下降到 -1.35 MPa 时,各种群梭梭种子的萌发率迅速下

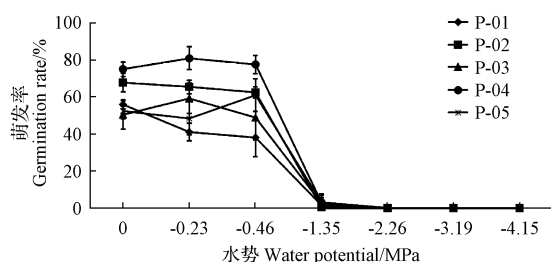


图2 不同水势 PEG 溶液中不同生境梭梭种子的萌发率

Fig. 2 Seed germination rate of *H. ammodendron* populations in different habitats and PEG treatments

降到接近于零。到-2.26 MPa 时,各种群梭梭种子的萌发率均为零。

### 2.3 蒸馏水恢复萌发

由图3可知,将上述 NaCl 溶液中不萌发的种子进行清洗并转入到蒸馏水处理后,采自不同生境梭梭种群的梭梭种子都迅速恢复萌发,且恢复萌发率较高,最高达80%。在 NaCl 溶液中不萌发的梭梭种子其恢复萌发率均随着水势的降低而迅速增加。蒸馏水处理条件下,其恢复萌发率表现为 P-04 梭梭种群恢复萌发率最高,其后依次为 P-02、P-05、P-01 种群, P-03 梭梭种群种子的恢复萌发率最低。

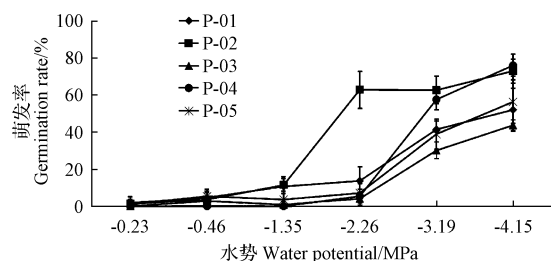


图3 不同水势 NaCl 溶液中不同生境梭梭种子的恢复萌发率

Fig. 3 Recovery germination rate of *H. ammodendron* populations in different habitats and NaCl treatments

由图4可知,将上述 PEG 溶液中不萌发的种子经清洗后转入蒸馏水处理后,采自不同生境梭梭种群的梭梭种子都迅速恢复萌发,且恢复萌发率较高,最高达

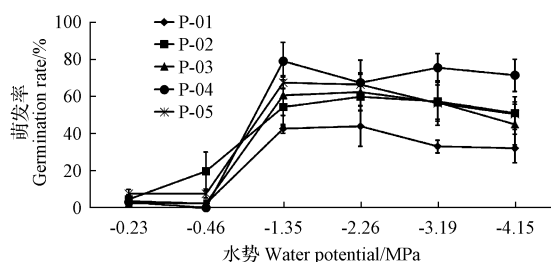


图4 不同水势 PEG 溶液中不同生境梭梭种子的恢复萌发率

Fig. 4 Recovery germination rate of *H. ammodendron* populations in different habitats and PEG treatments

75%。在 PEG 溶液不萌发的种子在水势从-0.23 MPa 到-1.35 MPa 时,其种子恢复萌发率均随着水势的降低而迅速升高;其后,恢复萌发率不再增加,并保持基本稳定。蒸馏水处理条件下,其恢复萌发率表现为 P-04 梭梭种群恢复萌发率最高,其后依次为 P-02、P-05、P-03 种群, P-01 梭梭种群种子的恢复萌发率最低。

## 3 讨论

### 3.1 盐分和水分胁迫对种子萌发的影响

种子萌发是植物生活史和自然更新过程的重要阶段<sup>[10,37-38]</sup>,对植物能否在盐渍、干旱环境中成功定居起着重要的决定性作用。试验结果表明,来自不同生境梭梭种群的梭梭种子,其萌发能力在 NaCl 溶液中均受到一定程度的抑制,随着盐溶液浓度的增加,抑制程度逐渐加剧。P-04 种群梭梭种子萌发率在水势低于-2.26 MPa 时才开始迅速下降,其余种群梭梭种子萌发率在水势低于-0.46 MPa 就开始迅速下降。表明 P-04 种群其种子耐盐性要强于其它种群,体现了来自不同生境梭梭种群间的异质性。黄振英等<sup>[30]</sup>、薛建国等<sup>[32]</sup>、李宏等<sup>[39]</sup>在其各自对梭梭种子萌发的研究中均得到了类似的结论。荒漠地区干旱、盐渍环境以地表温度较高、土壤水分强烈蒸发、地表积盐较多为主要特征,土壤盐渍化现象比较普遍,而植物种子大多散布于地表且其整个萌发过程也大多在地表进行,地表含盐量过高将直接影响种子的萌发和幼苗的生长<sup>[40-41]</sup>。部分旱生植物和盐生植物在低盐浓度下,其种子萌发率较高,体现了其对于生境的积极适应,但在高盐浓度下,种子的萌发就会受到抑制<sup>[38,42]</sup>。

等水势 PEG 溶液中,不同生境各种群梭梭种子的萌发均受到强烈的抑制,随水势降低,梭梭种子萌发率迅速降低为零。梭梭种子的萌发在 PEG 溶液水势低于-2.26 MPa 以后受到完全抑制,萌发率降低为零;而在 NaCl 溶液中只有水势下降到-4.15 MPa 以下时,梭梭种子萌发才可能被完全抑制。可见,不同生境梭梭种群种子萌发在 PEG 溶液中被抑制的程度远远大于 NaCl 溶液中。这与薛建国等<sup>[32]</sup>对梭梭的研究结果一致,同时王娅等<sup>[43]</sup>在对盐生植物猪毛菜的研究中也观察到类似的现象。王娅<sup>[44]</sup>认为非透过性的 PEG 胁迫对种子萌发的作用机制与盐胁迫有着本质的不同。PEG 作为高分子渗透剂,其本身不能渗入活细胞,其仅仅通过渗透效应对种子萌发产生影响;而盐溶液中的盐离子可以渗入到种子细胞内部,其对种子萌发的影响除了渗透效应以外,还伴随有离子效应<sup>[45]</sup>。一方面,盐离子能够渗入种子细胞内部,造成细胞内外的水势差,促进种子吸水并快速萌发;另一方面,盐离子在细胞内部逐渐累积,造成直接的毒性,抑制萌发<sup>[46]</sup>。如果盐溶液浓度过高,盐离



子在细胞内部积累过多,超过种子耐受阈限,或者其本身是对种子有毒害作用的盐离子,则可能造成细胞的永久性损害,使种子丧失萌发能力<sup>[47]</sup>。

### 3.2 环境胁迫下梭梭种子表现出诱导休眠现象

对 PEG 和 NaCl 溶液中未萌发的梭梭种子进行清洗并转移至蒸馏水处理后,其不同种群梭梭种子均迅速恢复萌发。转移自 NaCl 溶液处理中的种子其恢复萌发率高于 PEG 溶液中转移来的梭梭种子的恢复萌发率。可见,相对于等水势 PEG 溶液来说,NaCl 溶液处理只是暂时抑制了梭梭种子的萌发,并没有对梭梭种子造成永久伤害,其仍具有较高的恢复萌发能力。同时,高浓度 NaCl 溶液中转移来的梭梭种子其恢复萌发率高于低浓度 NaCl 溶液中转移来的梭梭种子,可能的原因是盐浓度并没有超过梭梭种子的耐受极限,没有造成永久性的伤害。这与黄振英等<sup>[30]</sup>的研究结果一致。并且,UNGAR<sup>[1]</sup>研究了部分一年生盐生植物(*Salicornia europaea*, *Spergularia marina*, *Suaeda depressa* 以及 *Suaeda linearis*)的种子萌发,其不同浓度的 NaCl 溶液处理后的萌发恢复试验中观察到了类似的现象。其认为,在不超过植物种子耐受阈限的盐浓度下,盐溶液的渗透压限制了种子的萌发,而不是金属离子的毒性伤害了种子,当盐胁迫减轻或消失以后,种子仍具有较强的萌发能力。

UNGAR<sup>[37]</sup>指出很大一部分盐生植物种子在萌发过程中都表现出盐诱导休眠现象。高盐度产生的渗透效应可以抑制大多数盐生植物种子的萌发,推迟其萌发时间,直到有足够的淡水补充来减轻盐胁迫时,才能解除这种抑制作用<sup>[1]</sup>。该研究表明,来自不同生境梭梭种群的种子在高浓度 NaCl 和 PEG 溶液中,种子萌发均受到一定程度的抑制,将其中未萌发种子转移到蒸馏水处理后,梭梭种子以较高的恢复萌发率迅速恢复萌发。这说明梭梭种子萌发过程中具有干旱胁迫、盐胁迫引发的诱导休眠现象,这体现了梭梭种子萌发对于生境条件的积极适应性,是其对恶劣生态环境的一种适应策略。准噶尔盆地梭梭集中分布区属于大陆性荒漠气候,其特点是降水稀少,蒸发强,日照长,温度变化剧烈。短暂少量降雨后,表层土壤水分会被快速蒸发,进而造成表层土壤含盐量的持续升高。较高的表层土壤含盐量将诱导种子休眠<sup>[48]</sup>,以度过不良的环境条件,等待适宜的萌发时机。等到充分的降雨、雪来临以后,表层土壤盐分被雨雪淋溶掉,种子休眠被打破,种子才能顺利萌发<sup>[38]</sup>。梭梭种子在表层土壤盐分胁迫条件下所表现出的较高恢复萌发率,在一定程度体现了其萌发策略对严酷生存环境条件的适应,是其种群存在与发展的基础。

### 参考文献

[1] UNGAR I A. Seed germination and seed-bank ecology in halophytes

- [A]. In: KIGEL J, GALILI G (eds). Seed Development and Germination[C]. New York: Marcel Dekker, 1995, 599-628.
- [2] KHAN M A, GULZAR S. Germination responses of *Sporobolus ioclados*: a saline desert grass[J]. Journal of Arid Environments, 2003, 53(3): 387-394.
- [3] GUTTERMAN Y. Seed germination in desert plant[C]. Adaptations of Organisms, Berlin: Springer-Verlag, 1993.
- [4] 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.
- [5] LEVITT J. Responses of plants to environmental stresses[M]. New York: Academic Press, 1980, 1-496.
- [6] EVANS C E, ETHERINGTON J R. The effect of water potential on seed germination of some British plants[J]. New Phytologist, 1990, 115: 539-548.
- [7] 阎顺国, 沈禹颖. 生态因子对碱茅种子萌发期耐盐性影响的数量分析[J]. 植物生态学报, 1996, 20(5): 414-422.
- [8] EGAN T P, UNGAR I A, MEEKINS J F. The effect of different salts of sodium and potassium on the germination of *Atriplex prostrata* (Chenopodiaceae) [J]. Journal of Plant Nutrition, 1997(20): 1723-1730.
- [9] KATEMBE W J, UNGAR I A, MITCHELL J P. Effect of salinity on germination and seedling growth of tow *Atriplex* species (Chenopodiaceae) [J]. Annals of Botany, 1998, 82: 167-175.
- [10] TOBE K, LI X M, OMASA K. Seed germination and growth of a halophyte, *Kalidium caspicum* (Chenopodiaceae) [J]. Annals of Botany, 2000, 85: 391-396.
- [11] 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.
- [12] 易津, 王学敏, 谷安琳, 等. 骆驼藜属牧草种子水分生理及幼苗耐旱性研究[J]. 草地学报, 2003, 11(2): 103-109.
- [13] ZHENG Y R, XIE Z X, GAO Y, et al. Germination responses of *Cargana korshinskii* Kom. to light, temperature and water stress[J]. Ecological Research, 2004, 19(5): 553-558.
- [14] 李利, 张希明, 何兴元. 胡杨种子萌发和胚根生长对环境因子变化的响应[J]. 干旱区研究, 2005, 22(4): 520-525.
- [15] 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.
- [16] 吴征镒. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1995, 455-473.
- [17] 贾志清, 卢琦, 郭保贵, 等. 沙生植物——梭梭研究进展[J]. 林业科学研究, 2004, 17(1): 125-132.
- [18] 梁远强, 任步远, 王永红, 等. 新疆梭梭林更新技术研究[J]. 新疆农业科学, 1990(5): 218-220.
- [19] 国家环境保护局自然保护司保护区与物种管理处. 珍稀濒危植物保护与研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991, 157-170.
- [20] 胡式之. 中国西北地区的梭梭荒漠[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1963(Z1): 81-103.
- [21] 陈昌笃. 古尔班通古特沙漠的沙地植物群落、区系及其分布的基本特征[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1983, 7(2): 89-98.
- [22] SHI S Q, SHI Z, QI L, et al. Molecular responses and expression analysis of genes in a xerophytic desert shrub *Haloxylon ammodendron* (Chenopodiaceae) to environmental stresses[J]. African Journal of Biotechnology, 2009, 8(12): 2667-2676.
- [23] 解婷婷, 张希明, 梁少民, 等. 不同灌溉量对塔克拉玛干沙漠腹地梭梭水分生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(4): 711-716.
- [24] 许浩, 张希明, 闫海龙, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地梭梭(*Haloxylon ammodendron*)蒸腾耗水规律[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3713-3720.

- [25] 李建贵, 宁虎森, 刘斌. 梭梭种群性状结构与空间分布格局的初步研究[J]. 新疆农业大学学报, 2003, 26(3): 51-54.
- [26] 常静, 潘存德, 师瑞峰. 梭梭-白梭梭群落优势种群分布格局及其种间关系分析[J]. 新疆农业大学学报, 2006, 29(2): 26-29.
- [27] 张锦春, 王继和, 安富博, 等. 民勤天然梭梭种群初步研究[J]. 中国沙漠, 2009, 29(6): 1124-1128.
- [28] 吕朝燕, 张希明, 刘国军, 等. 准噶尔盆地西北缘梭梭种群结构和空间格局特征[J]. 中国沙漠, 2012, 32(2): 380-387.
- [29] TBOE K, LI X M, OMASA K. Effects of irrigation on seedling emergence and seedling survival of a desert shrub *Haloxylon ammodendron* (Chenopodiaceae)[J]. Australian Journal of Botany, 2005, 53: 529-534.
- [30] 黄振英, 张新时, GUTTERMAN Y, 等. 光照、温度和盐分对梭梭种子萌发的影响[J]. 植物生理学报, 2001, 27(3): 275-280.
- [31] 李亚, 张莹花, 王继和, 等. 不同盐分胁迫对梭梭种子发芽的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(9): 293-297.
- [32] 薛建国, 韩建国, 王显国, 等. NaCl 和 PEG 对华北驼绒藜和梭梭种子萌发的影响[J]. 草地学报, 2008, 16(5): 470-474.
- [33] 郑光华, 徐本美, 顾增辉. PEG“引发”种子的效果[J]. 植物学报, 1985, 27(3): 329-333.
- [34] 季方. 塔里木盆地绿洲土壤水盐动态变化与调控[M]. 北京: 海洋出版社, 2001: 36-37.
- [35] MICHEL B E, KAUFMANN M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000[J]. Plant Physiology, 1973, 51: 914-916.
- [36] MICHEL B E, DABID R. A computer program relating solute potential to solution composition for five solutes[J]. Agronomy Journal, 1995, 87: 126-130.
- [37] UNGAR I A. Ecophysiology of Vascular Halophytes[M]. Boca Raton: CRC Press, 1991: 9-48.
- [38] KHAN M A, SHEITH K H. Effects of different levels of salinity on seed germination and growth of *Capsicum annuum*[J]. Biologia, 1996, 22: 15-16.
- [39] 李宏, 程平, 郑朝晖, 等. 盐胁迫对新疆 3 种造林树木种子萌发的影响[J]. 西北植物学报, 2011, 31(7): 1466-1473.
- [40] UNGAR I A. Halophyte seed germination [J]. Botanical Review, 1978, 44: 233-264.
- [41] 曾幼玲, 蔡忠贞, 马纪, 等. 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.
- [42] 赵可夫, 范海. 盐生植物及其对盐渍生境的适应生理[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 46-47.
- [43] 王娅, 李利, 钱翌, 等. 盐分与水分胁迫对两种猪毛菜种子萌发的影响[J]. 干旱区地理, 2007, 30(2): 217-222.
- [44] 王娅. 新疆四种猪毛菜种子萌发对主要生态因子的响应[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2007.
- [45] LI L, ZHANG X M, RUNGE M, et al. Responses of germination and radicle growth of two populus species to water potential and salinity[J]. Forstey Studies in China, 2006, 8(1): 10-15.
- [46] YAN S G, SHEN Y Y. Effects of ecological factors on salt-tolerance of *Puccinellia tenuiflora* seeds during germination[J]. Acta Phytocologica Sinica, 1996, 20(5): 414-422.
- [47] 渠晓霞, 黄振英. 盐生植物种子萌发对环境的适应对策[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2389-2398.
- [48] KHAN M A, UNGAR I A. Effects of thermoperiod on recovery of seed germination of halophytes from saline conditions[J]. American Journal of Botany, 1997, 84(2): 279-283.

## Seed Germination Responses of *Haloxylon ammodendron* to Drought and Salt Stress

LYU Chaoyan<sup>1,2</sup>, ZHANG Ximing<sup>2</sup>, LYU Wei<sup>3</sup>, GAO Zhixi<sup>1</sup>, WANG Jiazhen<sup>4</sup>

(1. Department of Agriculture and Technology, Zunyi Normal College, Zunyi, Guizhou 563002; 2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xijiang 830011; 3. Department of Public Policy and Management, Zunyi Normal College, Zunyi, Guizhou 563002; 4. Department of Life Science, Zunyi Normal College, Zunyi, Guizhou 563002)

**Abstract:** Using physiological principles of ecology, focused on the seed suitability of plant in the harsh desert environment, and based on laboratory simulation, with seeds of *Haloxylon ammodendron* from different habitat as materials, the effect of drought and salt stress on seed germination of *Haloxylon ammodendron* was studied. The results showed that a trend could be observed in all seeds from different populations in PEG and saline solutions. All germination rate decreased with decreasing water potential. When the water potential reached  $-2.26$  MPa and  $-4.15$  MPa separately, the germination rates in all population were close to 0. The inhibitory effect on germination of all the seeds could be detected in NaCl and Iso-osmotic PEG. And the inhibitory effect of Iso-osmotic NaCl was lower than PEG. It showed that the osmotic stress was the main factor that affect the germination of *H. ammodendron*. When salinity stress was alleviated, the germination of *H. ammodendron* could recover quickly. And it meant that hypersaline conditions could induce dormancy of these species. In the equal water potential, the re-germination rate in PEG solution was lower than in NaCl. It included the effect of ion stress on germination was lower than osmotic stress. Therefore, *H. ammodendron*'s high adaptability of seed germination to drought and salinity stress was the basis of the population's restoration and conservation.

**Keywords:** *Haloxylon ammodendron*; salt stress; drought stress; seed germination