

# 盐和 PEG 模拟干旱胁迫对沙米种子萌发及幼苗生长的影响

陈文<sup>1</sup>, 马瑞君<sup>2</sup>, 王桔红<sup>2,3</sup>

(1. 韩山师范学院旅游管理系, 广东 潮州 521041; 2. 韩山师范学院生物系, 广东 潮州 521041;

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)

**摘要:** 研究不同浓度盐溶液(NaCl、MgSO<sub>4</sub>、盐渍土壤)和 PEG 模拟干旱胁迫对沙米种子吸胀、萌发和幼苗生长的影响,并观察胁迫解除后种子的反应。结果表明:随着 NaCl、MgSO<sub>4</sub> 和 PEG 浓度的升高,沙米种子吸胀率先升后降,种子萌发率呈现不同程度降低,盐渍土壤溶液对萌发率没有显著影响;对沙米种子萌发和幼苗生长的胁迫效应是 NaCl > MgSO<sub>4</sub> > 盐渍土壤溶液,沙米种子萌发和幼苗生长能耐受的 NaCl 胁迫临界阈值是 18 g/kg,能耐受一定的 MgSO<sub>4</sub> 和较高浓度的盐渍土壤胁迫。随着干旱胁迫的加剧,种子萌发率显著降低,幼苗生长受阻,沙米种子萌发和幼苗生长能耐受的渗透势临界阈值为 -0.94 MPa。各类盐和 PEG 模拟干旱胁迫解除后,种子仍具有较高的萌发能力,沙米能适应轻度盐渍土壤生境,但盐化程度过高或极端干旱将抑制沙米种子萌发和幼苗建植。破除种子的休眠、土壤保墒、低盐渍化并覆以沙埋(黑暗条件)种植,是保证沙米存活的关键。

**关键词:** 沙米; 种子萌发; 幼苗生长; 盐胁迫; PEG

**中图分类号:** Q945.17 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)04-0113-07

从种子萌发到幼苗生长是植物生活史中最敏感的时期,极易受到外界环境各种因子的影响<sup>[1]</sup>。沙漠地带植被演替的先锋植物——沙米(*Agriophyllum squarrosum*)是藜科(Chenopodiaceae)沙蓬属(*Agriophyllum*)一年生草本植物,广泛分布于我国西北、华北和东北各省的沙漠地带,具有耐干旱、抗盐碱、耐贫瘠、耐风蚀沙埋等性状,有较强的适应能力<sup>[2]</sup>。沙地植物演替过程中,最重要、具有开拓性的一步就是先锋植物在流动沙丘上的定居过程<sup>[3]</sup>。种子是沙米的唯一繁殖方式,但种子萌发和幼苗生长却面临着不可预测、干旱和高温等严酷的环境,种子能否萌发、幼苗是否能成功建植,对于流动沙丘的植被演替和植被稳定具有重要的生态学意义。目前,国内外学者对沙米种子萌发<sup>[4-6]</sup>、种子大小和含水量进行了研究<sup>[7-8]</sup>,并对流动沙丘上沙米生长、种群动态等进行了研究<sup>[9-10]</sup>,对培育和保护沙生植物资源、对荒漠地带植被恢复具有重要意义。然而,不同种类盐和干旱胁迫下沙米种子吸胀、萌发和幼苗生长的研究却鲜见报道。

本试验研究不同浓度的盐溶液(NaCl、MgSO<sub>4</sub>、盐渍土壤)和 PEG 模拟干旱胁迫对沙米种子吸胀、萌

发及幼苗生长的影响,旨在探索中性盐、生境盐渍环境以及干旱胁迫对沙米种子萌发和幼苗生长的影响,为培育和保护耐盐、抗旱植物资源提供基础资料,为干旱、半干旱区植被恢复和重建提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 种子采集和生境概况

2010年秋季在河西走廊东部的民勤县西沙窝(102°58'E; 38°34'N)收集成熟的沙米(*Agriophyllum squarrosum*)种子。该地带海拔 1 367 m,年均气温 7.7℃,昼夜温差 15.2℃,年均降水 110 mm,年均潜在蒸发量 2 646 mm,年均日照 3 028 h,是全国最干旱、荒漠化危害最严重的地区之一。流动沙丘上主要分布有沙米,在半流动沙丘上生长唐古特白刺(*Nitraria tangutorum*)、沙蒿(*Artemisia sphaerocephala*)等植物<sup>[7]</sup>。

### 1.2 试验方法

1.2.1 种子吸胀试验 挑选完整、饱满的沙米种子,用 0.1% 的 HgCl<sub>2</sub> 消毒 5 min,再用 20% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 浸泡 50 min,破除种子休眠(萌发率 > 80%)。在河西

收稿日期:2011-10-27

基金项目:国家自然科学基金(31040009)项目;甘肃省自然科学基金(1010RJZC204)项目;甘肃省高校河西走廊特色资源利用省级重点实验室基金(XZ1013)和甘肃省教育厅研究生导师基金(1009-08)

作者简介:陈文(1963—),男,甘肃张掖人,副教授,主要从事植物地理与生态学研究。

通讯作者:王桔红(1963—),女,河北无极人,博士,教授,主要从事特殊地域植物生态学研究。E-mail: wjuh1918@yahoo.cn。

走廊中部张掖市东郊沙枣林盐碱地采用五点混合法取土样,该土壤总盐度 10~40 g/kg,主要由 NaCl、CaCl<sub>2</sub>、MgCl<sub>2</sub>、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、CaSO<sub>4</sub>、MgSO<sub>4</sub> 等组成<sup>[11]</sup>。用铁锹去掉表层土,并除去枯枝落叶,取土样 50 g 放入三角瓶中,加入 100 mL 蒸馏水浸泡 24 h 后,置振荡机上振荡 12 h,静置 12 h,取上清液过滤 2 次,得到浓度为 50 g/100mL 的土壤母液,置于 4℃ 下保存备用。选用直径 90 mm 的培养皿,用 75% 乙醇擦拭进行消毒。在每个培养皿中铺双层滤纸,在滤纸上均匀放置 25 粒种子,分别加入约 5 mL 不同浓度(0、2、4、6、12、18、28、36 g/kg)的 NaCl、MgSO<sub>4</sub> 和盐渍土壤溶液,每处理 4 次重复。在人工气候室内以 25℃、12 h 光照/12 h 黑暗培养,光照强度为 1 500 LX。干旱胁迫采用 5%、10%、15%、20%、30% 的 PEG(聚乙二醇,分子量为 6000)溶液模拟,以蒸馏水处理作对照。根据 Michel 和 Kaufmann 文献中 PEG 溶液浓度与渗透势的关系方程<sup>[12]</sup>,以上 PEG 浓度在 25℃ 时的渗透势依次为 -0.03、-0.10、-0.24、-0.42 MPa 和 -0.94 MPa。计算公式如下:

$$\psi_s = -(1.18 \times 10^{-2})C - (1.18 \times 10^{-4})C^2 + (2.67 \times 10^{-4})CT + (8.39 \times 10^{-7})C^2T$$

式中,  $\psi_s$  为渗透势;  $C$  表示 PEG 浓度;  $T$  表示温度。

干旱胁迫下种子培养过程同上。从试验开始每隔 4 h 取出种子称重,测定种子的吸水量,测定时将培养皿内的种子全部取出,用滤纸吸去种子表面黏附的溶液,快速称重,吸水试验为 44 h。为减少水分蒸发和种子吸水引起培养皿内水势的改变,每 4 h 更换 1 次胁迫溶液处理的萌发床。

1.2.2 萌发试验 以同样温度和光照条件进行萌发实验,以看到白色幼根为标准判断种子是否萌发,每 24 h 观察记录萌发种子数,培养 13 d。每 2 d 更换一次盐溶液和 PEG 溶液处理的萌发床,以保持发芽床水势恒定。

为了分析盐和干旱胁迫对幼苗生长、物质分配及复水后萌发率的影响,在种子萌发到第 13 天时,每处理随机选取 10 株正常幼苗测量其幼根长、下胚轴长,并测定每一浓度处理下的组织相对含水量和相对伤害率<sup>[13]</sup>。培养 13 d 后,将未萌发的种子用蒸馏水反复冲洗 3 次转至蒸馏水中恢复培养 8 d,检测种子的恢复萌发率。

### 1.3 数据统计

以单因素方差分析(One-way ANOVAs)和最小差异显著法(LSD)检验各处理平均值间的差异显著性。统计分析使用 SPSS17.0 和 Excel 统计软件。试

验数据按下列公式计算:

(1) 吸胀速率:  $W_f = (W_t - W_0) / W_0 \times 100\%$ ,式中,  $W_t$  为种子重量的增加率,  $W_t$  和  $W_0$  分别代表种子吸水后和吸水前的重量<sup>[14]</sup>。

(2) 萌发率(GP) =  $GN / SN \times 100\%$ ,式中,  $GN$  为种子萌发总数,  $SN$  为供试种子总数。

(3) 恢复萌发率 =  $[(a - b) / (c - d)] \times 100\%$ ,式中,  $a$  为全部时间的发芽种子数,  $b$  是盐胁迫溶液中的发芽种子数,  $c$  是供试种子数,  $d$  是复水前萌发的种子数<sup>[15]</sup>。

(4) 组织相对含水量  $RWC(\%) = (W_f - W_d) / (W_t - W_d) \times 100\%$ ,采用饱和称重法<sup>[16]</sup>,式中,  $RWC$  为相对含水量,  $W_f$  为种苗鲜重(g),  $W_t$  为种苗在吸水饱和时的重量(g),  $W_d$  为种苗干重(g)。

(5) 细胞质膜透性(相对电导率) =  $R_1 / R_2 \times 100\%$ ,采用浸泡法<sup>[17]</sup>,式中,  $R_1$  为种苗浸提液电导值,  $R_2$  为煮沸后浸提液电导值。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐和 PEG 模拟干旱胁迫下种子吸胀速率的变化

由图 1 可以看出,沙米种子累计吸水量随 NaCl 胁迫浓度的增加呈先升后降趋势,浓度为 2 g/kg 时种子的累积吸水量最大;浓度在 4~36 g/kg 时,其吸水速率呈下降趋势,36 g/kg NaCl 时吸水量最小;不同浓度的 NaCl 胁迫下种子吸水速度在不同时间呈现不同变化,蒸馏水处理的种子在 4~8 h 或 12 h 吸水速度最快,在 16 h 时吸水速度趋于平缓并保持稳定;2 g/kg NaCl 胁迫的种子在 4~8 h 吸水速度缓慢,8~20 h 吸水速度加快,28 h 以后趋于平缓;4 g/kg NaCl 胁迫的种子在 4~12 h 吸水速度最快,16 h 之后趋于平缓;6、12、18 g/kg NaCl 胁迫的种子在 4~16 h 或 18 h 吸水速度较快,之后趋于平稳或下降;28 g/kg NaCl 胁迫的种子在 4~16 h 有较快的吸水速度,28 h 吸水速度达到最大;36 g/kg NaCl 胁迫下的种子在 16 h 吸水速度达到最大。沙米种子累计吸水量随 MgSO<sub>4</sub> 胁迫浓度的增加呈先上升后降低的趋势, MgSO<sub>4</sub> 溶液处理的沙米种子在浓度为 12 g/kg 时有最大累积吸水量,明显高于对照,其它浓度下累积吸水量相差不大,浓度为 36 g/kg 时累积吸水量最小;不同浓度的 MgSO<sub>4</sub> 胁迫下种子吸水速度在不同时间也呈现不同变化,各浓度下的种子在 4~16 h 快速吸水,然后减缓,吸水量趋于平缓。同样,土壤溶液处理下的种子累积吸水量也随浓度的增大先升后降,浓度为 28 g/kg 时有最大累积吸水

量;在各浓度下,0~8 h 快速吸水,36 g/kg 和 28 g/kg 浓度下的种子在 16 h 时有最大吸水量。PEG 处理下的种子,随 PEG 浓度增大呈现先上升后下降的趋势,-0.03 MPa 下种子最终累积吸水量最大,其次是 -0.24 MPa 和 -0.10 MPa 下的种子,-0.42 MPa 和 -0.94 MPa 下的种子累积吸水量最小;各浓度下

的种子在 0~16 h 吸水速度快,然后趋于平缓。

在 NaCl、MgSO<sub>4</sub>、土壤溶液和 PEG 模拟干旱下沙米种子的最终累积吸水量随浓度增加呈现先上升后下降的趋势;吸水率曲线呈波浪形,当吸水达到一定值时会出现脱水现象,波动期在浸种 8~32 h 之间(图 1)。

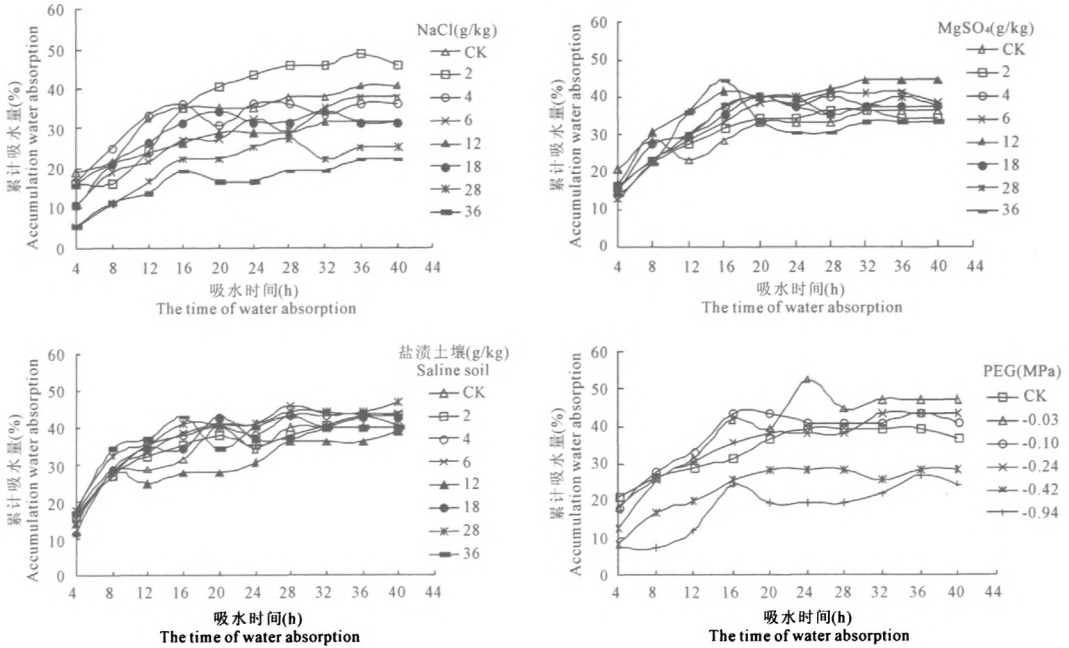


图 1 NaCl、MgSO<sub>4</sub>、土壤溶液和 PEG 处理下沙米种子吸水速率

Fig.1 The water uptake rate in *Agriophyllum squarrosum* seed following NaCl, MgSO<sub>4</sub>, saline soil solution and PEG stress

2.2 盐胁迫下沙米种子的萌发及恢复萌发

分析显示,不同浓度的 NaCl ( $F = 756.120, P < 0.001$ )和 MgSO<sub>4</sub> ( $F = 946.772, P < 0.001$ )对沙米种子萌发率有极显著影响,土壤溶液对沙米种子萌发率的影响不显著( $P > 0.05$ )。

从图 2 中可看出,沙米种子对不同盐渍生境的反应有所不同。0~12 g/kg NaCl 胁迫下,萌发率随胁迫浓度的增加呈迅速下降趋势,12 g/kg NaCl 胁迫下沙米种子萌发率极低,18 g/kg NaCl 胁迫下种子萌发完全被抑制,表明沙米种子萌发对 NaCl 的胁迫十分敏感,种子萌发能耐受的 NaCl 胁迫临界阈值是 18 g/kg;MgSO<sub>4</sub> 对沙米种子萌发的影响则表现出先促后抑,浓度在 2~4 g/kg 之间其萌发率明显高于对照,当达到 6 g/kg 时又表现为显著的抑制作用,说明低浓度 MgSO<sub>4</sub> 溶液处理沙米种子可提高其萌发率;盐渍土壤溶液在 2~36 g/kg 处理下其萌发率均

较高,无明显的抑制效应。在同一浓度下盐的抑制效应表现为 NaCl > MgSO<sub>4</sub> > 盐渍土壤溶液。

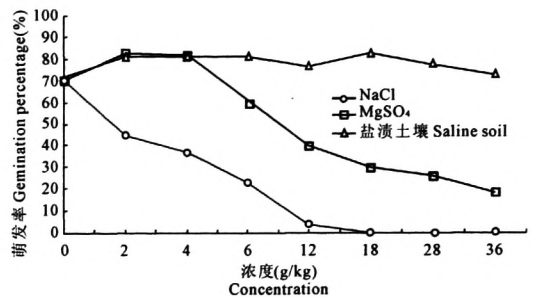


图 2 不同盐溶液处理下沙米种子萌发率

Fig.2 Seed germination percentage of *Agriophyllum squarrosum* following various salt stresses

萌发试验 13 d 后,将未萌发的沙米种子转移至蒸馏水中做复水试验。由图 3 可看出,在解除胁迫

后,36 g/kg NaCl 胁迫后被抑制萌发的沙米种子具有较高的恢复萌发能力,恢复萌发率达到 80%;NaCl、MgSO<sub>4</sub> 和土壤溶液胁迫后,未萌发的种子在复水后的第 2 天就能迅速萌发;相同浓度下,NaCl 胁迫后的种子恢复萌发率 > MgSO<sub>4</sub> 和土壤溶液胁迫的种子。由图 4 看出,各浓度的盐渍土壤溶液对种子的总萌发率没有影响,NaCl 胁迫下总萌发率(包括胁迫和复水后的萌发率)随浓度增大先降低后升高,MgSO<sub>4</sub> 胁迫下的沙米种子恢复萌发率要低于 NaCl 胁迫的种子,在高浓度 MgSO<sub>4</sub> 胁迫下,总萌发率低于 NaCl 胁迫下的种子总萌发率(图 4)。

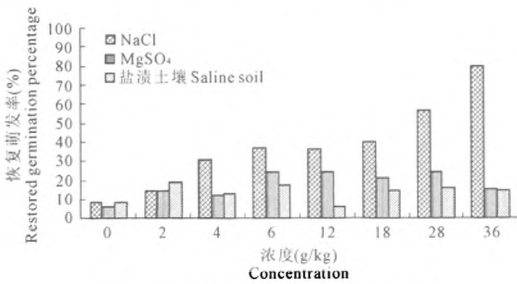


图 3 不同盐溶液处理下的恢复萌发率

Fig. 3 The restored germination percentage following salts stress

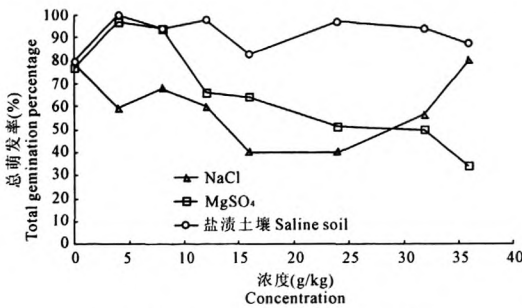


图 4 去除胁迫后沙米种子的总萌发率

Fig. 4 The total germination percentage of *Agriophyllum squarrosum* after removing salt stress

### 2.3 盐胁迫对沙米幼苗生长的影响

盐胁迫对沙米种子萌发后幼苗生长的影响与盐种类和浓度有关,而且对根长及下胚轴长的胁迫程度也不同。由表 1 可知,在 NaCl 胁迫下,根长和下胚轴随盐浓度的升高生长受到的抑制作用增强。在 MgSO<sub>4</sub> 处理下根的生长表现为先增强后抑制,随 MgSO<sub>4</sub> 浓度的升高,下胚轴的生长受到抑制。盐渍土壤溶液对根的影响不显著,但对下胚轴生长有明显的促进作用,当土壤浓度达到 6~18 g/kg 时下胚轴长显著大于对照,在 28~36 g/kg 又小于对照,说明该浓度抑制下胚轴的生长;在 NaCl 溶液处理下的

不同浓度之间幼苗的组织含水量无明显差异。

### 2.4 PEG 模拟干旱胁迫对沙米种子萌发及幼苗生长的影响

PEG 模拟干旱胁迫对沙米种子萌发率有极显著影响 ( $F = 55.394, P < 0.001$ )。随 PEG 浓度的增大,沙米种子萌发率呈显著下降趋势,当渗透势为 -0.03 MPa 时,最终萌发率为 65%;-0.10 MPa 时,萌发率为 35%;-0.24 MPa 时,萌发率为 17%, -0.42 MPa 时萌发率仅为 2%, -0.94 MPa 时种子萌发被抑制;当高浓度 PEG 胁迫 (-0.94 MPa) 解除后,恢复萌发率达到 48%;在 PEG 模拟干旱胁迫及复水处理下,0.03 MPa 渗透势下种子总萌发率最高 (83%), -0.42 MPa 渗透势下总萌发率最低 (38%) (表 2)。

随 PEG 浓度的增加,沙米根长、下胚轴长呈明显下降趋势,当渗透势为 -0.94 MPa 时,根和下胚轴的生长被完全抑制;随 PEG 浓度的增大,种苗的组织相对含水量与对照差异不显著,但细胞膜相对伤害率呈现增大趋势(表 2)。

## 3 讨论

### 3.1 沙米种子吸胀对盐和干旱胁迫的响应

吸水是种子萌发的先决条件,不同植物、不同环境条件,种子吸胀和萌发对水势的要求不同、吸水速度也不同<sup>[18]</sup>。本研究显示,沙米种子累计吸水量随 NaCl、MgSO<sub>4</sub> 和盐渍土壤浓度的增加呈先上升后下降趋势,2 g/kg NaCl、12 g/kg MgSO<sub>4</sub> 和 28 g/kg 盐渍土壤溶液处理的种子有最大累积吸水量,36 g/kg 各种盐溶液处理的种子有最小累积吸水量,说明在低浓度盐胁迫下沙米种子吸水能力未受到影响,但高浓度盐胁迫,尤其是 NaCl 阻碍了种子的吸水。此外,不同盐种类、不同浓度的盐胁迫,种子吸水速度不同,蒸馏水处理的种子在 4~8 h 或 12 h 吸水速度最快,NaCl 和 MgSO<sub>4</sub> 溶液处理的种子在 4~12 h 或 16 h 快速吸水,盐渍土壤溶液处理的种子在 0~8 h 快速吸水。一般来说,种子吸水量一般达到其重量的 25%~30% 时才能萌发<sup>[19]</sup>,本研究显示,对照种子浸泡 32 h 后吸水量达到 38%,2 g/kg NaCl 处理的种子浸泡 16 h 后吸水量达到 38%,40 h 后种子吸水量达到 50%,但 NaCl 浓度为 28~36 g/kg 时,浸种 40 h 种子吸水量仅达到 20%,说明盐浓度过高将导致植物吸水困难,抑制植物生长<sup>[20]</sup>。此外,种子吸水量随 PEG 浓度增大呈现先上升后下降的趋势,-0.03 MPa 下种子最终累积吸水量最大,随浓度增

大种子吸水量逐渐减少、吸水速度减慢,该研究结果一致,说明适当的盐和渗透胁迫能提高沙米种子的累积吸水量和吸水速率。与牟新待等<sup>[21]</sup>和沈禹颖等<sup>[22]</sup>对牧草的研究结果一致。

表1 盐胁迫下沙米幼苗形态指标

Table 1 Morphological index of seedling growth of *Agriophyllum squarrosum* following salt stress

盐 Salt (g/kg)	根长 Root length (cm)	下胚轴长 Hypocotyla length (cm)	组织相对含水量(%) Relative water content of tissue	相对伤害率(%) Relative harmful rate	
NaCl	0	1.48 ± 0.64 d	1.11 ± 0.04 c	89.87 ± 0.42 b	66.05 ± 8.82 b
	2	1.02 ± 0.09 c	0.81 ± 0.07 b	85.85 ± 2.62 b	87.27 ± 7.92 c
	4	0.66 ± 0.23 bc	0.80 ± 0.12 b	88.89 ± 7.32 b	75.23 ± 12.32 b
	6	0.30 ± 0.27 ab	0.84 ± 0.038 b	90.67 ± 1.55 b	86.77 ± 0.77 c
	12	0.29 ± 0.18 ab	0.05 ± 0.02 a	90.53 ± 4.36 a	89.35 ± 2.69 c
	18	—	—	—	—
	28	—	—	—	—
	36	—	—	—	—
MgSO <sub>4</sub>	0	1.48 ± 0.64 cd	1.05 ± 0.02 d	89.84 ± 3.39 c	68.28 ± 2.17 b
	2	1.40 ± 0.60 cd	0.94 ± 0.06 cd	76.12 ± 3.51 b	75.91 ± 5.36 c
	4	1.42 ± 0.13 cd	1.00 ± 0.06 cd	73.88 ± 3.66 b	78.38 ± 2.27 c
	6	1.67 ± 0.12 d	0.85 ± 0.13 cd	88.24 ± 6.58 c	84.14 ± 3.40 d
	12	1.10 ± 0.46 bc	0.74 ± 0.05 bc	85.42 ± 5.13 c	89.19 ± 2.53 e
	18	0.97 ± 0.68 bc	0.53 ± 0.07 ab	91.02 ± 0.48 c	91.44 ± 1.79 e
	28	0.73 ± 0.10 b	0.74 ± 0.03 bc	—	—
	36	0.23 ± 0.06 a	0.43 ± 0.09 a	—	—
盐渍土壤 Saline soil	0	1.46 ± 0.64 a	1.10 ± 0.05 d	90.08 ± 0.65 cd	69.09 ± 3.44 cd
	2	1.27 ± 0.72 a	1.11 ± 0.06 a	82.24 ± 1.90 ab	80.50 ± 10.25 d
	4	1.50 ± 0.87 a	1.14 ± 0.11 ab	84.48 ± 0.05 ab	58.44 ± 9.67 bc
	6	1.33 ± 0.80 a	1.32 ± 0.25 ab	78.43 ± 0.88 a	57.62 ± 10.15 b
	12	1.37 ± 0.15 a	1.30 ± 0.04 ab	81.75 ± 4.33 ab	72.77 ± 2.23 d
	18	1.17 ± 0.05 a	1.33 ± 0.29 b	83.14 ± 4.59 ab	75.20 ± 1.45 d
	28	1.37 ± 0.35 a	1.01 ± 0.21 a	81.75 ± 3.56 bc	—
	36	1.17 ± 0.65 a	0.98 ± 0.04 a	83.14 ± 3.39 d	—

注:数据为平均值 ± 标准误差;同列数据后不同字母表示差异显著(P < 0.05)。

Note: The data is mean value ± SD; The different alphabet represent significant difference at 5% level.

表2 干旱胁迫下沙米种子萌发率和幼苗形态

Table 2 Seed germination and morphology of seedlings of *Agriophyllum squarrosum* under drought stress

PEG (MPa)	萌发率 Germination percentage (%)	恢复萌发率 Restoration germination percentage (%)	根长 Root length (cm)	下胚轴长 Hypocotyla length (cm)	组织相对含水量 Relative water content of tissue (%)	相对伤害率 Relative harmfulrate (%)
CK	71 ± 1.8d	5	1.48 ± 0.64 d	1.11 ± 0.02 d	89.87 ± 6.71 a	66.05 ± 2.58 a
-0.03	65 ± 8.2d	18	1.02 ± 0.15 cd	0.81 ± 0.14 cd	85.85 ± 3.40 a	87.27 ± 9.51 b
-0.10	35 ± 5.0c	39	0.60 ± 0.05 bc	0.84 ± 0.10 c	88.89 ± 3.36 a	75.23 ± 7.83 ab
-0.24	17 ± 3.0b	40	0.30 ± 0.11 ab	0.84 ± 0.01 b	90.67 ± 9.82 a	86.77 ± 3.54 b
-0.42	2 ± 3.0a	36	0.20 ± 0.04 ab	0.05 ± 0.15 a	—	—
-0.94	0 ± 0a	48	—	—	—	—

注:数据为平均值 ± 标准误差;同列数据后不同字母表示差异显著(P < 0.05)。

Note: The data is mean value ± SD; The different alphabet represent significant difference at 5% level.

### 3.2 沙米种子萌发和幼苗生长对盐、干旱胁迫的响应

沙米种子在不同种类、不同浓度的盐胁迫下其萌发受到的抑制程度不同,  $\text{NaCl} > \text{MgSO}_4 > \text{盐渍土壤溶液}$ , 当  $\text{NaCl}$  胁迫解除后, 沙米种子仍具有很高的萌发能力, 该结果与沈禹颖等<sup>[22]</sup>对碱茅、阎秀峰等对星星草<sup>[23]</sup>及杨远昭等<sup>[24]</sup>的研究结果一致, 说明盐对沙米种子萌发的影响是由于渗透作用, 而不是离子毒害作用<sup>[25]</sup>。渗透调节是耐盐植物适应盐渍生境的重要机制, 在高盐浓度下部分或全部种子停止萌发, 如遇降水, 土壤溶液浓度降低, 种子便可迅速恢复萌发, 这可能是沙米在胁迫环境中生存的主要原因之一。

不同盐种类、不同浓度对沙米幼苗形态和生理有不同的影响。在  $\text{NaCl}$  和  $\text{MgSO}_4$  胁迫下, 根和下胚轴的生长随盐浓度的升高抑制程度增强, 土壤溶液对下胚轴生长有明显的促进作用; 随  $\text{NaCl}$  和  $\text{MgSO}_4$  浓度升高, 沙米种子细胞膜透性增加, 伤害率增大, 土壤溶液处理下的细胞膜透性变化不明显。PEG 胁迫下的沙米种子萌发率、幼根、下胚轴都随处理浓度的升高而受到抑制, 细胞膜透性增大, 该结果与于军等对矮沙冬青种子的萌发<sup>[26]</sup>、李振基等<sup>[27]</sup>对木荷种子萌发在干旱胁迫下的响应研究结果一致。干旱引起的膜伤害是由于生物自由基引起不饱和脂肪酸过氧化和保护酶体系中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)活性下降造成<sup>[28]</sup>, 而自然生境下生长的沙米能够抗干旱, 可能与细胞内酶相互配合协同作用有关<sup>[29]</sup>。

胡生新等对石羊河流域流动、半流动沙丘上沙米空间分布进行调查后发现<sup>[10]</sup>, 在自然生境中沙米种子萌发率不足 15%, 种子在 25℃、黑暗条件下最高萌发率仍不足 50%, 说明沙米种子具有深度休眠, 自然繁育率低。本研究表明, 即使沙米种子破除了休眠, 在极端干旱条件下仍只有少数种子能萌发, 而且幼苗不能成功建植; 一旦有充足的水分, 没有萌发的种子会快速萌发, 保证幼苗成功建植, 这是沙米种群更新的重要对策之一。

## 4 结论

随盐和干旱胁迫的增加, 沙米种子吸胀率、萌发率呈现不同程度的降低, 盐渍土壤溶液对种子萌发没有显著影响; 对沙米种子萌发和幼苗生长的胁迫

效应是  $\text{NaCl} > \text{MgSO}_4 > \text{盐渍土壤溶液}$ ; 胁迫解除后, 沙米种子具有较高的恢复萌发能力, 说明沙米种子萌发是通过渗透调节适应盐渍和干旱生境。沙米种子能适应轻度盐渍土壤生境, 但盐化程度过高或干旱将抑制沙米种子萌发和幼苗建植。因此, 在利用种子进行植被恢复或人工种植沙米时, 一是要破除种子休眠, 提高萌发率; 二是土壤保墒, 供给一定水分, 保证种子萌发和幼苗建成; 第三, 在低盐渍化、覆以沙土(黑暗条件)种植, 是保证沙米存活的关键。

### 参考文献:

- [1] Omami EN, Haigh AM, Medd RW, 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.
- [2] 齐凯, 安晓亮, 叶世河. 沙米生长特性调查[J]. 内蒙古林业科技, 2010, 36(1):17-21.
- [3] 李胜功, 常学礼, 赵学勇. 沙蓬—流动沙丘先锋植物的研究[J]. 干旱区资源与环境, 1992, 6(4):63-70.
- [4] Zheng YR, Gao Y, Ping An, et al. Germination characteristics of *Agriophyllum squarrosum*[J]. *Canadian Journal of Botany*, 2004, 82(11):1662-1670.
- [5] Liu ZM, Yan QL, Baskin CC, et al. Burial of canopy-stored seeds in the annual psammophyte *Agriophyllum squarrosum* Moq. (Chenopodiaceae) and its ecological significance[J]. *Plant Soil*, 2006, 288:71-80.
- [6] 王丽, 闫德仁, 孟显波. 沙米种子萌发特性探讨[J]. 内蒙古林业科技, 2009, 35(1):27-29.
- [7] 马全林, 张鹤魁, 陈芳, 等. 流动沙丘先锋植物沙米的种子特征研究[J]. 种子, 2008, 27(11):72-76.
- [8] 韩向东. 固沙先锋植物沙米的生物学特征研究[J]. 甘肃林业科技, 2007, 32(4):4-9.
- [9] Bai WM, Bao XM, Li LH. Effects of *Agriophyllum squarrosum* seed banks on its colonization in a moving sand dune in Hunsandake Sand Land of China[J]. *Journal of Arid Environments*, 2004, 59:151-157.
- [10] 胡生新, 马俊梅, 高万林. 流动沙丘先锋植物沙米的空间分布特征[J]. 种子, 2010, 26(14):46-50.
- [11] 同治斌, 姜嘉海, 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, 31(2):122-127.
- [12] Michel BE, Kaufmann MR. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000[J]. *Plant Physiology*, 1973, 51(5):914-916.
- [13] 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.
- [14] 尹凤祥. 董学会. 种子学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [15] 刘鹏, 田长彦, 张科. 温度和盐分胁迫对紫翅猪毛菜种子萌发特性的研究[J]. 种子, 2007, 26(8):16-20.
- [16] 刘锦川, 云锦凤, 张磊. 氯化钠胁迫下 3 种披碱草属牧草生

- 理特性的研究[J].草地学报,2010,18(5):694-697.
- [17] 陈爱葵,韩瑞宏,李东洋,等.植物叶片相对电导率测定方法比较研究[J].广东教育学院学报,2010,30(5):88-91.
- [18] 曾彦军,王彦荣,萨仁.几种旱生灌木种子萌发对于干旱胁迫的响应[J].应用生态学报,2002,13(8):953-956.
- [19] 马云彬.发芽生理学[M].北京:农业出版社,1988.
- [20] 胡云云.盐生植物耐盐性的研究进展[J].医学信息,2010,(8):2089-2091.
- [21] 牟新待,龙瑞君,任云字,等.几种牧草苗期耐盐性的研究[J].中国草地,1988,(4):53-55.
- [22] 沈禹颖,闫顺国,余玲,等.盐分浓度对碱茅草种子萌发的影响[J].草业科学,1991,8(3):22-25.
- [23] 阎秀峰,孙国荣,邢守海,等.盐分对星星草种子萌发的胁迫作用[J].草业科学,1994,11(4):27-31.
- [24] 杨远阳,李利,王纯利,等.温度、NaCl和水分胁迫对白藜种子萌发及其恢复的影响[J].新疆农业大学学报,2007,30(2):9-12.
- [25] 王果平,康喜亮,陶锦,等.不同盐浓度对芨芨草种子萌发过程中几种生理指标的影响[J].干旱地区农业研究,2006,24(2):139-142.
- [26] 于平,焦培培.聚乙二醇(PEG6000)模拟干旱胁迫抑制矮沙冬青种子的萌发[J].基因组学与应用生物学,2010,29(2):355-360.
- [27] 李振基,宋爱琴.聚乙二醇(PEG)模拟水分胁迫对木荷种子萌发的影响[J].福建林业科技,2007,34(4):1-5.
- [28] 张盼盼,冯佰利,王鹏科,等.干旱条件下糜子叶片衰老与保护酶活性变化[J].干旱地区农业研究,2010,28(2):99-103.
- [29] 王海珍,梁宗锁,郝文芳,等.白刺花(*Sophora micifolia*)适应土壤干旱的生理学机制[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):106-110.

## Effect of salt and drought simulated by PEG on seed germination and seedling growth of *Agriophyllum squarrosum*

CHEN Wen<sup>1</sup>, MA Rui-jun<sup>2</sup>, WANG Ju-hong<sup>2,3</sup>

(1. Department of Tourism Management, Hanshan Normal University, Chaozhou, Guangdong 521041, China;

2. Department of Biology, Hanshan Normal University, Chaozhou, Guangdong 521041, China;

3. Key Laboratory of Resources Utilization of Gansu Universities, Zhangye, Gansu 734000 China)

**Abstract:** Seed germination and seedling growth of *Agriophyllum squarrosum* following different concentration of the NaCl, MgSO<sub>4</sub> and saline soil solution and that of the PEG-6000 solution were studied, and the restoration germination of seeds was observed. The results showed that water uptake rate of seed increased first and then decreased, and germination percentage decreased with increasing NaCl, MgSO<sub>4</sub> and PEG concentration, whereas there was insignificant effect of saline soil solution on germination percentage. The stress effects of salt on seed germination and seedling growth were NaCl > MgSO<sub>4</sub> > saline soil solution. Seed germination and seedling growth of *Agriophyllum squarrosum* were sensitive to NaCl stress, in which the lowest permeability threshold was 18 g/kg; seed germination could tolerate stress of higher concentration of saline soil solution. In addition, with increasing of PEG concentration, the germination percentage decreased insignificantly, and seedling growth was restricted, in which the lowest permeability threshold was -0.94 MPa. After removing the stress of salts and PEG, seeds displayed higher germination percentage, indicating that there was osmotic regulation during seed germination to adapt saline and drought habitats. The results imply that *Agriophyllum squarrosum* can survive in mild saline soil habitat, however, high degree of saline or extreme drought will inhibit seed germination and seedling establishment. We suggest that breaking seed dormancy, keeping soil moisture and low salinity, and sand burial (dark condition) cultivation are the key to guarantee the survival of *Agriophyllum squarrosum*.

**Keywords:** *Agriophyllum squarrosum*; seed germination; seedling growth; salt stress; PEG