

doi:10.11937/bfyy.20223265

# 不同盐碱胁迫对大叶补血草种子萌发及幼苗生长的影响

代 婷, 梅 新 娣

(新疆大学 生命科学与技术学院, 新疆生物资源基因工程重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046)

**摘 要:**以大叶补血草种子为试材, 采用不同浓度的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$  及其混合盐 ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 : \text{NaHCO}_3 = 1 : 1$ ) 溶液处理种子, 研究了不同盐碱胁迫对大叶补血草种子萌发及幼苗生长的影响, 以期改善盐碱地和种植大叶补血草提供参考依据。结果表明: 大叶补血草种子萌发率、发芽势、发芽指数、活力指数均随盐溶液浓度升高而呈降低趋势; 当  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  浓度  $\geq 400 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、混合盐浓度为  $500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 大叶补血草种子萌发率为 0%; 3 种胁迫均显著抑制大叶补血草幼苗的生长, 不同的盐碱胁迫对胚根和子叶的影响有差异; 在高浓度盐胁迫下, 3 种盐处理种子后的相对盐害率表现为  $\text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{混合盐} > \text{NaHCO}_3$ 。说明大叶补血草种子对  $\text{NaHCO}_3$  的耐受性最强, 其次是混合盐, 对  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  的耐受性最弱。

**关键词:**大叶补血草; 种子萌发; 幼苗生长; 盐碱胁迫

**中图分类号:**S 567.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2023)11-0106-07

大叶补血草 (*Limonium gmelinii* (Willd.) Kuntze) 是白花丹科 (Plumbaginaceae) 补血草属

多年生草本植物, 主要分布在新疆北部<sup>[1]</sup>, 株高约 40~80 cm, 根粗壮, 肉质<sup>[2]</sup>, 茎基多头, 基部具残遗枯叶柄, 叶革质, 生于花茎基部呈莲座状, 较厚硬, 叶片形状多呈椭圆形, 宽大, 开花时叶不凋落, 花冠蓝紫色<sup>[3]</sup>, 种子呈长卵形, 红褐色<sup>[4]</sup>。大叶补血草生长在比较干旱的盐碱地带, 在防风固沙, 保持水土方面具有重要的生态效应<sup>[5]</sup>。大叶补血草花形美丽夺目, 花朵繁茂, 花期长, 具有丰富和独特的艺术美感和观赏价值, 可做切花用, 可进行路旁丛植、花坛花境栽培, 也可以沿公路和铁路大面积种植, 美化环境<sup>[6]</sup>。大叶补血草还是一种繁殖比较容易、生命力顽强、生长速度快的植物, 亦可

**第一作者简介:**代婷(1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向为植物逆境生理和荒漠干旱区的植被保护。E-mail: tingdai312@126.com.

**责任作者:**梅新娣(1970-), 女, 博士, 副教授, 现主要从事植物逆境生理和荒漠干旱区的植被保护等研究工作。E-mail: 562298072@qq.com.

**基金项目:**新疆自治区科技厅自然科学基金资助项目(2019D01C069); 新疆大学校级自然基金资助项目(62031224614)。

**收稿日期:**2022-08-08

of hot air-dried sample (HADS) ( $P < 0.05$ ). The texture of rehydrated HPDS was intermediate between rehydrated HADS and VFDS. Furthermore, the microstructure of rehydrated HPDS had no significant difference to fresh samples. The energy consumption of HAD, VFD and HPD were  $6.67 \text{ kWh} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $2.65 \text{ kWh} \cdot \text{kg}^{-1}$  and  $0.85 \text{ kWh} \cdot \text{kg}^{-1}$ , respectively. The lowest energy consumption among the three drying methods was seen with HPD. In summary, HPD was a promising drying technology for large-scale drying of shiitake mushroom.

**Keywords:** shiitake mushroom; drying method; color difference; texture; microstructure

作为新疆地区土壤盐碱性高的山区和草原种植的牧草,是一种有很高开发价值的饲用草料<sup>[3]</sup>。同时大叶补血草的根茎是新疆维吾尔族和哈萨克族的传统药材<sup>[7]</sup>,其药用功能主要有止血化痰、抗炎、抗菌等<sup>[8-9]</sup>。

新疆位于中国西北部,地处亚欧大陆腹地,是典型的干旱区<sup>[10]</sup>。有数据显示,新疆(包括兵团)灌区耕地总面积为 617.85 万  $\text{hm}^2$ ,盐渍化耕地为 233.07 万  $\text{hm}^2$ ,占灌区耕地总面积的 37.7%<sup>[11]</sup>。新疆土壤盐渍化问题突出,利用耐盐碱植物改善和修复盐渍土是其中一种有效途径。了解耐盐碱植物对盐碱胁迫的响应机制是实现这一途径的必然过程。植物的不同生长阶段对盐碱胁迫的响应不同,植物种子萌发是对外界环境最敏感的阶段<sup>[12]</sup>。已有大量研究报道了耐盐碱植物种子萌发对盐碱胁迫的响应,有研究表明,用 4 种不同的单盐处理盐爪爪种子均显著抑制其萌发率和萌发指数,并且均显著抑制其幼苗芽和根的生长<sup>[13]</sup>。这与对芸芥<sup>[14]</sup>、盐穗木<sup>[12]</sup>和盐桦<sup>[15]</sup>等种子的研究结果类似。

目前,国内针对大叶补血草的研究主要集中在不同环境因子对其种子萌发<sup>[16-18]</sup>和生理<sup>[19-20]</sup>的影响、化学成分活性<sup>[21-22]</sup>及提取<sup>[23]</sup>研究、耐盐基因分子生物学研究<sup>[24]</sup>,以及引种<sup>[3]</sup>、栽培<sup>[25]</sup>和组织培养<sup>[26]</sup>等方面的研究。国际上,对大叶补血草的研究主要集中在其化学成分<sup>[27]</sup>、形态结

构<sup>[28]</sup>及生物活性<sup>[29]</sup>等方面。然而,以往研究大叶补血草种子对盐碱胁迫的响应主要用  $\text{NaCl}$  和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  2 种单盐进行处理,大叶补血草种子对其它盐分及其混合盐碱的响应鲜有报道。

该研究根据新疆北部盐分组成特点,采用  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$  及其混合盐溶液人工模拟盐碱胁迫条件,旨在探究盐碱胁迫对大叶补血草种子萌发及幼苗生长特性的影响,为种植大叶补血草提供参考依据,为深入研究植物耐盐碱机制奠定重要理论基础,且对改善和治理盐碱地具有重大意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料大叶补血草种子于 2021 年 8 月采自新疆北疆呼图壁县种牛场附近干旱荒漠盐碱地,保存在 4  $^{\circ}\text{C}$  冰箱中备用。

### 1.2 试验方法

试验共 4 个处理组,蒸馏水为对照,用 2 种分析纯试剂  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$  配制成不同浓度梯度的单盐溶液,并按  $\text{Na}_2\text{SO}_4 : \text{NaHCO}_3 = 1 : 1$  的摩尔比配制不同浓度的混合盐碱溶液。盐溶液的浓度梯度为 50、100、200、300、400、500  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。共 19 个处理,用 PHS-3E 型 pH 计测定各处理组 pH(表 1)。

表 1 各处理组的盐浓度和 pH

Table 1 Salt concentration and pH value of each treatment group

处理 Treatment	盐浓度 Salt concentration/( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )						pH
CK	0	0	0	0	0	0	7.10
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	50	100	200	300	400	500	6.93±0.48
$\text{NaHCO}_3$	50	100	200	300	400	500	8.59±0.11
$\text{Na}_2\text{SO}_4 : \text{NaHCO}_3 = 1 : 1$	50	100	200	300	400	500	8.51±0.14

选择颗粒饱满、健康的大叶补血草种子,蒸馏水冲洗干净,然后用 0.1% 的次氯酸钠溶液表面消毒 10 min,再用蒸馏水冲洗 5~6 遍,用干燥滤纸吸干种子表面残留的水分。用直径 10 cm、铺有已灭菌的双层滤纸的培养皿培养,双层滤纸中间放有脱脂棉,每皿放置 25 粒种子,每皿加相应浓度的盐溶液浸湿滤纸。每个处理设 4 个重复,置于 12 h 光照/12 h 黑暗的 25  $^{\circ}\text{C}$  恒温培养箱中

培养。

### 1.3 项目测定

种子露白即视为萌发,每天 17:00 观察每个培养皿中的发芽数,第 15 天测量幼苗胚根长、子叶长。根据公式计算种子萌发率、发芽势、发芽指数、活力指数以及相对盐害率。

$$\text{萌发率}(GP)(\%) = \frac{\text{萌发种子数量}}{\text{供试种子总数}} \times 100 \quad (1),$$

$$\text{发芽势}(GE)(\%) = \frac{\text{前5日内发芽数}}{\text{种子总数} \times 100} \quad (2),$$

$$\text{发芽指数}(GI) = \sum G_t / D_t \quad (3),$$

式中:  $G_t$  为第  $t$  天的发芽数;  $D_t$  为相应的天数。

$$\text{萌发活力指数}(VI) = GI \times S \quad (4),$$

式中:  $S$  为胚根长度(mm)。

$$\text{相对盐害率}(\%) = \frac{\text{对照发芽率} - \text{处理发芽率}}{\text{对照发芽率}} \times 100 \quad (5).$$

用游标卡尺测量大叶补血草种子幼苗的根长和子叶长度,精确到 0.01 mm。

#### 1.4 数据分析

采用 SPSS 20.0 软件进行差异显著性分析 ( $P < 0.05$ ), 利用 Excel 2010 软件进行数据统计和作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同盐碱胁迫对大叶补血草种子萌发进程的影响

#### 2.1.1 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 对大叶补血草种子萌发进程的影响

由图 1 可知,不同浓度  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  溶液对大叶补血草种子萌发的影响各有差异。萌发率随盐浓度升高而降低,盐浓度为  $400 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,大叶补血草种子不萌发。对照(CK)处理后的种子在第 1 天开始萌发,至第 2 天萌发速率最快,第 4 天达到萌发高峰并趋于稳定。 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  浓度为  $50 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,种子于第 1 天开始萌发,第 1~3 天内萌发速率快,第 5 天达到短暂的平衡后在第 9 天出现新的萌发现象,之后趋于稳定。 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  浓度为  $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  盐溶液处理下,第 2 天才开始萌发,第 2~4 天萌发速率较快,于第 8 天达到萌发高峰。 $200 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  胁迫浓度时,种子第 2 天开始萌发,且萌发率增长缓慢,第 7 天后趋于稳定。 $300 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  处理的种子在第 6 天开始萌发,第 7 天后就保持稳定,且萌发速率极慢。

#### 2.1.2 $\text{NaHCO}_3$ 对大叶补血草种子萌发进程的影响

由图 2 可知,不同浓度  $\text{NaHCO}_3$  溶液对大叶补血草种子萌发的影响不同。不同浓度溶液处理

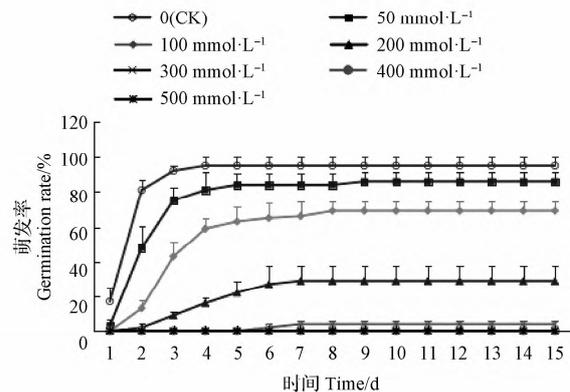


图 1  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫对大叶补血草种子萌发进程的影响

Fig. 1 Effects of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  stress on seed germination process of *Limonium gmelinii* (Willd.) Kuntze

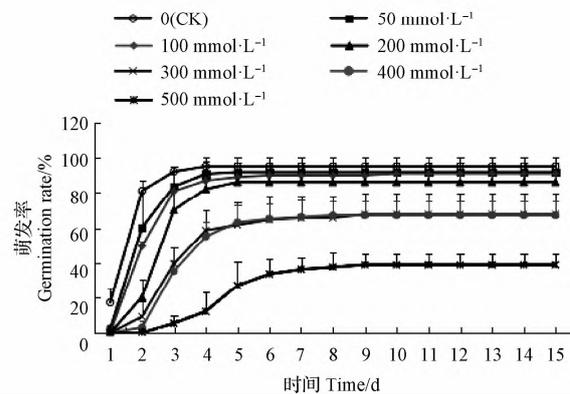


图 2  $\text{NaHCO}_3$  胁迫对大叶补血草种子萌发进程的影响

Fig. 2 Effects of  $\text{NaHCO}_3$  stress on seed germination process of *Limonium gmelinii* (Willd.) Kuntze

下,萌发率随时间延长呈上升趋势,最后趋于稳定,且萌发率随盐浓度升高而降低。CK 处理后的种子在第 1 天开始萌发,至第 2 天萌发速率最快,第 4 天达到萌发高峰并停止萌发。胁迫浓度为  $50 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,种子于第 1 天开始萌发,前 3 d 的萌发速率较快,第 5 天为萌发率最高点,之后停止萌发。 $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  盐溶液处理下,种子第 2 天萌发,至第 3 天萌发速率最快,第 6 天开始萌发率保持稳定。 $200 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  处理从第 2 天开始萌发,第 5 天达到种子萌发极限,第 2~3 天,萌发速率最快。 $300 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $400 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的溶液处理种子后,第 2~4 天萌发速率较快, $300 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  溶液胁迫 9 d 后停止萌发, $400 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  溶液胁迫 8 d 后停止萌发。

NaHCO<sub>3</sub> 溶液浓度为 500 mmol · L<sup>-1</sup>时,种子第 3 天才开始萌发,萌发率增长缓慢,于第 9 天达到萌发高峰。

2.1.3 混合盐胁迫对大叶补血草种子萌发进程的影响

由图 3 可知,不同浓度混合盐溶液对大叶补血草种子萌发的影响有所差异。不同浓度溶液处理种子,萌发率随时间延长呈上升趋势,最后趋于稳定。萌发时间至 15 d 时,萌发率随盐浓度升高而降低,至种子完全不萌发。对照处理种子后,第 1 天开始萌发,到第 2 天时萌发速率最快,第 4 天后到达萌发极限。50 mmol · L<sup>-1</sup> 处理组从第 1 天开始萌发,前 3 d 萌发速率较快,第 5 天达到短暂平衡后,第 8 天出现新的萌发现象,之后维持稳定。100 mmol · L<sup>-1</sup> 和 200 mmol · L<sup>-1</sup> 溶液处理的种子均于第 2 天开始萌发,第 2~3 天萌发速率最快,第 8 天为萌发高峰。胁迫浓度为 300 mmol · L<sup>-1</sup> 时,种子第 2 天开始萌发,第 3~4 天萌发速率快,第 7 天后停止萌发。400 mmol · L<sup>-1</sup> 处理组从第 4 天才开始萌发,第 10 天到达萌发极限,期间萌发速率增长缓慢。

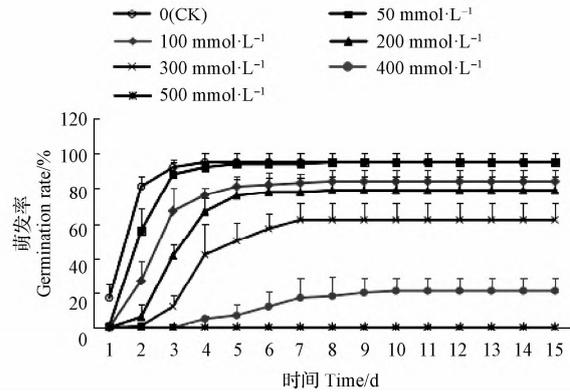


图 3 混合盐胁迫对大叶补血草种子萌发进程的影响  
Fig. 3 Effects of mixed salt stress on seed germination process of *Limonium gmelinii* (Willd.) Kuntze

500 mmol · L<sup>-1</sup> 溶液处理的种子则全程不萌发。

2.2 不同盐碱胁迫对大叶补血草种子萌发指标的影响

从表 2 可以看出,在 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、NaHCO<sub>3</sub> 和混合盐胁迫下,大叶补血草种子发芽势、发芽指数及

表 2 不同盐碱胁迫对大叶补血草种子萌发的影响

Table 2 Effects of different saline-alkali stress on seed germination of *Limonium gmelinii* (Willd.) Kuntze

处理 Treatment	盐浓度 Salt concentration /(mmol · L <sup>-1</sup> )	发芽势 Germination potential/%	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index	相对盐害率 Relative salt damage rate/%
CK	0	95.00±5.03a	13.35±0.79a	284.18±16.91a	0f
	50	84.00±6.53b	9.21±1.42b	66.37±10.23b	9.47±5.44e
	100	63.00±8.25c	5.54±0.72c	12.02±1.57c	27.37±5.30d
	200	22.00±6.93d	1.85±0.54d	3.05±0.89d	69.47±9.34c
	300	0e	0.21±0.09e	0.24±0.10e	94.32±2.37b
	400	0e	0f	0f	100.00a
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	500	0e	0f	0f	100.00a
	0	95.00±5.03a	13.35±0.79a	284.18±16.91a	0d
	50	91.70±5.78ab	9.90±1.27b	45.46±5.83b	3.47±6.09c
	100	88.88±2.10ab	9.25±0.41b	19.79±0.89c	4.34±2.37c
	200	86.00±5.16b	7.62±0.90c	12.34±1.45d	9.47±5.44c
	300	61.50±12.58c	5.18±1.18d	8.29±1.90e	28.86±12.82b
NaHCO <sub>3</sub>	400	63.00±10.00c	4.84±0.75d	6.83±1.05e	29.47±8.68b
	500	26.67±14.05d	2.05±0.62e	1.78±0.54f	59.30±6.43a
	0	95.00±5.03a	13.35±0.79a	284.18±16.91a	0e
	50	94.00±2.31a	10.17±0.78b	41.61±3.18b	0e
	100	81.00±6.00b	7.63±1.05c	22.96±3.15c	11.58±6.88d
	200	75.75±9.81b	5.79±0.44d	6.72±0.51d	17.19±8.46d
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : NaHCO <sub>3</sub> = 1 : 1	300	50.00±10.58c	3.79±0.73e	4.01±0.77e	34.74±10.02c
	400	7.00±6.00d	0.91±0.42f	0.95±0.44f	77.89±7.97b
	500	0d	0g	0g	100.00a

注:不同小写字母表示同一类型盐胁迫下不同浓度处理在 P<0.05 水平差异显著。

Note: Different lowercase letters indicate that there was significant difference in P<0.05 between different concentrations under the same type of salt stress.

活力指数均低于CK,且随着盐浓度的增加呈显著降低的趋势。 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 胁迫下,发芽势随浓度增加呈显著降低( $P<0.05$ ),当浓度 $\geq 300\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,发芽势为0%。 $\text{NaHCO}_3$ 溶液浓度 $\leq 100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,发芽势降低,但与CK相比差异不显著。当混合盐胁迫浓度 $>50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,发芽势与CK相比显著降低( $P<0.05$ )。500 $\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 混合盐溶液处理种子,其发芽势为0%。发芽指数和活力指数随3种盐胁迫浓度的升高而显著降低。当盐溶液为 $100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 及混合盐胁迫的发芽指数分别相比于CK下降了58.50%、30.71%、42.85%。在 $200\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度条件下, $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 及混合盐胁迫的活力指数分别相比于CK下降了98.93%、95.66%、97.64%。当 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 浓度为 $400\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $500\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、混合盐浓度为 $500\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,发芽指数和活力指数为0。

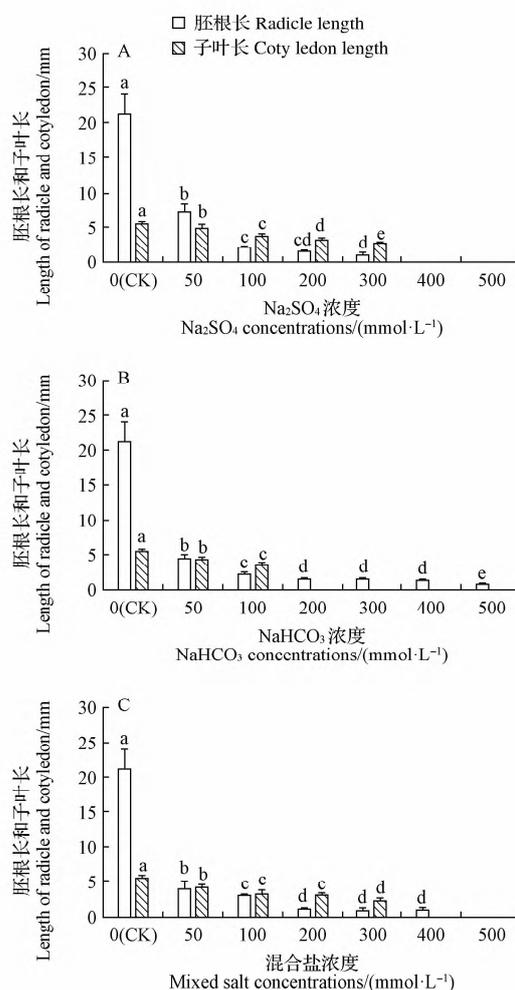
### 2.3 不同盐碱胁迫对大叶补血草种子相对盐害率的影响

从表2可以看出,在 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 和混合盐胁迫下,大叶补血草种子相对盐害率随浓度的增加而呈上升趋势。溶液浓度为 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 和混合盐的相对盐害率为9.47%、3.47%、0%。溶液浓度为 $100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 和混合盐的相对盐害率为27.37%、4.34%、11.58%。当 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 溶液浓度 $\geq 400\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、混合盐溶液为 $500\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,相对盐害率达到100%。同浓度下, $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 溶液处理的种子相对盐害率高于 $\text{NaHCO}_3$ 溶液胁迫的种子盐害率。在高浓度盐胁迫下,3种盐处理种子后的相对盐害率表现为 $\text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{混合盐} > \text{NaHCO}_3$ 。

### 2.4 不同盐碱胁迫对大叶补血草幼苗胚根长和子叶长的影响

由图4可知,不同盐碱胁迫对大叶补血草幼苗胚根长和子叶长的影响各有差异。 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 胁迫下,幼苗胚根长和子叶长随盐浓度的升高而显著降低( $P<0.05$ ),其对胚根抑制作用大于对子叶的抑制作用,浓度 $\geq 400\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 则完全抑制其生长。当 $\text{NaHCO}_3$ 浓度 $\geq 200\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,种子只露出胚根无子叶。混合盐溶液处理下,

幼苗胚根长和子叶长与CK相比均降低,对胚根的抑制大于对子叶的抑制,500 $\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度下完全抑制种子胚根和子叶的生长。当处理浓度为 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 和混合盐胁迫后的胚根长相比于CK降低了66.12%、78.43%、80.78%,子叶长相比于CK降低了10.67%、22.06%、22.24%。



注:不同小写字母表示不同浓度处理在 $P<0.05$ 水平差异显著。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences at  $P<0.05$  level among different concentrations.

图4 不同盐碱胁迫对大叶补血草幼苗胚根长和子叶长的影响

Fig. 4 Effects of different saline-alkali stresses on radicle length and cotyledon length of the seedlings of *Limonium gmelinii* (Willd.) Kuntze

### 3 讨论与结论

种子萌发是植物整个生长周期的起始阶段,也是最初对外界环境因子作出响应的阶段。种子的萌发率、发芽势、发芽指数及活力指数等指标是评价植物种子发芽的常用指标,也是评价植物耐盐性的重要依据<sup>[30]</sup>。该试验结果表明,在 3 种不同的盐碱胁迫下,大叶补血草种子萌发率随盐浓度的升高而降低,直至种子不萌发。相比于 CK,种子在高浓度盐溶液处理下,其萌发速率减缓,到达萌发高峰的时间延长,说明  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$  及其混合盐抑制大叶补血草种子萌发。已有大量的研究结果与该试验结果类似<sup>[12,31]</sup>。该研究用 3 种不同的盐碱胁迫处理大叶补血草种子,其发芽势、发芽指数和活力指数均显著低于 CK ( $P < 0.05$ ),且随着浓度增高呈下降趋势。值得注意的是,在  $50 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  浓度下, $\text{NaHCO}_3$  和混合盐处理的种子其萌发率和发芽势与 CK 相比并不显著,而  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫的种子其萌发率和发芽势则显著低于 CK。说明大叶补血草对  $\text{NaHCO}_3$  和混合盐的抗性要强于  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 。进一步分析,从相对盐害率来看,3 种不同的盐碱溶液处理大叶补血草种子后的相对盐害率表现为  $\text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{混合盐} > \text{NaHCO}_3$ 。可能是因为大量的  $\text{Na}^+$  进入种子,打破种子内部离子平衡,活性氧增多,细胞膜被破坏,造成离子毒害,进而对种子萌发产生较大的抑制作用。帕提曼·阿布都热合曼等<sup>[32]</sup>的研究表明,实蕁葱种子对 3 种单盐的耐受能力为  $\text{NaCl} > \text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{Na}_2\text{SO}_4$ ,这与该研究结果类似。该研究还发现,3 种不同的盐碱胁迫均对大叶补血草幼苗的生长有显著的抑制作用, $\text{Na}_2\text{SO}_4$  和混合盐对胚根的抑制大于对子叶的抑制。这与陈奕霖等<sup>[33]</sup>对白羊草和徐曼<sup>[34]</sup>对长穗偃麦草的研究结果一致。然而, $\text{NaHCO}_3$  对大叶补血草幼苗生长抑制的情况有所不同,当浓度  $\geq 200 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,其对子叶的抑制大于对胚根的抑制。张娜等<sup>[35]</sup>用  $200 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$  处理藜麦种子后对胚芽的影响较大,与该研究结果相符。

综上所述, $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$  及其混合盐对大叶补血草种子萌发的影响各有差异。总体来说,盐溶液浓度升高则对大叶补血草种子萌发的

抑制作用增强,甚至不萌发。3 种不同的盐碱胁迫均显著抑制大叶补血草的生长。大叶补血草种子具有一定的耐盐性,其对  $\text{NaHCO}_3$  的耐受性最强,其次是混合盐,对  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  的耐受性最弱。

### 参考文献

- [1] 宫江平,荆卫民,刘国军,等.温度对大叶补血草种子萌发特性的影响[J].北方园艺,2020(2):119-124.
- [2] 何春霞.大叶补血草资源综合开发利用[J].中国野生植物资源,2014,33(6):52-54,61.
- [3] 刘克彪.优良盐生牧草:大叶补血草的引种[J].草业科学,1993,10(2):31-33.
- [4] 伊晓燕,杨惠.大叶补血草生物学特性研究[J].农业科技与信息(现代园林),2011(9):41-43.
- [5] 罗广元,唐志红.甘肃省补血草属植物的分布与利用[J].特种经济动植物,2001(9):30.
- [6] 邓旺华,王雁.补血草属植物在城市绿化中的应用[J].中国城市林业,2006(2):58-60.
- [7] 王仁.哈萨克药志[M].乌鲁木齐:新疆科学技术出版社,2008.
- [8] TUOHONGERBIEKE A, LI J, SABIR G, et al. Lignanamides from the roots of *Limonium gmelinii* (Willd.) Kuntze and their anti-diabetic, cytotoxic and anti-inflammatory activities[J]. Phytochemistry, 2021, 184: 112648.
- [9] TUOHONGERBIEKE A, KAIYRKULOVA A, GUAN Y Q, et al. Chemical constituents of *Limonium gmelinii* roots[J]. Chemistry of Natural Compounds, 2019, 55(4): 734-735.
- [10] 张鹏辉,侯宪东,王健.新疆地区盐碱地成因及治理措施[J].现代农业科技,2017(24):178-180.
- [11] 皮婧婧,肖兰,袁谅,等.工业腐植酸改良红山湖盐碱地土壤研究[J].现代农业科技,2021(1):193-194,198.
- [12] 吉小敏,彭钊植,雷春英,等.不同类型盐分对盐穗木种子萌发及幼苗生长的影响[J].西北林学院学报,2022,37(3):114-119.
- [13] 雷春英,吉小敏,彭钊植,等.不同类型盐分对盐爪爪种子萌发和幼苗生长的影响[J].干旱区研究,2021,38(5):1436-1441.
- [14] 范惠玲,白生文,姚正良,等.芸芥对 4 种不同钠盐胁迫耐受性的比较[J].福建农业学报,2022,37(2):213-223.
- [15] 吉小敏,雷春英,刘畅,等.四种钠盐对盐桦种子萌发特性的影响[J].中国野生植物资源,2022,41(4):22-26.
- [16] 师东,张爱勤.盐碱胁迫对两种补血草种子萌发的影响[J].草业科学,2011,28(8):1445-1450.
- [17] 梁泰,李得禄,魏林源.4 种补血草属植物种子萌发期抗旱性研究[J].中国农学通报,2011,27(22):130-135.
- [18] 刘萍,周玲玲,王军.盐分和水势胁迫对补血草种子萌发的影响[J].干旱地区农业研究,2008(4):167-171.
- [19] 张赛娜,马旭君,李科文,等.补血草愈伤组织中渗透调节物对  $\text{NaCl}$  胁迫的响应[J].西北植物学报,2008(7):1343-1348.
- [20] 张超强,杨颖丽,王莱,等.2 种补血草属植物幼苗对  $\text{NaCl}$

- 胁迫的生理响应[J]. 西北植物学报, 2007(11):2245-2250.
- [21] 陈梅, 葛鹏, 何春霞. 大叶补血草根茎总黄酮的提取和抗氧化活性研究[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(19):190-192.
- [22] 池晓会. 大叶补血草活性成分的研究[D]. 大连: 大连海洋大学, 2015.
- [23] 何春霞, 姚新成, 曹文尧. 响应面法优化提取大叶补血草根茎中总黄酮工艺条件[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(12):57-61.
- [24] 周玲玲, 祝建波, 王爱英. 过量表达大叶补血草 *LgSOS1* 基因对拟南芥耐盐性的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2011, 29(6):731-736.
- [25] 李昌龙, 李爱德, 尉秋实, 等. 补血草属野生花卉的家化栽培[J]. 中国野生植物资源, 2003(1):52-54.
- [26] 范小峰, 杨颖丽, 刘灵霞. 大叶补血草的组织培养与快速繁殖[J]. 植物生理学通讯, 2008(3):509.
- [27] KOZHSMKULOVA Z A, RADWAN M M, ZHUSUPOVA G E, et al. Gmelinoside I, a new flavonol glycoside from *Limonium gmelinii*[J]. Natural Product Communications, 2010, 5(7):1061-1062.
- [28] LENG B Y, YUAN F, DONG X X, et al. Distribution pat-tern and salt excretion rate of salt glands in two recretohalophyte species of *Limonium* (Plumbaginaceae)[J]. South African Journal of Botany, 2018, 115:74-80.
- [29] GADETSKAYA A V, MOHAMED S M, TARAWNEH A H, et al. Phytochemical characterization and biological activity of secondary metabolites from three *Limonium* species[J]. Medicinal Chemistry Research, 2017, 26(11):2743-2750.
- [30] 郭睿, 郭晨荔, 唐榕, 等. 盐碱胁迫对油莎豆种子萌发的影响[J]. 新疆农垦科技, 2021, 44(6):54-57.
- [31] 吴承东, 沈明晨, 陈镭, 等. 盐胁迫对白首乌种子萌发特性的影响[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(6):1262-1265.
- [32] 帕提曼·阿布都热合曼, 林辰壹, 闫晓雪. 盐胁迫条件下实蕻葱种子的萌发能力[J]. 中国农学通报, 2014, 30(28):93-98.
- [33] 陈奕霖, 赵萍, 王勃, 等. 不同盐碱胁迫对白羊草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 畜牧与饲料科学, 2022, 43(3):96-101, 121.
- [34] 徐曼. 盐碱胁迫对长穗偃麦草种子萌发、生长及生理特性的影响[D]. 长春: 东北师范大学, 2020.
- [35] 张娜, 罗于洋, 马迎梅, 等. 盐胁迫对藜麦种子萌发的影响研究[J]. 广西植物, 2022, 42(6):1029-1039.

## Effects of Different Saline-alkali Stresses on Seed Germination and Seedling Growth of *Limonium gmelinii* (Willd.) Kuntze

DAI Ting, MEI Xindi

(College of Life Science and Technology, Xinjiang University/Xinjiang Key Laboratory of Biological and Genetic Engineering, Urumqi, Xinjiang 830046)

**Abstract:** The seeds of *Limonium gmelinii* (Willd.) Kuntze were treated with different concentrations of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaHCO}_3$  and mixed salts ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 : \text{NaHCO}_3 = 1 : 1$ ). The effects of different saline-alkali stresses on seed germination and seedling growth of *L. gmelinii* were studied to understand the salt tolerance of *L. gmelinii* and provide reference basis for improving saline-alkali soil and planting *L. gmelinii*. The results showed that the germination rate, germination potential, germination index and vigor index decreased with the increase of salt solution concentration. When  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  concentration was  $\geq 400 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  and mixed salt concentration was  $500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ , the seed germination rate was 0%. Three kinds of stress significantly inhibited the growth of seedlings, and different salt and alkali stress had different effects on radicle and cotyledon. Under high salt stress, the relative salt damage rate of seeds treated with three kinds of salt was  $\text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{mixed salt} > \text{NaHCO}_3$ . This indicated that the seeds of *L. gmelinii* had the strongest tolerance to  $\text{NaHCO}_3$ , followed by mixed salts, and the weakest tolerance to  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

**Keywords:** *Limonium gmelinii* (Willd.) Kuntze; seed germination; seedling growth; saline-alkali stress