

## 6 种钠盐胁迫对碱蓬种子萌发的影响

杨傲, 李佳怡, 陈思琪, 李志远, 麻莹\* (吉林大学植物科学学院, 吉林长春 130062)

**摘要** 为探究不同钠盐胁迫对碱蓬(*Suaeda glauca*)种子萌发的影响,采用单盐( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaCl}$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )、混合中性盐( $\text{NaCl}:\text{Na}_2\text{SO}_4=1:1$ )及混合碱性盐( $\text{NaHCO}_3:\text{Na}_2\text{CO}_3=1:1$ )6种钠盐处理液对碱蓬种子进行胁迫处理。结果表明,碱蓬种子最终发芽率、发芽势、发芽指数均随着钠盐浓度的升高而下降,而其相对盐害率随之升高。碱性钠盐对种子萌发抑制作用远大于中性钠盐。高 pH 对种子萌发的抑制大于  $\text{Na}^+$  离子毒害。根据回归分析确定种子萌发对 6 种钠盐的耐盐阈值, $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaCl}$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  的耐盐阈值分别为 156、125、79、39 mmol/L,而混合中性盐、混合碱性盐胁迫的耐盐阈值分别是 147、38 mmol/L。碱蓬种子萌发对 6 种钠盐胁迫耐受性排序为  $\text{Na}_2\text{SO}_4+\text{NaCl}>\text{Na}_2\text{SO}_4>\text{NaCl}>\text{NaHCO}_3>\text{NaHCO}_3+\text{Na}_2\text{CO}_3>\text{Na}_2\text{CO}_3$ 。

**关键词** 种子萌发;碱蓬;钠盐胁迫;单盐;混合盐

**中图分类号** Q 945.78 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2022)21-0006-03

**doi**:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.21.002



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Effects of 6 Kinds of Sodium and Salt Stress on the Germination of *Suaeda glauca* Seeds

YANG Ao, LI Jia-yi, CHEN Si-qi et al (College of Plant Science, Jilin University, Changchun, Jilin 130062)

**Abstract** In order to explore the effect of different sodium and salt stresses on the germination of *Suaeda glauca* seeds, *S. glauca* seeds were treated with six kinds of sodium salinity including single salts ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), mixed neutral salt ( $\text{NaCl}:\text{Na}_2\text{SO}_4=1:1$ ) and mixed alkaline salt ( $\text{NaHCO}_3:\text{Na}_2\text{CO}_3=1:1$ ). The results showed that the final germination rate, germination energy and germination index of the seed decreased with the increase of sodium salinity concentration, while the relative salt damage rate increased with the increase of sodium salinity concentration. The inhibitory effect of alkaline salt on seed germination was much greater than that of neutral salt. The inhibition of high pH on seed germination was greater than  $\text{Na}^+$  ion toxicity. By regression analysis, the salt-tolerant thresholds of different kinds of sodium salinity in germination stage of *S. glauca* seeds were determined, the salt-tolerant thresholds of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  were 156, 125, 79, 39 mmol/L, respectively. The salt-tolerant thresholds of mixed neutral salt and mixed alkaline salt were 147, 38 mmol/L, respectively. The degrees of tolerance of different kinds of sodium salinity stress on seed germination were in the order of  $\text{Na}_2\text{SO}_4>\text{Na}_2\text{SO}_4+\text{NaCl}>\text{NaCl}>\text{NaHCO}_3>\text{NaHCO}_3+\text{Na}_2\text{CO}_3>\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

**Key words** Seed germination; *Suaeda glauca*; Sodium and salt stress; Single salt; Mixed salt

土壤盐碱化已成为限制农业发展的重要环境问题,且日趋严重<sup>[1]</sup>。碱蓬(*Suaeda glauca* Bge.)为藜科植物,是一种高度抗碱的盐生植物。同时碱蓬具有丰富的营养价值和药用成分<sup>[2]</sup>,其种子可榨油食用<sup>[3]</sup>,是一种优质的蔬菜和油料作物。种植碱蓬可有效地降低土壤含盐量,改善土壤理化性状,增加土壤养分含量<sup>[4-5]</sup>,因此碱蓬成为我国东北地区治理碱化土壤的首选植物之一。种子萌发是植物生长过程中最脆弱的阶段,极易受到盐碱等外界环境胁迫的影响<sup>[6]</sup>。因此,探索碱蓬种子萌发这一敏感阶段对盐碱胁迫的响应过程极其重要。目前关于碱蓬种子萌发已有一些报道<sup>[7-8]</sup>,但是以单盐及混合盐、碱对碱蓬种子萌发的影响研究鲜见报道。为探究不同钠盐对碱蓬种子萌发特性的影响及其对不同钠盐的耐受性,该试验以碱蓬(*S. glauca*)为材料,依据盐渍土壤中常见钠盐成分,研究 4 种单盐( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaCl}$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )以及混合中性盐( $\text{NaCl}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )、混合碱性盐( $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )在不同浓度下对碱蓬种子萌发的影响,以探究碱蓬种子萌发对不同钠盐胁迫的响应差异,为盐渍土壤的盐生植物种群恢复以及开发利用盐生植物资源奠定重要的理论基础。

### 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 从吉林省西部碱化草原(44°45'N、123°45'E)采集天然碱蓬种子,挑选籽粒饱满、大小均一的碱蓬种子。用 0.05%  $\text{KMnO}_4$  溶液消毒 5 min,用蒸馏水冲洗 5 次备用<sup>[6]</sup>。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 钠盐胁迫设计。**处理液采用盐渍土壤中单盐( $\text{NaCl}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )、混合中性盐( $\text{NaCl}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  摩尔比为 1:1)、混合碱性盐( $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  摩尔比为 1:1)6 种钠盐,每种处理液设置 5 个浓度梯度(0、50、100、150、200 mmol/L)。以上处理液均用蒸馏水配制。以蒸馏水为对照组(CK),每个处理浓度设有 3 个生物学重复。4 种单盐处理液平均 pH 分别为  $\text{NaCl}$  7.25、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  7.23、 $\text{NaHCO}_3$  8.66、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  11.21。混合中性盐( $\text{NaCl}+\text{Na}_2\text{SO}_4$ )和混合碱性盐( $\text{NaHCO}_3+\text{Na}_2\text{CO}_3$ )处理液平均 pH 分别为 6.70、11.10。

**1.2.2 种子萌发试验。**选择形态一致、大小均一的碱蓬种子,均匀放置在铺有双层滤纸的培养皿中(直径 9 cm),每个培养皿 50 粒种子,分别加入相应浓度的 6 种钠盐处理液 5 mL,每天称重补充蒸发水分流失,确保盐浓度恒定。

在 25 °C 恒温培养箱中进行萌发试验,光照周期为 12 h/d,光照强度为 3 000 lx。每隔 24 h 观察发芽种子个数,并做好记录,及时补充水分,观察萌发总天数为 9 d。当连续 3 d 不再有种子发芽,视为种子萌发期结束。因此,统计前

**基金项目** 国家“十三五”重点项目(2017YFC0803803);吉林省教育厅“十三五”科学技术项目(JJKH20201021KJ);吉林大学大学生创新创业训练计划项目(X202210183648)。

**作者简介** 杨傲(1999—),男,辽宁鞍山人,硕士研究生,研究方向:植物胁迫生理与生态。\*通信作者,副教授,博士,硕士生导师,从事植物形态解剖及逆境生理研究。

**收稿日期** 2022-05-24

6 d 的种子发芽率,种子萌发数达到高峰时(第 3 天)统计发芽势。

**1.2.3 萌发指标计算。**从种子放入培养箱开始计算萌发时间,于每日同一时刻记录种子发芽情况,以胚根有明显的“露白”视为发芽。统计各组发芽情况,计算最终发芽率 (final germination rate, FGR)<sup>[6]</sup>、发芽指数 (germination index, GI)<sup>[6]</sup>、发芽势 (germination energy, GE)<sup>[6]</sup>、相对盐害率 (relative salt damage rate, RSDR)<sup>[9]</sup>、相对发芽率 (relative germination rate, RGR)<sup>[6]</sup> 等,并确定耐盐碱阈值<sup>[9]</sup>。

$$FGR = n_6 / N \times 100\% \quad (1)$$

$$GI = \sum (G_t / D_t) \quad (2)$$

$$GE = n_3 / N \times 100\% \quad (3)$$

$$RSDR = (GR_0 - \text{处理发芽率}) / \text{对照发芽率} \times 100\% \quad (4)$$

$$RGR = \text{处理组发芽率} / GR_0 \times 100\% \quad (5)$$

式中, $n_6$  为第 6 天发芽数; $N$  为供试种子数; $G_t$  为第  $t$  天的发芽数; $D_t$  为相应的发芽试验天数; $n_3$  为第 3 天发芽数(第 3 天为种子萌发高峰期); $N$  为供试种子数; $GR_0$  为对照发芽率。

耐盐碱阈值确定<sup>[9]</sup>:将处理 6 d 的相对发芽率作为因变量( $y$ ),处理组不同盐浓度梯度作为自变量( $x$ ),建立回归方程。以相对发芽率下降 50% 时所对应的处理组盐浓度作为碱蓬种子的耐盐碱阈值。

**1.3 数据处理** 采用 Excel 2020 进行数据整理和表格绘制,采用 SPSS 20.0 软件对数据进行差异显著性分析 ( $P < 0.05$ );多重比较采用 LSD 法,数据用平均值±标准误表示。

## 2 结果与分析

**2.1 盐、碱胁迫对碱蓬种子相关萌发指标的影响** 从表 1~2 可以看出,随着钠盐浓度的升高,发芽率、发芽势、发芽指数

均呈现下降趋势,碱性钠盐胁迫比中性钠盐胁迫下降幅度更大。发芽率是对种子萌发抗盐性检验的主要指标之一,发芽指数是种子萌发的快慢与出苗情况的表现<sup>[10]</sup>。

在中性盐胁迫下,盐浓度较低(50 mmol/L)时,种子发芽率由高到低依次是  $\text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{NaCl} > \text{NaCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4$ ,当盐浓度大于 100 mmol/L,经  $\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4$  混合盐胁迫处理的种子发芽率、发芽指数大于  $\text{NaCl}$  胁迫。盐浓度大于 100 mmol/L 时,中性盐混合 ( $\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4$ ) 可以缓解  $\text{NaCl}$  对种子萌发的抑制。从整体上看,经  $\text{NaCl}$  处理的种子发芽率低于经  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  处理。可见  $\text{NaCl}$  对种子萌发的抑制大于  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  处理。值得注意的是,经 200 mmol/L  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  处理碱蓬的发芽率和发芽指数降为 0,这可能由于高浓度的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  大量结晶,造成种子吸水困难,种子无法萌发。

在碱性盐胁迫下,50 mmol/L 盐浓度时碱蓬种子的发芽率和发芽指数由高到低依次是  $\text{NaHCO}_3 > \text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$ 。当盐浓度大于 100 mmol/L,种子发芽率和发芽指数从高到低为  $\text{NaHCO}_3 > \text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{Na}_2\text{CO}_3$ 。100 mmol/L  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  的发芽率和发芽指数接近 0。盐浓度大于 100 mmol/L 时, $\text{Na}_2\text{CO}_3$  对于碱蓬种子抑制作用最大,而  $\text{NaHCO}_3$  抑制最小,二者混合碱胁迫介于中间。这主要与碱性盐的 pH 有关。

发芽势是鉴别种子发芽整齐度的主要指标<sup>[10]</sup>。发芽势越高,种子发芽越整齐。在中性盐胁迫中,经  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  处理的种子发芽势最低,经  $\text{NaCl}$  处理的发芽势最高,二者混合盐介于中间。当盐浓度 < 200 mmol/L 时虽然  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  对种子萌发的抑制作用小于  $\text{NaCl}$ ,但  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  更影响种子发芽的整齐度。这可能与  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  易结晶,其影响种子吸水有关,其具体原因有待进一步研究。

表 1 中性钠盐胁迫对碱蓬种子萌发的影响

Table 1 Effects of neutral sodium salt on seed germination of *S. glauca*

处理组 Treatment group	pH	盐浓度 Salinity mmol/L	最终发芽率 FGR/%	发芽指数 GI	发芽势 GE/%	相对盐害率 RSDR/%
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	7.23	0	0.93±0.02 a	7.72±0.15 a	0.77±0.02 a	0.00±0.00 e
		50	0.87±0.01 a	6.24±0.05 b	0.51±0.01 b	10.08±1.91 d
		100	0.59±0.04 b	4.24±0.25 c	0.05±0.01 c	35.25±3.30 c
		150	0.55±0.04 b	3.95±0.29 c	0.03±0.01 cd	60.43±0.72 b
		200	0.00±0.00 c	0.00±0.00 d	0.00±0.00 d	86.33±0.72 a
$\text{NaCl}$	7.25	0	0.93±0.02 a	7.72±0.15 a	0.77±0.02 a	0.00±0.00 d
		50	0.83±0.02 b	6.94±0.15 b	0.53±0.02 b	5.76±0.72 c
		100	0.60±0.03 c	5.00±0.25 c	0.29±0.01 c	35.97±3.81 b
		150	0.37±0.01 d	3.06±0.06 d	0.16±0.01 d	40.29±4.38 b
		200	0.13±0.01 e	1.06±0.06 e	0.02±0.00 e	100.00±0.00 a
$\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4$	6.70	0	0.93±0.02 a	7.72±0.15 a	0.77±0.02 a	0.00±0.00 d
		50	0.68±0.00 b	5.67±0.00 b	0.56±0.00 b	26.62±0.00 c
		100	0.59±0.02 c	4.89±0.15 c	0.23±0.01 c	36.69±1.90 b
		150	0.43±0.05 d	3.61±0.39 d	0.13±0.03 d	53.24±5.04 a
		200	0.36±0.02 d	3.00±0.17 d	0.05±0.03 e	61.15±2.16 a

注:同列不同小写字母表示同一处理组不同盐浓度间差异显著 ( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant differences among different salt concentrations in the same treatment group ( $P < 0.05$ )

相对盐害率反映盐碱胁迫对种子的伤害程度<sup>[9]</sup>。从表 1~2 可以看出,随着盐浓度的增加,6 种类型钠盐处理的

种子相对盐害率均随着盐浓度的增加而升高,各种钠盐的相对盐害率从高到低是  $\text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{NaHCO}_3 >$

$\text{NaCl} > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{NaCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4$ 。无论单盐还是混合盐,碱性盐的盐害程度大于中性盐。碱性盐胁迫的 pH 为 8.66~11.21,

中性盐胁迫的 pH 为 6.70~7.25,可见,碱性盐的高 pH 对种子的盐害程度更大,破坏性更强。

表 2 碱性钠盐胁迫对碱蓬种子萌发的影响

Table 2 Effects of alkaline sodium salt stress on the seed germination of *S. glauca*

处理组 Treatment group	pH	盐浓度 Salinity mmol/L	最终发芽率 FGR//%	发芽指数 GI	发芽势 GE//%	相对盐害率 RSDR//%
NaHCO <sub>3</sub>	8.66	0	0.93±0.02 a	7.72±0.15 a	0.77±0.03 a	0.00±0.00 d
		50	0.54±0.01 b	4.50±0.10 b	0.39±0.04 b	41.73±1.25 c
		100	0.50±0.02 b	4.17±0.17 b	0.24±0.05 c	46.05±2.16 c
		150	0.30±0.02 c	2.50±0.10 c	0.25±0.01 c	67.63±1.25 b
		200	0.06±0.01 d	0.50±0.10 d	0.04±0.00 d	93.53±1.25 a
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	11.21	0	0.93±0.02 a	7.72±0.15 a	0.77±0.03 a	0.00±0.00 c
		50	0.35±0.02 b	2.94±0.15 b	0.11±0.07 b	61.88±1.90 b
		100	0.02±0.01 c	0.17±0.10 c	0.00±0.00 b	97.84±1.25 a
		150	0.00±0.00 c	0.00±0.00 c	0.00±0.00 b	100.00±0.00 a
		200	0.00±0.00 c	0.00±0.00 c	0.00±0.00 b	100.00±0.00 a
NaHCO <sub>3</sub> +Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	11.10	0	0.93±0.02 a	7.72±0.15 a	0.77±0.03 a	0.00±0.00 e
		50	0.23±0.02 b	1.89±0.15 b	0.13±0.04 b	75.54±1.90 d
		100	0.12±0.00 c	1.00±0.00 c	0.10±0.00 b	87.05±0.00 c
		150	0.06±0.00 d	0.50±0.00 d	0.02±0.00 c	93.53±0.00 b
		200	0.01±0.01 e	0.06±0.06 e	0.01±0.01 c	99.28±0.72 a

注:同列不同小写字母表示同一处理组不同盐浓度间差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant differences among different salt concentrations in the same treatment group ( $P < 0.05$ )

**2.2 碱蓬种子耐盐碱性评价** 为便于研究碱蓬种子萌发时的耐盐、碱程度,分别测得碱蓬种子在不同处理下的相对发芽率,然后将相对发芽率( $y$ )与相应的盐处理浓度( $x$ )建立回归方程。由表 3 可知,碱蓬种子相对发芽率与处理盐浓度均

表现出极显著相关( $P < 0.01, R^2 > 0.9$ )。各种钠盐的耐盐阈值从低到高依次是  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3 < \text{Na}_2\text{CO}_3 < \text{NaHCO}_3 < \text{NaCl} < \text{NaCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4 < \text{Na}_2\text{SO}_4$ 。碱蓬种子的耐受性中性钠盐大于碱性钠盐。碱蓬种子对  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  耐受性最大。

表 3 碱蓬种子对 6 种钠盐的耐盐阈值

Table 3 Salt-tolerant thresholds of *S. glauca* seeds on six kinds of sodium salt

钠盐类型 Sodium salt type	处理组 Treatment group	回归方程 Regression equation	决定系数 Coefficient of determination ( $R^2$ )	耐盐阈值 Salt-tolerant thresholds//mmol/L
中性盐 Neutral salt	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$y = 0.9875 + 0.00003x - 0.00002x^2$	0.93**	156
	NaCl	$y = 1.0622 - 0.0045x$	0.96**	125
	NaCl+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$y = 0.9425 - 0.0030x$	0.93**	147
碱性盐 Alkaline salt	NaHCO <sub>3</sub>	$y = 0.9281 - 0.0043x$	0.94**	79
	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$y = 0.9820 - 0.0138x + 0.00004x^2$	0.99**	39
	NaHCO <sub>3</sub> +Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$y = 0.9292 - 0.0126x + 0.00004x^2$	0.93**	38

注: \*\* 表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )

Note: \*\* indicated significant differences ( $P < 0.01$ )

### 3 结论与讨论

种子萌发期是植物对盐碱胁迫最敏感的时期<sup>[6]</sup>。盐胁迫抑制种子萌发的主要原因有渗透胁迫、细胞质膜遭到破坏、钠离子毒害等<sup>[11]</sup>。该研究发现,碱蓬种子发芽率、发芽势、发芽指数均随着钠盐浓度的升高而下降,而其相对盐害率随之升高。这可能是由于处理液中大量的  $\text{Na}^+$  对种子产生离子毒害,抑制其代谢相关酶活性,使其细胞内的代谢紊乱,最终抑制种子萌发<sup>[12]</sup>。还有可能是处理液中较高的离子浓度增加种子渗透势,导致其细胞质壁分离,严重影响种子的吸胀作用。

不同钠盐对碱蓬种子萌发的抑制情况存在较大差异,结果发现,碱性钠盐 ( $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 对种

子的萌发抑制高于中性钠盐 ( $\text{NaCl}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4$ ),而且碱性钠盐的相对盐害也明显高于中性钠盐。可见,碱性钠盐对种子萌发抑制作用远大于中性钠盐。在碱性钠盐胁迫中,混合碱 ( $\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$ , pH 11.10) 对碱蓬种子萌发产生的影响介于单纯  $\text{NaHCO}_3$  和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  之间,  $\text{NaHCO}_3$  (pH 8.66) 抑制作用最小,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (pH 11.21) 的抑制作用最强。可见,萌发抑制作用可能与胁迫盐相应的 pH 有关。因此可以认为,除高浓度  $\text{Na}^+$  对种子萌发有抑制作用外,碱胁迫的高 pH 也对萌发产生抑制作用,且高 pH 胁迫对碱蓬种子萌发的抑制作用大于  $\text{Na}^+$  离子毒害的效应。这与李玉梅等<sup>[6]</sup>阐述的观点一致。高 pH 可能使种子的细胞结构破坏、细胞

- [11] 王海为. 氟苯尼考复方注射剂的含量测定、安全评价及药代动力学研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2011.
- [12] 蓝玮璇. 氟苯尼考在多杀性巴氏杆菌感染鸭的体内药效同步模型(PK/PD)研究及PK/PD折点制定[D]. 扬州:扬州大学,2019.
- [13] 郭方超. 氟苯尼考在鸭疫里默氏杆菌感染鸭的药效学和药理学研究[D]. 扬州:扬州大学,2019.
- [14] CHANG K C, TSAI C E. Bioequivalence evaluation of Florfenicol pharmaceuticals in pigs using liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of liquid chromatography & related technologies, 2018, 41(8):445-450.
- [15] VARMA K J, ADAMS P E, POWERS T E, et al. Pharmacokinetics of florfenicol in veal calves[J]. Journal of veterinary pharmacology and therapeutics, 1986, 9(4):412-425.
- [16] VERMA S, AHMAD A H, RAHAL A, et al. Pharmacokinetics of Florfenicol Following Single Dose Intravenous and Intramuscular Administration in Goats[J]. Journal of applied animal research, 2009, 36(1):93-96.
- [17] PARK B K, LIM J H, KIM M S, et al. Pharmacokinetics of florfenicol and its metabolite, florfenicol amine, in dogs[J]. Research in veterinary science, 2007, 84(1):85-89.
- [18] ABU-BASHA E A H, GEHRING R, AL-SHUNNAQ A, et al. Pharmacokinetics and bioequivalence of florfenicol oral solution formulations (Flonicol® and Veterin® 10%) in broiler chickens[J]. Bioequivalence & bioavailability, 2012, 4(1):1-5.
- [19] 孙婷婷. 甲砜霉素和氟苯尼考在鸭体内的生物药剂学分类及药理学研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2018.
- [20] 黄郁葱, 汤菊芬, 秦青英, 等. 氟苯尼考在红笛鲷体内的药代动力学研究[J]. 中国兽药杂志, 2016, 50(11):58-64.
- [21] 中华人民共和国农业农村部, 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中兽药最大残留限量: GB 31650—2019[S]. 北京:中国标准出版社,2019.
- [22] EMA/MRL/822/02-FINAL January 2002 [DB/OL]. [2021-09-15]. https://www.ema.europa.eu/en/documents/mrl-report/florfenicol-extension-all-food-producing-species-summary-report-6-committee-veterinary-medical\_en.pdf.
- [23] Code of Federal Regulations [DB/OL]. [2021-09-15]. https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-E/part-556/subpart-B/section-556.283.
- [24] EMA/MRL/589/99-FINAL March 1999 [DB/OL]. [2021-09-15]. https://www.ema.europa.eu/en/documents/mrl-report/florfenicol-extension-chicken-summary-report-3-committee-veterinary-medical-products\_en.pdf.
- [25] 李涛, 杨伟, 杨丽芬, 等. 高效液相色谱-紫外法检测畜禽肉中氟苯尼考残留[J]. 现代食品, 2020(9):130-132, 141.
- [26] YANG F, YANG F, KONG T, et al. Pharmacokinetics of florfenicol and its metabolite florfenicol amine in crucian carp (*Carassius auratus*) at three temperatures after one single intramuscular injection[J]. Journal of veterinary pharmacology and therapeutics, 2018, 41(5):739-745.
- [27] 杨秋红, 艾晓辉, 李荣, 等. 固相萃取-气相色谱法同时检测水产品中的氯霉素、甲砜霉素、氟苯尼考和氟苯尼考胺[J]. 分析试验室, 2015, 34(5):533-537.
- [28] 张丽萍, 孟蕾, 张盼盼, 等. 鸡、猪组织中甲砜霉素、氟苯尼考、氟苯尼考胺残留量测定的GC-MS法建立[J]. 中国兽药杂志, 2020, 54(9):33-40.
- [29] 李然, 林泽洋, 杨金易, 等. 酶联免疫法检测动物组织及尿液中氟苯尼考与甲砜霉素的残留[J]. 分析化学, 2018, 46(8):1321-1328.
- [30] 区兑鹏, 卢文博, 严忠雍, 等. 酶联免疫法快速检测水产品中硝基呋喃类代谢物、氯霉素及氟苯尼考[J]. 中国渔业质量与标准, 2021, 11(1):27-33.
- [31] 谢美婵, 杨金易, 李然, 等. 畜禽肉及饲料中氟苯尼考残留免疫分析方法研究[J]. 分析测试学报, 2021, 40(9):1380-1385.
- [32] 易扬. 猪肉中氟苯尼考的胶体金免疫层析检测方法的建立[D]. 南昌:南昌大学,2016.
- [33] 朱爱荣. 肉食品中氟苯尼考残留快速检测胶体金试纸条的研制[D]. 南京:南京农业大学,2014.

(上接第8页)

的生理代谢紊乱,打破细胞内离子平衡,进而影响种子萌发<sup>[12]</sup>。可以说,高pH胁迫对种子萌发的破坏力更大。

比较相同浓度的4种单盐(NaCl、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、NaHCO<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)的抑制作用发现,Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>对种子萌发的抑制作用最强,而Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>对种子的抑制作用最弱,NaHCO<sub>3</sub>和NaCl介于二者之间。相同盐浓度的NaCl对碱蓬种子萌发的抑制大于Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,这与白小明等<sup>[13]</sup>的研究结果一致。这可能是由于NaCl的分子量比Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>小,前者更容易渗入种子,使种子对Na<sup>+</sup>的吸收率更高<sup>[13]</sup>,离子毒害更强。因此,NaCl处理对种子萌发抑制作用更大。而李玉梅等<sup>[6]</sup>和吉小敏等<sup>[14]</sup>分别发现在肥皂草种子、盐桦种子萌发中Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>比NaCl的抑制作用更大,与该试验结果正好相反。而混合盐(NaCl+Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)对碱蓬种子萌发的影响介于单盐NaCl和单盐Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>之间,此结果与李玉梅等<sup>[6]</sup>和于兆友等<sup>[15]</sup>有关肥皂草和皂荚种子萌发的报道均不同。以上情况说明,种子萌发在盐碱胁迫下受到的抑制程度除与盐碱浓度有关外,还与种子自身的耐盐能力有关<sup>[6]</sup>。不同植物种子的萌发对各种钠盐的耐盐响应表现各异<sup>[9]</sup>。该试验混合盐(NaCl+Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)对种子萌发的抑制小于NaCl,可能是因为Na<sup>+</sup>与Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>相互耦联而降低了Na<sup>+</sup>的毒害作用,相同盐浓度的混合盐缓解了Na<sup>+</sup>对种子萌发的抑制。

综上所述,碱蓬种子萌发阶段对6种钠盐具有一定的耐受性,但是其对不同钠盐的耐受性明显不同。从6种钠盐的相对盐害率来看,碱蓬种子萌发期对6种钠盐的耐受性排序

为Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+NaCl>Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>>NaCl>NaHCO<sub>3</sub>>NaHCO<sub>3</sub>+Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>。

## 参考文献

- [1] 麻莹,张洪嘉,库都斯·阿布都沙拉木,等. 盐碱胁迫对盐地碱蓬生长、有机酸等溶质积累及其生理功能的影响[J]. 草地学报, 2021, 29(9):1934-1940.
- [2] 李煦,徐美,吴玉文,等. 超声波-微波协同辅助提取碱蓬多糖及抗氧化性分析[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(15):43-49.
- [3] 王晨熙,高腾飞,王瑞鑫,等. 盐地碱蓬种子矿物元素测定及价值分析[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(4):807-810.
- [4] 庞庆庄,郭建超,陈家东,等. 不同水盐条件对盐地碱蓬种子发芽和生长的影响[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(6):1332-1337.
- [5] 梁继业,赵振勇,刘畅,等. 真盐生植物盐地碱蓬资源特征与利用开发研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2022, 41(2):30-37.
- [6] 李玉梅,孙艳涛,姜云天,等. 盐胁迫对肥皂草种子萌发的影响[J]. 东北林业大学学报, 2019, 47(9):17-23, 27.
- [7] 赵玥茹,蔡恒江,张靖凡,等. Cu<sup>2+</sup>和Zn<sup>2+</sup>对翅碱蓬种子萌发及幼苗渗透调节物质的影响[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(15):45-47, 52.
- [8] 陈文翰,蔡恒江,赵玥茹,等. 盐胁迫对翅碱蓬种子萌发及幼苗渗透调节物质的影响[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(16):65-67.
- [9] 兰艳,朱林,王甜甜,等. 混合盐碱胁迫对3种稀属牧草种子萌发的影响[J]. 种子, 2022, 41(3):37-44.
- [10] 张瑞茜,高山,张锐,等. 盐胁迫对不同油菜种子萌发的影响[J]. 种子, 2021, 40(1):94-98.
- [11] 张航,战金雨,杨柳,等. NaCl胁迫对榆树种子萌发的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(9):127-131.
- [12] 李玉梅,姜云天,董雪松. 盐胁迫对东北薄荷种子萌发的影响[J]. 东北林业大学学报, 2018, 46(2):22-28, 34.
- [13] 白小明,王靖婷,贺佳圆,等. 8个野生早熟禾种子萌发期耐盐性研究[J]. 草地学报, 2013, 21(3):546-555.
- [14] 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.
- [15] 于兆友,闫海冰,张慧芳,等. 不同盐分胁迫对皂荚种子萌发及幼苗生理特征的影响[J]. 东北林业大学学报, 2020, 51(10):28-35.