

## 12种植物萌发期耐盐性筛选

申吴燕<sup>1</sup>, 吐尔逊娜依·热依木<sup>1</sup>, 雪热提江·麦提努日<sup>1</sup>, 邓婷婷<sup>1</sup>,  
黄长福<sup>1</sup>, 王梦<sup>2</sup>, 马伊琍<sup>3</sup>, 麻浩<sup>1</sup>

(1. 新疆农业大学草业与环境科学学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 国网能源哈密煤电有限公司大南湖二矿, 新疆哈密 839000;  
3. 兰州荒漠保护研究院, 兰州 730000)

**摘要:**【目的】研究12种植物萌发期耐盐性,为盐渍化土壤生态恢复选取耐盐碱的多年生草本植物提供参考依据。【方法】以披碱草、碱茅、扁穗冰草、高冰草、狗牙根、无芒雀麦、紫花苜蓿、沙打旺、红豆草、甘草、苦豆子和草木樨种子为材料,在萌发期用NaCl溶液在0.0%(CK)、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%不同浓度下进行盐胁迫处理,测定每种植物的每日发芽数、根长、芽长,计算出植物的相对发芽率、相对发芽指数、相对发芽势、相对伤害率、相对根芽比,并采用隶属函数计算不同植物的耐盐性得分。【结果】各种植物种子受到盐胁迫抑制,各个生长指标随NaCl浓度的增加呈下降的趋势。12种植物耐盐性得分排列顺序为甘草>高冰草>碱茅>披碱草>苦豆子>扁穗冰草>紫花苜蓿>红豆草>草木樨>无芒雀麦>沙打旺>狗牙根。【结论】哈密大南湖二矿生态修复区盐碱地生态修复可以优先考虑甘草、高冰草、碱茅、披碱草、苦豆子等多年生草本植物。

**关键词:** NaCl 盐胁迫; 种子萌发; 多年生草本植物; 耐盐性

**中图分类号:** S-3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-4330(2020)10-1912-09

### 0 引言

【研究意义】我国盐碱土面积 $3.46 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ,其中新疆盐碱土面积 $8.476 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ,是我国土壤盐渍化大区<sup>[1]</sup>。哈密大南湖二矿位于新疆东部,土壤盐渍化严重,地表主要以自然原始戈壁、裸岩、砾石为主,无植被生长,生态系统极其脆弱<sup>[2]</sup>。在诸多不利生态因子中,盐胁迫已成为影响该区域植物正常生长的重要限制因子之一<sup>[3]</sup>。改良和利用盐渍化土地,修复矿区生态,对哈密大南湖二矿生态修复区草本植物选取具有实际意义<sup>[4]</sup>。【前人研究进展】在植物选取中,余玲等<sup>[5]</sup>提出禾本科牧草的耐盐性比一般作物强,是改良盐碱地的良好先锋植物。吴振振等<sup>[6]</sup>在尉犁县塔克拉玛干沙漠北缘盐碱荒漠种植甘草(*Glycyrrhizauralensis*),可使盐碱土壤得到有效改良;郭晔红等<sup>[7]</sup>研究也表明甘草对盐碱地有一定的改良作用。在筛选方法中,刘璐等<sup>[8]</sup>、付鸾鸿等<sup>[9]</sup>、崔翠等<sup>[10]</sup>测定种子萌发期发芽率、发芽势、发芽指数等生长指标,综合评价筛选出耐性强的品种。【本研究切入点】耐盐植物是改良和利用盐碱地的先锋植物<sup>[11]</sup>,选用12种常见耐盐植物进行NaCl胁迫,利用萌发期对逆境胁迫极为敏感的特性<sup>[12]</sup>,对种子的相对发芽率、相对发芽指数、相对发芽势、相对伤害率、相对根芽比的隶属函数值之和进行耐盐能力排名。【拟解决的关键问题】以披碱草、碱茅、扁穗冰草、高冰草、狗牙根、无芒雀麦、紫花苜蓿、沙打旺、红豆草、甘草、苦豆子和草木樨种子为材料,在萌发期用NaCl溶液在0.0%(CK)、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%不同浓度下进

收稿日期(Received): 2020-01-15

基金项目: 兰州生多荒漠保护研究院项目“戈壁荒漠区露天煤矿水土保持与生态建设关键技术研究”

作者简介: 申吴燕(1993-),女,河北邯郸人,硕士研究生,研究方向为生态恢复, (E-mail)840841845@qq.com

通信作者: 吐尔逊娜依·热依木(1968-),女,新疆阿克陶人,副教授,博士/硕士生导师,研究方向为草地生态教学和科研, (E-mail)tursunnay@sina.com

行盐胁迫处理,测定每种植物的每日发芽数、根长、芽长,计算出植物的相对发芽率、相对发芽指数、相对发芽势、相对伤害率、相对根芽比,并采用隶属函数计算不同植物的耐盐性得分。为哈密大南湖二矿生态修复区草本植物选取提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

披碱草 (*Elymusdahuricus*)、碱茅 (*Puccinellia-distans*)、扁穗冰草 (*Agropyroncristatum*)、高冰草 (*Thinopyrum ponticum*)、狗牙根 (*Cynodon dactylon*)、无芒雀麦 (*Bromus inermis*)、紫花苜蓿 (*Medicago sativa*)、沙打旺 (*Astragalus adsurgens*)、红豆草 (*Onobrychis viciifolia*)、甘草 (*Glycyrrhiza uralensis*)、苦豆子 (*Sophora alopecuroides*)、草木樨 (*Melilotus officinalis*)。试验所需种子均来自乌鲁木齐市天博草业种子店。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 试验设计

以 NaCl 为盐胁迫溶液,设置 5 个浓度梯度 0.0% (CK)、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%,3 个重复,每个培养皿内放置 50 粒颗粒饱满、大小均一的种子<sup>[13]</sup>。智能人工培养箱设置光照周期 12 h 照明(白天),12 h 无光(夜晚);设置温度白天温度 25℃、夜晚温度 15℃<sup>[14]</sup>。为保证培养皿中盐浓度保持不变,每日用称重法<sup>[15]</sup>及时补充所挥发水分(蒸馏水)。从第 2 d 开始记录,每隔 24 h 记录 1 次种子发芽数。15 d 结束,测量每种植物胚根长和胚芽长。

#### 1.2.2 测定指标

将所需进行种子萌发种子材料进行消毒,在 10% 次氯酸钠搅拌 10 min;30% 双氧水浸泡 10 min;用大量的蒸馏水冲洗干净,以保种子表面没有残留消毒溶液影响种子萌发结果<sup>[13]</sup>。

为消除植物材料之间和本身指标间的差异,将所测指标每日发芽数、最终根长、最终芽长进行计算均转化为耐盐系数(相对值):相对发芽率、相对发芽指数、相对发芽势、相对伤害率、相对根芽比<sup>[16]</sup>。计算公式:

$$(1) \text{相对发芽率} = (15 \text{ d 盐胁迫发芽数} / 50 \times$$

$$100\%) / (15 \text{ d 对照发芽数} / 50 \times 100\%)。$$

$$(2) \text{相对发芽指数} = \text{盐胁迫} (\sum G_T / D_T) / \text{对照} (\sum G_T / D_T)。$$

式中  $G_T$  表示第  $T$  d 的种子发芽率,  $D_T$  表示相应的发芽天数。

$$(3) \text{相对发芽势} = (\text{第 7 d 盐胁迫发芽数} / 50 \times 100\%) / (\text{第 7 d 对照发芽数} / 50 \times 100\%)。$$

$$(4) \text{相对伤害率} = (\text{对照发芽率} - \text{盐胁迫发芽率}) / \text{对照发芽率} \times 100\%。$$

$$(5) \text{相对根芽比} = (\text{盐胁迫胚根长} / \text{盐胁迫胚芽长}) / (\text{对照胚根长} / \text{对照胚芽长})。$$

(6) 植物耐盐性得分最终用隶属函数计算:  $U(X_{ij}) = (X_{ij} - X_{jmin}) / (X_{jmax} - X_{jmin})。$

式中  $U(X_{ij})$  表示  $i$  牧草种子  $j$  指标的隶属函数值;  $X_{ij}$  表示  $i$  品种  $j$  指标的相应值;  $X_{jmax}$  和  $X_{jmin}$  则表示  $i$  牧草种子在  $j$  指标中相对应的最大值和最小值<sup>[17-20]</sup>。

### 1.3 数据处理

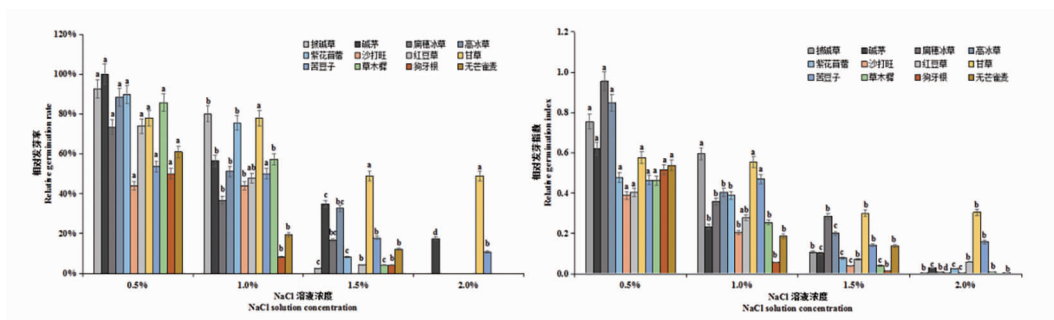
利用 Excel 2016 对各生长指标数据进行整理计算以及相关图形制作,并 Photoshop CS5 处理后插入<sup>[21]</sup>。SPSS 19.0 软件进行方差分析和相关性分析<sup>[22]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 种子萌发各生长指标

#### 2.1.1 相对发芽率和相对发芽指数

研究表明,不同盐浓度下,12 种植物种子的相对发芽率和相对发芽指数均随着盐胁迫浓度的增加呈下降趋势,有显著差异 ( $P < 0.05$ )。0.5% 浓度下,碱茅未受盐胁迫影响,与 CK 相等,相对值达 100%;扁穗冰草相对发芽指数值最大,发芽速度受盐胁迫影响较小。1.0% 浓度下,披碱草相对发芽率为最大值 80%。1.5% 浓度下,甘草相对发芽率最大值为 48.89%;披碱草最小值为 2.50%;沙打旺未发芽。2.0% 浓度下,9 种植物种子受盐胁迫影响未发芽,仅甘草、碱茅和苦豆子发芽,相对发芽率分别为 48.89%、17.39% 和 10.71%。高冰草在不同浓度间种子的相对发芽指数差异最好,4 个浓度梯度下均有显著差异 ( $P < 0.05$ )。图 1



注:不同字母表示同种植物不同浓度间的差异显著 ( $P < 0.05$ )

Note: Different letters indicate significant differences between different concentrations of the same plant ( $P < 0.05$ )

图 1 12 种牧草种子的相对发芽率、相对发芽指数

Fig. 1 Germination rate and germination index of 12 herbage seeds

2.1.2 相对发芽势

研究表明,苦豆子、狗牙根和无芒雀麦在不同 NaCl 溶液下相对发芽势没有显著差异 ( $P > 0.05$ ),未受盐胁迫浓度影响。披碱草和紫花苜蓿随 NaCl 盐胁迫浓度增加,相对发芽势差异显著 ( $P < 0.05$ )。4 个浓度梯度间 12 种植物种子在

0.5% 浓度下相对发芽势显示差异最明显;扁穗冰草和甘草在 1.0% 浓度下与其他植物均无显著性差异 ( $P > 0.05$ );12 种植物种子在 1.5% 下无显著性差异 ( $P > 0.05$ );甘草在 2.0% 浓度下与其他 11 种植物有显著差异 ( $P < 0.05$ )。表 1

表 1 不同 NaCl 溶液下 12 种牧草种子的相对发芽势

Table 1 Relative germination potential of 12 herbage seeds in different NaCl solutions

种名 Species name	NaCl 溶液 NaCl solutions			
	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%
披碱草 <i>Elymusdahuricus</i>	(73.86 ± 3.01) ABCa	(35.23 ± 9.71) ABb	0Ac	0Bc
碱茅 <i>Puccinellia distans</i>	(60.00 ± 8.66) BCDa	(10.00 ± 5.00) BCb	0Ab	0Bb
扁穗冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	(104.65 ± 17.56) Aa	(23.26 ± 10.14) ABCb	(6.98 ± 2) Ab	0Bb
高冰草 <i>Thinopyrum ponticum</i>	(71.30 ± 10.31) ABCa	(8.33 ± 2) BCb	0Ab	0Bb
紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	(84.93 ± 4.17) ABa	(46.58 ± 7.90) Ab	(3.42 ± 2.47) Ac	0Bc
沙打旺 <i>Astragalus adsurgens</i>	(35.90 ± 1.48) CDEa	(14.53 ± 7) BCb	(0.85 ± 0.85) Ab	0Bb
红豆草 <i>Onobrychis viciaefolia</i>	(14.29 ± 4.08) Ea	(2.04 ± 2.04) Cb	0Ab	0Bb
甘草 <i>Glycyrrhiza uralensis</i>	(28.23 ± 2.91) DEa	(22.58 ± 1.61) ABCab	(8.87 ± 6.6) Ab	(8.87 ± 2.91) Ab
苦豆子 <i>Sophora alopecuroides</i>	(3.03 ± 3.03) Ea	(3.03 ± 1.01) Ca	0Aa	0Ba
草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	(58.22 ± 14.05) BCDa	(16.44 ± 5.93) BCb	(0.68 ± 0.2) Ab	0Bb
狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	(38.71 ± 20.15) CDEa	0Ca	0Aa	0Ba
无芒雀麦 <i>Bromus inermis</i>	(22.62 ± 6.63) DEa	(10.71 ± 8.99) BCa	(2.38 ± 0.51) Aa	0Ba

注:不同大写字母表示同一浓度梯度不同植物间的差异显著 ( $P < 0.05$ ),不同小写字母表示不同植物同一浓度梯度间的差异显著 ( $P < 0.05$ )

Note: Different capitals showed significant differences among different plants at the same concentration gradient ( $P < 0.05$ ), and different lower capitals showed significant differences among different plants at the same concentration gradient ( $P < 0.05$ )

2.1.3 相对伤害率和相对根芽比

研究表明,12 种植物种子相对伤害率随着 NaCl 浓度的增加均呈上升趋势,NaCl 盐胁迫浓度越大,受到伤害率越大。在 0.5% 浓度下,碱茅相对伤害率值为 0,未受到盐胁迫环境破坏。在 1.0% 浓度下,12 种植物均受到不同程度的伤害,其中狗牙根和无芒雀麦相对受伤害程度高达 80% 以上;紫花苜蓿、甘草和披碱草相对受伤害程度低,相对伤害率分别为 24.49%、22.22% 和 20.00%。在 1.5% 浓度下,12 种植物种子受 NaCl 盐胁迫环境影响,相对伤害值均在 50% 以上,其中沙打旺完全受 NaCl 盐胁迫抑制,相对伤

害率达 100%。在 2.0% 浓度下,9 种植物种子受到完全的抑制,仅甘草、碱茅和苦豆子显示出较强的耐盐能力。

相对根芽比随着 NaCl 浓度的增加均呈下降趋势,NaCl 盐胁迫浓度越大,种子根芽比越小。苦豆子在 0.5% 和 1.0% 浓度下相对根芽比为 1.55 和 1.52,比 CK 根芽比高,根长未受影响反而促进生长;但在 1.5% 和 2.0% 浓度下根长明显受到盐胁迫环境的影响。高冰草在 0.5%、1.0% 和 1.5% ,3 个梯度间相对根芽比无明显变化。狗牙根随着 NaCl 浓度的增加,各浓度间相对根芽比差值最均匀,效果最好。图 2

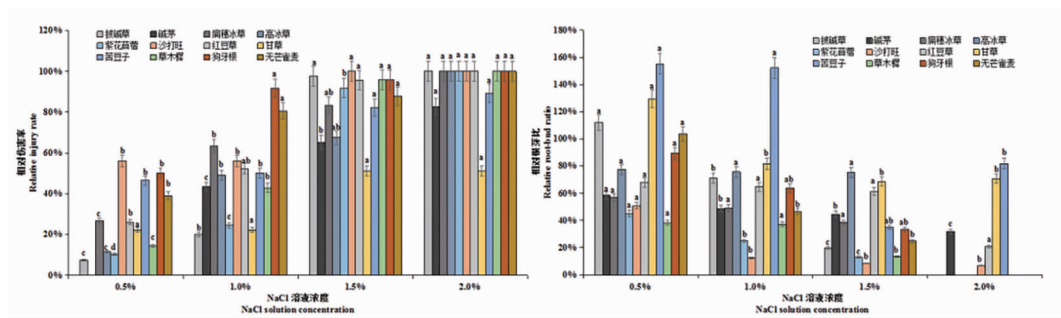


图 2 12 种牧草种子的相对伤害率、相对根芽比

Fig. 2 Relative injury rate and root – bud ratio of 12 herbage seeds

2.2 不同指标的耐盐特性差异

研究表明,相对发芽率、相对发芽指数、相对发芽势、相对伤害率和相对根芽 5 个生长指标的耐盐系数不同。耐盐系数 50% 在平均值之上有相对伤害率 1 个指标;40% ~ 50% 在平均值之上

有相对发芽率、相对发芽指数和相对根芽比 3 个指标;40% 在平均值以下的仅有相对发芽势 1 个指标。相对发芽率中耐盐值最大为碱茅;相对发芽指数和相对发芽势中最大值为甘草;相对伤害率最大值为沙打旺。表 2

表 2 不同鉴定指标的耐盐系数

Table 2 Salt tolerance coefficient of different identification indicators

指标 Index	相对发芽率 Relative germination rate	相对发芽指数 Relative germination index	相对发芽势 Relative germination potential	相对伤害率 Relative injury rate	相对根芽比 Relative root bud ratio
最小值 Min	0	0	0	-1.000	0
最大值 Max	1.000	1.000	1.000	0.220	1.000
平均值 Mean	0.362	0.345	0.242	-0.582	0.317
标准差 SD	0.356	0.319	0.321	0.387	0.310
指变异系数(%)CV	0.983	0.924	1.324	-0.665	0.980

2.3 各生长指标相关性

研究表明,相对发芽率、相对发芽指数、相对

发芽势和相对根芽比 4 个生长指标之间均成极显著正相关( $P < 0.05$ ),但相对发芽率、相对发芽指

数、相对发芽势和相对根芽比与相对伤害率呈负相关。相对发芽率与相对伤害率相关值为  $-1$ , 盐胁迫下各牧草种子受伤害与发芽率呈极显著负相关 ( $P < 0.01$ )。表 3

表 3 NaCl 胁迫下各生长指标相关性

Table 3 Correlation analysis of growth indices under NaCl stress

指标 Index	相对发芽率 Relative germination rate	相对发芽指数 Relative germination index	相对发芽势 Relative germination potential	相对伤害率 Relative injury rate	相对根芽比 Relative root bud ratio
相对发芽率 Relative germination rate	1				
相对发芽指数 Relative germination index	0.791 **	1			
相对发芽势 Relative germination potential	0.732 **	0.756 **	1		
相对伤害率 Relative injury rate	-1.000 **	-0.791 **	-0.732 **	1	
相对根芽比 Relative root bud ratio	0.382 **	0.561 **	0.099	-0.382 **	1

注: \* 表示相关性显著 ( $P < 0.05$ ), \*\* 表示相关性极显著 ( $P < 0.01$ )

Note: \* Mean significant relationship at 0.05 level, \*\* mean extremely significant relationship at 0.01 level

#### 2.4 各生长指标隶属函数得分

研究表明,在 0.5% 浓度下,披碱草 > 高冰草 > 扁穗冰草 > 碱茅 > 紫花苜蓿 > 甘草 > 草木樨 > 无芒雀麦 > 苦豆子 > 红豆草 > 狗牙根 > 沙打旺; 在 1.0% 浓度下,披碱草 > 甘草 > 紫花苜蓿 > 苦豆子 > 高冰草 > 草木樨 > 碱茅 > 扁穗冰草 > 红豆草 > 沙打旺 > 无芒雀麦 > 狗牙根; 在 1.5% 浓度

下,甘草 > 高冰草 > 扁穗冰草 > 碱茅 > 苦豆子 > 无芒雀麦 > 红豆草 > 紫花苜蓿 > 披碱草 > 狗牙根 > 草木樨 > 沙打旺; 2.0% 浓度下,甘草 > 苦豆子 > 碱茅 > 红豆草 > 沙打旺 > 紫花苜蓿 > 扁穗冰草 > 草木樨 > 无芒雀麦 > 披碱草 > 高冰草 > 狗牙根。表 4

表 4 不同 NaCl 溶液下 12 种牧草种子耐盐性得分及排名

Table 4 Salt tolerance score ranking of 12 herbage seeds in different NaCl solutions

种名 Species name	NaCl 溶液 NaCl solutions				总得分	排名
	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%		
甘草 <i>Glycyrrhizauralensis</i>	1.801	2.839	3.912	3.866	12.418	1
高冰草 <i>Thinopyrum ponticum</i>	2.491	1.471	1.997	-0.996	4.964	2
碱茅 <i>Puccinellia distans</i>	2.263	1.148	1.353	0.199	4.964	3
披碱草 <i>Elymus dahuricus</i>	2.812	3.177	-0.278	-0.991	4.720	4
苦豆子 <i>Sophora alopecuroides</i>	0.857	1.993	0.664	0.955	4.469	5
扁穗冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	2.323	1.112	1.928	-0.968	4.396	6
紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	1.875	2.581	0.150	-0.917	3.689	7
红豆草 <i>Onobrychis isiciaefolia</i>	0.774	0.933	0.227	-0.552	1.383	8
草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	1.404	1.261	-0.444	-0.972	1.249	9
无芒雀麦 <i>Bromus inermis</i>	0.945	0.029	0.562	-0.986	0.550	10
沙打旺 <i>Astragalus adsurgens</i>	-0.119	0.577	-0.662	-0.901	-1.105	11
狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	0.606	-0.632	-0.336	-1.000	-1.362	12

### 3 讨论

种子萌发是植物生命的开始,也是植物整个生命中最重要、最脆弱的阶段,除受自身的基因影响外,还极易受到逆境环境的影响。薛莉等<sup>[23]</sup>研究表明,植物在生长发育周期的不同阶段对盐胁迫环境的敏感程度不同,但种子萌发期是最敏感的阶段之一<sup>[24-25]</sup>。植物在盐环境胁迫下,各个生长指标均受到抑制。研究表明除碱茅、苦豆子外,其他植物各生长指标受盐胁迫的影响均呈下降的趋势,这与刘恩良等<sup>[26]</sup>、王晓龙等<sup>[11]</sup>结果相似。碱茅在 0.5% 浓度下相对发芽指数为 1.03,说明发芽指数优于 CK。苦豆子在 0.5% 和 1.0% 浓度下相对根芽比为 1.55 和 1.52,根长未受盐胁迫抑制反而促进生长。刘翠玉等<sup>[27]</sup>、景艳霞等<sup>[28]</sup>认为出现这一情况原因是高盐对植物有害,但是低钠对植物生长也会有促进作用,因为钠是植物生长的必须元素。

筛选植物时单一指标不能作为最终的判定结果。碱茅在相对发芽率中耐盐值最大,但相对发芽指数和相对发芽势中最大值则是甘草,相对伤害率中最大值是沙打旺。各指标相关性分析相对胁迫率与其他 4 个指标呈负相关。因此如果仅用相对发芽率、相对发芽指数、相对发芽势、相对伤害率和相对根芽比 5 个指标中任一指标作为唯一标准过于片面,综合评价各指标是必要的,这与张毅等<sup>[29]</sup>、曹俊梅等<sup>[30]</sup>观点一致。

研究结果表明,0.5% 和 1.0% 浓度下披碱草耐盐性最好,1.0% 和 2.0% 浓度下甘草耐盐性最好。不同盐浓度下评价结果亦不同,故采用多个浓度进项综合评价较为全面。但在实际生产中,也可根据土壤含盐量的不同,更准确地进行植物选取。

### 4 结论

12 种植物最终耐盐性得分排名是根据隶属函数公式分别计算 4 个浓度下各植物相对发芽率、相对发芽指数、相对发芽势、相对伤害率和相对根芽比 5 个生长指标。相对值的选取消除了各植物间种质的差异,更加公平客观的筛选出耐盐碱的植物。根据 4 个浓度梯度下 12 种牧草种子总得分排名:甘草 > 高冰草 > 碱茅 > 披碱草 > 苦

豆子 > 扁穗冰草 > 紫花苜蓿 > 红豆草 > 草木樨 > 无芒雀麦 > 沙打旺 > 狗牙根。盐碱地生态修复中可以优先考虑甘草、高冰草、碱茅、披碱草、苦豆子、扁穗冰草、紫花苜蓿等多年生草本植物。

### 参考文献 (References)

- [1] 吴琼, 韩亚楠, 高睿, 等. 中生与盐生乌拉甘草种群种子萌发阶段耐盐性能的比较[J]. 种子, 2014, 33(11): 31-35.  
WU Qiong, HAN Yanan, GAO Rui, et al. The salt tolerance comparison of the seed of *Glycyrrhiza uralensis* from neutral population and halophyte population in germination stage [J]. *Seed*, 2014, 33(11): 31-35.
- [2] 田长彦, 买文选, 赵振勇. 新疆干旱区盐碱地生态治理关键技术研究[J]. 生态学报, 2016, 36(22): 7064-7068.  
TIAN Changyan, MAI Wenxuan, ZHAO Zhenyong. Study on key technologies of ecological management of saline alkali land in arid area of Xinjiang [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(22): 7064-7068.
- [3] 马琳. NaCl 胁迫对牧草种子萌发与幼苗生理生化的影响及耐盐性评价[D]. 泰安: 山东农业大学, 2010.  
MA Lin. *Study on effects and assessments of NaCl stress on seed germination and physiological and biochemical of seedling of herbages* [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2010.
- [4] 王斌, 马兴旺, 单娜娜, 等. 新疆盐碱地土壤改良剂的选择与应用[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(7): 111-115.  
WANG Bing, MA Xingwang, SHAN Nana, et al. The selection and application of saline alkali soil amendment in Xinjiang [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2014, 28(7): 111-115.
- [5] 余玲, 王彦荣, 孙建华. 野大麦种子萌发条件及抗逆性研究[J]. 草业学报, 1999, 8(1): 50-57.  
YU Lin, WANG Yanrong, SUN Jianhua. Studies on germination condition and stress resistance of *Hordeum brevisubulatum* seeds [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 1999, 8(1): 50-57.
- [6] 吴振振, 马淼, 张旭龙. 甘草对新疆盐碱地土壤理化性质及土壤酶活性的影响[J]. 农学学报, 2016, 6(6): 24-29.  
WU Zhenzhen, MA Miao, ZHANG Xulong. Effects of *Glycyrrhiza inflata* on soil physical and chemical properties and soil enzymatic activities of Xinjiang saline-alkali land [J]. *Journal of Agriculture*, 2016, 6(6): 24-29.
- [7] 郭晔红, 蔺海明, 贾恢先, 等. 种植中药材对盐碱地的改良效果研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2005, 40(6): 757-762.  
GUO Yehong, LIN Haiming, JIA Huixian, et al. Soil improvement effects of planting Chinese herbs in saline-alkali soil [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2005, 40(6): 757-762.
- [8] 刘璐, 张跃群, 王婧, 等. 重度盐胁迫下 12 个地被草种萌发期的耐盐性比较[J]. 草业科学, 2019, 36(11): 2806-2819.

- LIU Lu, ZHANG Yuequn, WANG Jing, et al. Comparison of salt tolerance during the germination period of 12 grass species under severe salt stress [J]. *Pratacultural Science*, 2019, 36(11): 2806 - 2819.
- [9] 付鸾鸿, 于崧, 于立河, 等. 不同基因型燕麦萌发期耐盐碱性分析及其鉴定指标的筛选[J]. 作物杂志, 2018, (6): 27 - 35, 174.
- FU Luanhong, YU Song, YU Lihe, et al. Analysis of saline - alkaline tolerance and screening of identification indexes of different oat genotypes at the germination stage [J]. *Crops*, 2018, (6): 27 - 35, 174.
- [10] 崔翠, 程闯, 赵偷风, 等. 52 份豌豆种质萌发期耐铝毒性的综合评价与筛选[J]. 作物学报, 2019, 45(5): 798 - 805.
- CUI Cui, CHENG Chuang, ZHAO Yufeng, et al. Screening and comprehensive evaluation of aluminum - toxicity tolerance during germination stage in 52 varieties (lines) of pea germplasm [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2019, 45(5): 798 - 805.
- [11] 王晓龙, 李红, 闫利军, 等. 5 种禾本科牧草种子萌发及幼苗耐盐性鉴定[J]. 种子, 2016, 35(8): 27 - 31.
- WANG Xiaolong, LI Hong, YAN Lijun, et al. Salt - tolerance of seed germination and seedling growth for five grass species [J]. *Seed*, 2016, 35(8): 27 - 31.
- [12] 赵玮, 齐燕妮, 张建平, 等. 胡麻资源萌发期耐盐综合性评价[J]. 植物研究, 2019, 39(6): 955 - 963.
- ZHAO Wei, QI Yanni, ZHANG Jianping, et al. Comprehensive evaluation for salinity tolerance of flax resources during germination [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2019, 39(6): 955 - 963.
- [13] 赵贺靖. 箭筈豌豆的生物学性状分析和耐盐碱评价[D]. 保定: 河北大学, 2015.
- ZHAO Hejing. *Analysis and evaluation of biological characters and salinity tolerance of Vicia sativa* [D]. Baoding: Hebei University, 2015.
- [14] 车代弟, 赵海霞, 吴晓凤, 等. 干旱与盐胁迫对二十五种花卉种子萌发影响的评价与花海植物筛选[J]. 北方园艺, 2018, (21): 115 - 121.
- CHE Daidi, ZHAO Haixia, WU Xiaofeng, et al. Evaluation of effects of drought and salt stress on germination of twenty - five flower seeds and screening of flower sea plants [J]. *Northern Horticulture*, 2018, (21): 115 - 121.
- [15] 葛成军, 俞花美, 焦鹏. 2 种四环素类兽药抗生素对白菜种子发芽与根伸长抑制的毒性效应[J]. 生态环境学报, 2012, 21(6): 1143 - 1148.
- GE Chengjin, YU Huamei, JIAO Peng. Toxicological effects of two tetracycline antibiotics on the inhibition of seed germination and root elongation of Chinese cabbages [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21(6): 1143 - 1148.
- [16] 韩飞, 诸葛玉平, 娄燕宏, 等. 63 份谷子种质的耐盐综合评价及耐盐品种筛选[J]. 植物遗传资源学报, 2018, 19(4): 685 - 693.
- HAN Fei, ZHUGE Yuping, LOU Yanhong, et al. Evaluation of salt tolerance and screening for salt tolerant accessions of 63 foxtail millet germplasm [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(4): 685 - 693.
- [17] 刘璐, 张跃群, 王婧, 等. 重度盐胁迫下 12 个地被草种萌发期的耐盐性比较[J]. 草业科学, 2019, 36(11): 2806 - 2819.
- LIU Lu, ZHANG Yuequn, WANG Jing, et al. Comparison of salt tolerance during the germination period of 12 grass species under severe salt stress [J]. *Pratacultural Science*, 2019, 36(11): 2806 - 2819.
- [18] 马彦军, 祝小娟, 何瑞雪. 盐爪爪种子萌发期抗盐性研究[J]. 草地学报, 2019, 27(5): 1237 - 1242.
- MA Yanjun, ZHU Xiaojuan, HE Ruixue. Study on salt resistance of *Kalidiumfoliatum* seeds at germination stage [J]. *ActaAgrestiaSinica*, 2019, 27(5): 1237 - 1242.
- [19] 李青, 秦玉芝, 胡新喜, 等. 马铃薯耐盐性离体鉴定方法的建立及 52 份种质资源耐盐性评价[J]. 植物遗传资源学报, 2018, 19(4): 587 - 597.
- LI Qing, QIN Yuzhi, HU Xinxi, et al. Establishment of an optimized bioassay being valuable for determining salt tolerance in 52 potato germplasm accessions [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(4): 587 - 597.
- [20] 李珍, 云岚, 石子英, 等. 盐胁迫对新麦草种子萌发及幼苗期生理特性的影响[J]. 草业学报, 2019, 28(8): 119 - 129.
- LI Zhen, YUN Lan, SHI Ziyang, et al. Physiological characteristics of *Psathyrostachysjuncea* at seed germination and seedling growth stages under salt stress [J]. *ActaPrataculturalSinica*, 2019, 28(8): 119 - 129.
- [21] 于闯. 不同红豆草种质材料的抗逆性及品质特性研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2017.
- YU Chuang. *Study on qualities and stress resistance of different sainfoin germplasm* [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2017.
- [22] 朱晓琴, 段明晓, 张亚, 等. 丛枝菌根真菌和水杨酸对番茄幼苗耐盐性的影响[J]. 北方园艺, 2019, (14): 1 - 5.
- ZHU Xiaoqin, DUAN Mingxiao, ZHANG Ya, et al. Effects of ArbuscularMycorrhizal fungi and salicylic acid on salt tolerance in tomato [J]. *Northern Horticulture*, 2019, (14): 1 - 5.
- [23] 薛莉. 大白菜耐盐品种筛选及耐盐生理生化特性的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2007.
- XUE Li. *Study on screening of salt - tolerant cultivars and physiological and biochemical characteristics in Chinese cabbage* [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2007.
- [24] 柴靖哲. 河北省盐碱地耐盐草本植物筛选与应用研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2015.
- CHAI Jingzhe. *The screening and applied research of salt - toler-*

- ant herbaceous plants in Hebei province [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2015.
- [25] 胡宗英. 不同盐碱胁迫对披碱草和紫花苜蓿种子萌发的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2014.
- HU Zongying. The effects of different saline - alkaline stress on seed germination of *Elymusdahuricus* and *Medicago sativa* [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2014.
- [26] 刘恩良, 金平, 马林, 等. 新疆冬小麦耐盐指标筛选及分析评价研究[J]. 新疆农业科学, 2013, 50(5): 809 - 816.
- LIU Enliang, JIN Ping, MA Lin, et al. Study on screening out salt tolerance indexes of Xinjiang winter wheat and their relevant analysis and evaluation [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2013, 50(5): 809 - 816.
- [27] 刘翠玉, 闫明, 黄贤斌, 等. 石榴耐盐性研究与指标筛选[J]. 浙江农林大学学报, 2018, 35(5): 853 - 860.
- LIU Cuiyu, YAN Ming, HUANG Xianbin, et al. Salt tolerance and screening for identification indexes with pomegranate cuttings [J]. *Journal of Zhejiang A & F University*, 2018, 35(5): 853 - 860.
- [28] 景艳霞, 袁庆华. 不同钠盐胁迫对苜蓿种子萌发的影响[J]. 种子, 2010, 29(2): 69 - 72.
- JING Yanxia, YUAN Qinghua. Effect of different sodium salt stress on seed germination of alfalfas [J]. *Seed*, 2010, 29(2): 69 - 72.
- [29] 张毅, 侯维海, 冯西博, 等. 有色大麦种质芽期耐盐性鉴定[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(3): 564 - 573.
- ZHANG Yi, HOU Weihai, FENG Xibo, et al. Evaluation of salt tolerance of colored barley germplasm during germination [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(3): 564 - 573.
- [30] 曹俊梅, 芦静, 张新忠, 等. 11份新疆小麦品种幼苗耐盐性及相关形态生理特性研究[J]. 新疆农业科学, 2017, 54(8): 1384 - 1393.
- CAO Junmei, LU Jing, ZHANG Xinzong, et al. Study on salt tolerance and related morphological and physiological characteristics of 11 Xinjiang wheat varieties seedling [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2017, 54(8): 1384 - 1393.



## Selection of Salt Tolerance of 12 Forage Species in Xinjiang during Germination Period

SHEN Wuyan<sup>1</sup>, Tuerxunnayi Reyimu<sup>1</sup>, Xueretijiang Maitinuri<sup>1</sup>, DENG Tintin<sup>1</sup>,  
HUANG Changfu<sup>1</sup>, WANG Meng<sup>2</sup>, MA Yili<sup>3</sup>, MA Hao<sup>1</sup>

(1. College of Pratacultural and Environmental Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Dananhu No.2 Mining, State GRID Energy Hami Coal Power Co., Ltd., Hami Xinjiang 839000, China; 3. Lanzhou Institute of Desert Conservation, Lanzhou 730000, China )

**Abstract:** [Objective] provide a reference for the selection of salt tolerant perennial herbs for the ecological restoration of salinized soil. [Method] *Elymusdahuricus*, *Puccinellia distans*, *Agropyron cristatum*, *Thinopyrum ponticum*, *Gynodactylon*, *Bromus inermis*, *Medicago sativa*, *Astragalus adsurgens*, *Onobrychis viciaefolia*, *Glycyrrhiza uralensis*, *Sophora alopecuroides*, *Melilotus officinalis* were treated with NaCl solution 0.0% (CK), 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% under salt stress. The daily germination number, root length and bud length of each plant were measured, and the relative germination rate, relative germination index, relative germination potential, relative injury rate and relative root bud ratio were calculated. The membership function formula was used to calculate the salt tolerance score. [Result] All kinds of plant seeds were inhibited by salt stress, and the inhibition of each growth index showed a downward trend with the increase of concentration. The final score of salt tolerance of 12 plants was ranked in the following order: *Glycyrrhiza uralensis* > *Thinopyrum ponticum* > *Puccinellia distans* > *Elymusdahuricus* > *Sophora alopecuroides* > *Agropyron cristatum* > *Melilotus officinalis* > *Medicago sativa* > *Onobrychis viciaefolia* > *Bromus inermis* > *Astragalus adsurgens* > *Cynodactylon*. [Conclusion] In the second mine ecological restoration area of Danan Lake in Hami, *Glycyrrhiza uralensis*, *Thinopyrum ponticum*, *Puccinellia distans*, *Puccinellia distans*, *Elymusdahuricus*, and other perennial herbs be given priority.

**Key words:** NaCl salt stress; seed germination; perennial herbs; salt tolerance

**Fund project:** Supported by the project of "Research on Key Technologies of Soil and Water Conservation and Ecological Construction of Opencast Coal Mines in Gobi Desert Area" of Lanzhou Shengduo Desert Protection Research Institute.

**Correspondence author:** Tuerxunnayi Reyimu (1968 - ), female, Kirgiz, native place: Aketao, Xinjiang. Associate Professor, Mainly engaged in grassland ecology teaching and scientific research work, (E-mail) tursunnay@sina.com