

盐胁迫下 14 种绿肥植物种子萌发特性及耐盐性评价

潘香逾^{1,2}, 李瑜婷², 刘立军³, 董翔宇², 张鑫锋²,
王秀华^{1,2}, 赵岩^{1,2}

(1. 山东农业大学 农学院/作物生物学国家重点实验室, 山东 泰安 271018; 2. 山东农业大学 资源与环境学院, 山东 泰安 271018; 3. 山东无棣金土地开发建设有限公司, 山东 无棣 251900)

摘要:对 14 种绿肥植物的种子在萌发期进行盐胁迫 (NaCl 浓度分别为 50, 100, 150 和 200 mmol/L), 采用纸上发芽法, 测定了发芽势、发芽率、根长和苗高等 4 个指标, 计算了各指标的相对值, 并运用加权隶属函数法评价各绿肥植物种子的耐盐性。结果表明: 盐胁迫下 14 种绿肥植物种子发芽势、发芽率、根长和苗高的变异系数都随着 NaCl 浓度的升高而呈不同程度的增加; 50 mmol/L 低盐胁迫对部分绿肥植物发芽势(4 种)、发芽率(5 种)、根长(3 种)和苗高(9 种)具有促进作用, 150, 200 mmol/L 高盐胁迫对 14 种绿肥植物萌发和幼苗的生长均有不同程度的抑制作用, 对根的抑制大于苗。利用隶属函数对 14 种绿肥植物种子萌发期的耐盐性强弱进行了分析, 50 mmol/L 轻度耐盐的有画眉草、鼠茅草、紫花苜蓿等 9 种; 100 mmol/L 中度耐盐的有画眉草、小黑麦、萝卜等 5 种; 150 mmol/L 高耐盐植物有黑麦草、芜菁甘蓝、萝卜等 6 种; 200 mmol/L 重度耐盐的有小黑麦、黑麦草、芜菁甘蓝和菊苣 4 种。

关键词:绿肥植物; NaCl 胁迫; 萌发期; 评价; 筛选

中图分类号:S55 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2019)03-0098-08

土地盐碱化是影响生态环境和制约农业发展的全球性问题。我国各类盐碱地的总面积约为 0.99 亿 hm^2 , 约占国土面积的 1/3^[1], 主要分布在东北、华北、西北内陆地区以及长江以北沿海地带, 仅海涂面积就占海岸总面积的 17.35%, 已成为仅次于干旱的农业生产第二大非生物胁迫因素。随着灌溉农业的发展和化肥的不断使用, 次生盐碱地面积还在逐渐扩大^[2-4]。同时, 盐碱地具有光热资源丰富的自然禀赋, 有待开发利用。

绿肥是用绿色植物体直接翻压或者经堆沤后制成

的优质有机肥料^[4]。绿肥植物在盐碱地种植能有效利用盐碱地的光热和土地资源^[5], 替代部分化肥培肥土壤, 防止水土流失。我国绿肥资源丰富、分布广泛, 已发现 98 种适应不同耕作制度及自然条件的绿肥品种和种类, 其中栽培面积较大的有 6 科 20 属 32 种^[6]。

关于绿肥植物的耐盐性, 目前研究较少; 而萌发期的耐盐性高低直接决定了其在盐碱地能否顺利萌发。试验目的在于采用 NaCl 模拟盐胁迫的方法, 对 14 种绿肥植物的萌发特性进行研究, 探究耐盐评价方法, 并筛选耐盐绿肥植物, 从而为盐碱地绿色开发和水土保持提供适宜的绿肥种质资源。

收稿日期:2018-12-04; **修回日期:**2019-01-18

基金项目:山东省重点研发计划项目(2016CYJS05A02; 2017CXGC0308); 山东省研究生导师指导能力提升项目(SDY17083)资助

作者简介:潘香逾(1993-), 女, 山东济宁人, 在读硕士。

E-mail: 568947140@qq.com

赵岩为通讯作者。

E-mail: zhaoyan@sda.edu.cn

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试绿肥材料有 14 份, 除鼠茅草、小黑麦、紫花苜蓿、箭筈豌豆和光叶紫花苕为课题组培育和搜集外, 其他来源于北京正道生态科技有限公司, 其中品种名未标注的为野生资源(表1)。NaCl 由国药集团化学试

表 1 14 种绿肥植物
Table 1 14 green manure plants

种类	品种(系)	来源	种类	品种(系)	来源
小黑麦 <i>Triticum secale</i>	L20170839	山东农大	沙打旺 <i>Astragalus adsurgen</i>	—	正道
田菁 <i>Sesbania cnamabina</i>	—	正道	菊苣 <i>Cichorium intybus</i>	Endure	正道
紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	无棣苜蓿	山东无棣	黑麦草 <i>Lolium perenne</i>	多福	正道
光叶紫花苜蓿 <i>Vicia villosa</i>	—	山东农大	芜菁甘蓝 <i>Brassica napobrassica</i>	Coated	正道
画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	Bonus	正道	鸭茅 <i>Dactylis glomerata</i>	Bighorn	正道
萝卜 <i>Raphanus sativus</i>	Jackpot	正道	高羊茅 <i>Festuca arundinacea</i>	Teton 2	正道
箭筈豌豆 <i>Vicia sativa</i>	—	山东农大	鼠茅草 <i>Vulpia myuros</i>	—	山东农大

剂有限公司生产,分析纯。

1.2 研究方法

试验于 2018 年 4~6 月在山东农业大学资源与环境学院实验室进行。选取籽粒饱满的绿肥植物种子,利用智能型光照培养箱(GXZ-280B,宁波江南仪器厂)进行种子萌发试验,采用发芽盒(15 cm×11 cm)纸上发芽。用 NaCl 溶液模拟盐胁迫,设 50、100、150 和 200 mmol/L 4 个浓度,分别模拟低度、中度、高度和重度盐碱地。以蒸馏水作为对照,将绿肥种子均匀摆放在加有 15 mL 的 4 种 NaCl 溶液和蒸馏水的发芽盒中,3 次重复,每重复 50 粒。试验过程中用蒸馏水等

量补充其消耗的水分,保证 NaCl 溶液的浓度不变。培养条件为光照 16 h,25℃;黑暗 8 h,20℃。

1.3 调查及测定项目

发芽标准为胚根与种子等长,苗高为种子长的 1/2。根据牧草种子检验规程(GB/T-2930.4-2001)确定初、末次发芽数的计数时间(表 2)。根据统计的初、末次的发芽数,计算发芽势(GP)、发芽率(GR);末次计数的当天从各重复中随机挑取 10 株正常发芽的幼苗,测量根长(RL),即从种子胚到最长根根尖的长度,苗高(SH),即从种子胚到叶尖的长度,计算根长苗高比(RRS)。

表 2 14 种绿肥植物种子初末次计数时间
Table 2 The first and last counting time of 14 green manure plants seeds

种类	初次计数/d	末次计数/d	种类	初次计数/d	末次计数/d
小黑麦	4	8	沙打旺	4	14
田菁	5	7	菊苣	5	14
紫花苜蓿	4	10	黑麦草	5	14
光叶紫花苜蓿	5	10	芜菁甘蓝	5	14
画眉草	6	10	鸭茅	7	21
萝卜	4	10	高羊茅	7	21
箭筈豌豆	5	14	鼠茅草	7	21

1.4 计算方法

$$\text{发芽势}(\%) = (\text{初次计数发芽数}/50) \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{发芽率}(\%) = (\text{末次计数发芽数}/50) \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{根长苗高比} = \text{根长}/\text{苗高} \quad (3)$$

$$\text{耐盐系数} = \text{盐胁迫指标平均值}/\text{对照指标平均值} \quad (4)$$

计算相对发芽势(RGP)、相对发芽率(RGR)、相对根长(RRL)和相对苗高(RSH),各相对指标即为耐盐系数^[7-8]。

$$\text{相对发芽势} = \frac{\text{盐胁迫下发芽势}}{\text{对照处理下发芽势}} \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{相对发芽率} = \frac{\text{盐胁迫下发芽率}}{\text{对照处理下发芽率}} \times 100\% \quad (6)$$

$$\text{相对根长} = \frac{\text{盐胁迫下根长}}{\text{对照处理下根长}} \times 100\% \quad (7)$$

$$\text{相对苗高} = \frac{\text{盐胁迫下苗高}}{\text{对照处理下苗高}} \times 100\% \quad (8)$$

1.5 耐盐性综合评价方法

用加权隶属函数法对 14 种绿肥种子萌发期的耐

盐性进行综合评价^[7]。以供试材料的 RGP、RGR、RRL、RSH、RRRS 为依据,计算加权隶属函数值(D 值)^[9]。

$$\mu(X_i) = (X_i - X_{i_{\min}})(X_{i_{\max}} - X_{i_{\min}})$$

$$W_i = CV_{i0}(\sum_{ni=1} CV_i) - 1 \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

$$D = \sum_{ni=1} [\mu(X_i) \circ W_i] \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

式中: X_i 为各供试材料基于鉴定性状 i 的耐盐指数, $X_{i_{\max}}$ 、 $X_{i_{\min}}$ 分别为供试材料中耐盐指数 X_i 的最大值和最小值, $\mu(X_i)$ 为各供试材料 X_i 的隶属函数值, CV_i 为各供试材料 $\mu(X_i)$ 的变异系数, W_i 表示各鉴定指标的权重。

1.6 数据处理

利用 Excel 整理试验数据,SPSS Statistics 进行差异性分析($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 NaCl 胁迫下绿肥植物种子萌发特性

14 种绿肥植物种子经 NaCl 胁迫处理后,与对照相比,萌发和幼苗生长均受到不同程度的抑制。其中,苗高在 NaCl 浓度为 50 mmol/L 时上升 11.44%。不同盐浓度对各鉴定指标的抑制程度不同,低盐胁迫下受抑制最大的为根长,高盐胁迫下受抑制最大的为发芽势。从变异系数分析,随着 NaCl 浓度的升高,变异系数都呈不同程度的增加,说明随着盐浓度的增加,作物间的耐盐差异增大。

2.2 NaCl 胁迫对绿肥种子发芽势、发芽率的影响

发芽势可以表征种子萌发初期的发芽力,发芽势越大则种子生活力强,发芽整齐,出苗一致。在 NaCl 浓度为 50 mmol/L 时,高羊茅、芜菁甘蓝、鸭茅和小黑麦等 4 种作物的相对发芽势大于 100%,说明低浓度盐促进了他们的萌发。100 mmol/L 时,小黑麦的相对发芽势最大(103.25%)。150 mmol/L 时,除芜菁甘蓝、小黑麦和鸭茅的相对发芽势在 80% 以上,其他所有的绿肥植物种子的相对发芽率均显著下降。200 mmol/L,芜菁甘蓝和小黑麦的相对发芽势显著高于其他品种;其余品种的相对发芽势均下降到了 32% 之下,其中,沙打旺的相对发芽势为 0,在第 4 d 没有萌发(表 3)。

表 3 NaCl 胁迫处理下 14 种绿肥植物种子的相对发芽势

Table 3 Effects of NaCl stress on seed relative germination potential of 14 green manure plants

种类	相对发芽势/%			
	50 mmol · L ⁻¹	100 mmol · L ⁻¹	150 mmol · L ⁻¹	200 mmol · L ⁻¹
高羊茅	102.33 ± 6.34 ^a	40.82 ± 3.81 ^b	31.33 ± 7.68 ^b	31.44 ± 1.96 ^b
黑麦草	98.31 ± 5.76 ^a	67.72 ± 4.94 ^b	52.27 ± 3.29 ^c	2.86 ± 0.17 ^d
画眉草	99.19 ± 6.13 ^a	81.07 ± 10.85 ^b	26.95 ± 1.81 ^c	2.89 ± 0.13 ^d
菊苣	86.34 ± 11.93 ^a	58.41 ± 7.73 ^b	53.47 ± 7.99 ^b	4.63 ± 0.33 ^c
芜菁甘蓝	100.76 ± 3.58 ^a	97.69 ± 6.17 ^b	96.07 ± 3.62 ^c	81.86 ± 9.09 ^d
萝卜	74.57 ± 10.26 ^a	68.67 ± 7.16 ^a	38.89 ± 9.96 ^b	5.09 ± 0.08 ^c
鸭茅	104.82 ± 18.25 ^a	93.25 ± 17.67	80.31 ± 18.55 ^c	11.38 ± 1.01 ^d
田菁	85.04 ± 6.29 ^a	39.98 ± 1.32 ^b	17.52 ± 2.37 ^c	12.53 ± 4.45 ^c
沙打旺	71.27 ± 11.07 ^a	33.29 ± 2.02 ^b	12.53 ± 0.79 ^c	0 ± 0 ^d
鼠茅草	88.00 ± 4.67 ^a	65.38 ± 7.84 ^b	27.17 ± 3.31 ^c	15.31 ± 5.74 ^d
小黑麦	113.60 ± 6.00 ^a	103.25 ± 7.84 ^a	91.56 ± 6.17 ^b	80.47 ± 4.26
紫花苜蓿	77.78 ± 5.18 ^a	59.19 ± 2.06 ^b	39.42 ± 2.55 ^c	11.86 ± 0.55 ^d
箭筈豌豆	93.86 ± 8.56 ^a	68.23 ± 4.01 ^b	37.98 ± 5.44 ^c	9.16 ± 3.48 ^d
光叶紫花苕	93.29 ± 15.22 ^a	29.20 ± 10.10 ^b	19.63 ± 14.89 ^b	3.82 ± 0.32 ^c

注:同行不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$),下同

随着 NaCl 胁迫浓度的增加,14 种绿肥植物种子的相对发芽率均呈不断下降的趋势(表 4)。绿肥植物种子的相对发芽率在各 NaCl 浓度下均存在明显差异,在 NaCl 浓度为 50 mmol/L 时,画眉草、芜菁甘蓝、萝卜、鸭茅和小黑麦等的相对发芽率大于 100%,说明低浓度的盐分胁迫对其种子发芽具有促进作用。紫花苜蓿的相对发芽率最低(69.9%),其次,是沙打旺(77.54%)和田菁(79.48%),表明紫花苜蓿、沙打旺和

田菁对盐胁迫较敏感。当 NaCl 浓度为 100 mmol/L 时,有 3 种绿肥植物种子的相对发芽率大于 100%,说明 NaCl 浓度对这 3 种绿肥植物种子发芽仍有促进作用。NaCl 浓度升至 150 mmol/L 时,14 种绿肥植物的相对发芽率均小于 100%,即该胁迫浓度下所有参试绿肥植物种子萌发均表现为抑制。

在 NaCl 浓度为 200 mmol/L 时,除芜菁甘蓝,黑麦草和小黑麦的相对发芽率较高(大于 80%)之外,其

余 11 种绿肥植物种子的相对发芽率均显著降低,但均在 0 以上。

表 4 NaCl 胁迫处理下 14 种绿肥植物种子的相对发芽率

Table 4 Effects of NaCl stress on seed relative germination rates of 14 green manure plants

种类	相对发芽率/%			
	50 mmol · L ⁻¹	100 mmol · L ⁻¹	150 mmol · L ⁻¹	200 mmol · L ⁻¹
高羊茅	98.97±8.92 ^a	91.23±5.51 ^a	70.74±5.71 ^b	36.98±5.71 ^c
黑麦草	96.89±4.16 ^a	91.89±3.92 ^{ab}	88.49±4.00 ^{ab}	83.72±5.21 ^b
画眉草	114.79±23.55 ^a	108.47±22.42 ^a	60.64±13.69 ^b	45.16±9.57 ^b
菊苣	92.14±30.24 ^a	88.17±26.42 ^{ab}	58.84±11.97 ^{bc}	40.51±12.82 ^c
芜菁甘蓝	112.03±3.87 ^a	110.51±2.98 ^a	99.41±2.14 ^b	93.29±9.20 ^b
萝卜	109.91±5.86 ^a	84.52±10.01 ^b	77.99±5.21 ^b	30.78±5.10 ^c
鸭茅	106.22±5.05 ^a	79.55±7.41 ^b	75.58±0.60 ^b	12.36±8.51 ^c
田菁	79.48±3.90 ^a	73.98±6.09 ^a	59.79±3.10 ^b	33.63±1.25 ^c
沙打旺	77.54±6.88 ^a	66.11±0.96 ^b	49.21±3.64 ^c	46.83±2.75 ^c
鼠茅草	95.91±3.68 ^a	78.01±5.79 ^b	53.46±7.23 ^c	17.29±3.12 ^d
小黑麦	108.73±2.37 ^a	102.22±3.77 ^b	91.35±3.65 ^c	79.66±3.77 ^d
紫花苜蓿	69.09±7.63 ^a	65.00±8.39 ^a	50.95±3.91 ^b	22.19±3.02 ^c
箭筈豌豆	96.56±8.63 ^a	88.72±9.60 ^{ab}	80.94±6.58 ^{bc}	70.91±6.16 ^c
光叶紫花苕	90.24±6.59 ^a	81.64±2.95 ^{ab}	68.23±16.16 ^b	46.21±8.50 ^c

2.3 NaCl 胁迫对绿肥植物种子萌发期根长、苗高的影响

随着 NaCl 浓度的升高,大部分绿肥植物种子的根长均呈持续降低的趋势,但各作物间根长降低的程度不同(表 5)。当 NaCl 浓度为 50 mmol/L 时,紫花苜蓿、沙打旺和小黑麦等 3 种绿肥植物的相对根长大于 100%,即低胁迫水平促进其根的伸长。100 mmol/L 时,菊苣和萝卜的相对根长有所增长。200 mmol/L 时,小黑麦、画眉草和黑麦草的相对根长较大,均在 40%。其中,光叶紫花苕,鼠茅草和箭筈豌豆的相对根长在各 NaCl 浓度下均较低。

随着 NaCl 浓度的升高,大部分绿肥植物种子的苗高呈先升高后降低的趋势(表 6),不同绿肥植物的

相对苗高差异明显。当 NaCl 浓度为 50 mmol/L 时,芜菁甘蓝、菊苣、鸭茅、箭筈豌豆、沙打旺、紫花苜蓿、萝卜、光叶紫花苕和黑麦草等的相对苗高大于 100%,其中芜菁甘蓝的相对苗高最大,为 201.87%,其次,菊苣(182.84%)和鸭茅(155.28%)。100 mmol/L 时,芜菁甘蓝、菊苣、鸭茅、箭筈豌豆、画眉草、紫花苜蓿和萝卜的相对苗高大于 100%。150 mmol/L 时,芜菁甘蓝、箭筈豌豆和菊苣的相对苗高仍大于 100%,说明该胁迫浓度对这 3 种绿肥植物萌发期苗的伸长仍有促进作用。200 mmol/L 时,所有绿肥植物品种的相对苗高均小于 100%,其中,箭筈豌豆等 4 种绿肥植物的相对苗高较大(大于 70%),说明这 4 种绿肥植物萌发期的幼苗具有较强的耐盐性。

表 5 NaCl 胁迫处理下 14 种绿肥植物种子相对根长

Table 5 Effects of NaCl stress on seed relative root length of 14 green manure plants

种类	相对根长/%			
	50 mmol · L ⁻¹	100 mmol · L ⁻¹	150 mmol · L ⁻¹	200 mmol · L ⁻¹
高羊茅	74.05±5.20 ^a	63.78±5.04 ^b	49.80±4.86 ^c	37.04±5.80 ^d
黑麦草	92.31±7.62 ^a	81.15±11.28 ^{ab}	63.03±7.53 ^b	40.43±13.85 ^c
画眉草	95.33±6.11 ^a	103.74±8.56 ^a	43.18±9.64 ^b	42.59±10.15 ^b
菊苣	88.52±8.95 ^b	101.25±23.00 ^a	45.48±9.08 ^a	39.80±14.73 ^{bc}
芜菁甘蓝	85.27±8.26 ^a	79.05±4.78 ^a	71.70±30.13 ^a	32.01±6.88 ^b
萝卜	78.82±9.03 ^b	103.51±2.76 ^a	74.56±8.21 ^b	37.45±3.42 ^c
鸭茅	74.15±7.74 ^a	46.52±5.03 ^b	44.86±2.22 ^b	10.49±1.84 ^c
田菁	91.63±22.40 ^a	85.61±29.40 ^a	41.76±7.36 ^b	34.78±11.19 ^b

沙打旺	131.71±22.94 ^a	76.72±2.86 ^b	45.78±4.15 ^c	30.90±5.64 ^e
鼠茅草	96.32±20.74 ^a	59.62±13.66 ^b	33.89±12.15 ^{bc}	8.24±3.66 ^d
小黑麦	126.64±23.30 ^a	71.62±4.16 ^b	50.61±3.74 ^{bc}	45.63±2.45 ^e
紫花苜蓿	159.17±4.69 ^a	82.34±8.10 ^b	62.79±4.90 ^c	25.42±2.78 ^d
箭筈豌豆	65.26±7.51 ^a	57.61±17.76 ^a	19.84±7.00 ^b	9.62±1.18 ^b
光叶紫花苕	95.28±26.14 ^a	60.91±13.21 ^b	18.60±0.85 ^c	7.92±1.55 ^e

表 6 NaCl 胁迫处理下 14 种绿肥植物种子的相对苗高
Table 6 Effects of NaCl stress on seed relative shoot height of 14 green manure plants

种类	相对苗高%			
	50 mmol · L ⁻¹	100 mmol · L ⁻¹	150 mmol · L ⁻¹	200 mmol · L ⁻¹
高羊茅	95.414±3.00 ^a	96.91±2.42 ^a	66.91±3.77 ^b	49.80±2.32 ^c
黑麦草	107.59±10.97 ^a	94.39±6.85 ^{ab}	78.92±10.55 ^{bc}	77.58±20.72 ^c
画眉草	95.67±4.92 ^b	114.14±2.58 ^a	83.70±12.74 ^{bc}	74.85±6.48 ^c
菊苣	182.84±19.15 ^a	140.27±11.82 ^b	102.26±11.81 ^c	44.12±5.10 ^d
芜菁甘蓝	201.87±2.70 ^a	156.76±22.42 ^b	124.64±13.34 ^b	73.96±9.02 ^c
萝卜	113.65±8.22 ^a	105.44±8.41 ^a	60.79±5.18 ^b	41.74±8.34 ^c
鸭茅	155.28±7.84 ^a	128.46±9.09 ^b	90.96±2.91 ^c	31.74±4.74 ^d
田菁	78.84±11.24 ^a	89.19±8.30 ^a	55.26±1.07 ^b	49.95±4.21 ^b
沙打旺	136.05±27.98 ^a	91.71±12.20 ^b	74.85±15.97 ^{bc}	49.49±14.90 ^c
鼠茅草	86.29±10.57 ^a	83.08±7.08 ^a	57.29±1.98 ^b	29.13±0.73 ^c
小黑麦	83.88±9.01 ^a	85.80±7.98 ^a	44.69±1.92 ^b	27.57±0.52 ^c
紫花苜蓿	127.84±19.14 ^a	107.52±15.36 ^a	76.57±6.84 ^b	61.00±13.15 ^b
箭筈豌豆	138.76±11.43 ^a	120.22±16.23 ^{ab}	109.71±6.64 ^b	80.68±6.25 ^c
光叶紫花苕	110.59±11.88 ^a	70.14±1.44 ^b	39.56±9.19 ^c	25.01±8.75 ^c

2.4 绿肥植物萌发期耐盐性综合评价

种子萌发期耐盐性的强弱是受多因素综合作用的结果,因此,需要多项指标进行综合评价,以提高植物耐盐性评价的准确性和可靠性。采用加权隶属函数法,对供试的 14 种绿肥植物在 4 个盐胁迫浓度(50、100、150、200 mmol/L)下的相对发芽势、相对发芽率、相对根长、相对苗高 4 项指标进行耐盐隶属数值计算,得到 14 种绿肥植物 4 个浓度下耐盐性的综合评价价值(表 7)。14 种绿肥植物 4 个盐胁迫浓度下耐盐性的综合评价价值差异较大,综合评价价值越大,

表明其耐盐能力越强。将各浓度下综合评价价值大于 0.5 的绿肥植物归为该盐浓度模拟盐碱程度的推荐植物。轻度盐碱地(50 mmol/L)绿肥植物有 9 种,画眉草、鼠茅草、紫花苜蓿、田菁、光叶紫花苕、黑麦草、高羊茅、萝卜和小黑麦。中度盐碱地(100 mmol/L)绿肥植物有 5 种,画眉草、小黑麦、萝卜、菊苣和沙打旺。高度盐碱地(150 mmol/L)绿肥植物有 6 种,黑麦草、芜菁甘蓝、萝卜、小黑麦、鸭茅和菊苣。重度盐碱地(200 mmol/L)绿肥植物有 4 种,小黑麦、黑麦草、芜菁甘蓝和菊苣。

表 7 不同 NaCl 浓度下 14 种绿肥植物耐盐性的综合评价

Table 7 Comprehensive evaluation of salt tolerance of 14 green manure plants under different NaCl concentrations

综合评价							
50 mmol · L ⁻¹		100 mmol · L ⁻¹		150 mmol · L ⁻¹		200 mmol · L ⁻¹	
品种	D 值	品种	D 值	品种	D 值	品种	D 值
画眉草	0.79	画眉草	0.64	黑麦草	0.73	小黑麦	0.86
鼠茅草	0.78	小黑麦	0.64	芜菁甘蓝	0.70	黑麦草	0.71
紫花苜蓿	0.74	萝卜	0.63	萝卜	0.69	芜菁甘蓝	0.69
田菁	0.73	菊苣	0.52	小黑麦	0.66	菊苣	0.52
光叶紫花苕	0.71	沙打旺	0.52	鸭茅	0.54	画眉草	0.48

黑麦草	0.64	芜菁甘蓝	0.48	菊苣	0.52	萝卜	0.43
高羊茅	0.62	黑麦草	0.43	高羊茅	0.48	高羊茅	0.41
萝卜	0.55	田菁	0.36	田菁	0.34	田菁	0.39
小黑麦	0.51	鼠茅草	0.35	画眉草	0.33	箭筈豌豆	0.30
鸭茅	0.45	箭筈豌豆	0.34	箭筈豌豆	0.29	沙打旺	0.26
箭筈豌豆	0.42	高羊茅	0.34	鼠茅草	0.28	紫花苜蓿	0.24
芜菁甘蓝	0.37	紫花苜蓿	0.33	紫花苜蓿	0.27	光叶紫花苜蓿	0.14
沙打旺	0.32	鸭茅	0.31	沙打旺	0.22	鼠茅草	0.13
菊苣	0.30	光叶紫花苜蓿	0.21	光叶紫花苜蓿	0.14	鸭茅	0.09

3 讨论

3.1 NaCl 胁迫下 14 种绿肥植物种子萌发特性

种子萌发期和幼苗期是植物生长周期中最脆弱但十分重要的时期,为评价耐盐性强弱的关键时期^[9-10]。研究发现低浓度的 NaCl(50 mmol/L)对某些绿肥植物种子的发芽势(4 种)或发芽率(5 种)会有促进作用,高浓度的 NaCl(≥ 150 mmol/L)会抑制绿肥植物种子的萌发,抑制程度随胁迫浓度的增加而增加,这与研究者对盐胁迫下苜蓿萌发期的研究观点一致^[11-13]。刘欣对高羊茅萌发期耐盐性研究中得到了同一浓度下不同绿肥植物种子的发芽势具有显著性差异。研究表明,发芽率和发芽势与萌发期的耐盐性最为相关,发芽率比发芽势表现更为稳定,是判定种子萌发期间耐盐强弱的重要指标^[17-19],这为筛选耐盐资源从理论上提供了依据。

3.2 NaCl 胁迫下 14 种绿肥植物幼苗生长特性

幼苗的根长和苗高能反映幼苗的生长情况,可作为绿肥植物耐盐能力评价指标^[12,14]。研究发现,低浓度 NaCl 胁迫会促进部分绿肥植物根(3 种)和苗(9 种)的生长,但随着 NaCl 浓度的升高,各绿肥植物根和苗的生长均受到不同程度的抑制,这与刘香军等^[15]对苜蓿耐盐性的研究结果一致。结果表明,盐胁迫对各绿肥植物根和苗生长的影响有差异,整体分析盐胁迫对根生长的抑制大于苗,而且随 NaCl 胁迫浓度的升高,耐盐性较弱的绿肥植物根长降幅更大,而苗高的降幅则无明显差异,前人对苜蓿和扁蓿豆的研究也符合这一观点^[8,14],这也说明了根系在耐盐研究中的重要性。

3.3 14 种绿肥植物萌发期耐盐性综合评价

前人对植物萌发期的耐盐性研究中,常使用发芽势或发芽率的耐盐临界值来判断植物萌发期的耐盐性,但单一指标并不能全面准确地表示作物的耐盐性^[20-21],根和苗的长度能直接反应幼苗的生长状况,荷载着植物萌发期耐盐性的大量信息^[22]。研究采用发芽势、发芽率、根长和苗高 4 项指标,计算出各鉴定指标的耐盐系数,并进行差异性分析,结果表明,不同绿肥作物各鉴定指标的耐盐系数存在显著差异($P < 0.05$),进一步说明各鉴定指标对耐盐性的贡献并不是

均等的,故不能用单一鉴定指标或单一鉴定指标的耐盐系数来表示作物品种的耐盐性强弱。

加权隶属函数值法可以确定各鉴定指标的变异系数及权重,与单一指标相比,更能全面、准确地评价种质的耐盐性^[7,14,16]。试验通过对 4 个鉴定指标以及其耐盐系数的隶属函数值进行加权分析,得到加权隶属函数值(D 值),根据 D 值的大小确定各绿肥植物的耐盐性强弱。将各浓度下综合评价大于 0.5 的绿肥植物归为该盐浓度模拟盐碱程度的推荐植物,可为不同程度盐碱地开发中选用绿肥植物提供参考。

4 结论

50 mmol/L 低盐胁迫对多数绿肥植物种子的萌发和幼苗生长有一定的促进作用, ≥ 150 mmol/L 高盐胁迫对 14 种绿肥植物的萌发和幼苗的生长均有抑制作用;盐胁迫对根的抑制大于苗。

根据加权隶属函数法可以综合评价绿肥植物萌发期的耐盐性,根据加权隶属函数值对参试绿肥植物进行了综合评价。推荐轻度盐碱地种植画眉草、鼠茅草、紫花苜蓿等 9 种绿肥植物;中度盐碱地推荐种植画眉草、小黑麦、萝卜等 5 种绿肥植物;高度盐碱地推荐种植黑麦草、芜菁甘蓝、萝卜等 6 种绿肥植物;重度盐碱地推荐种植小黑麦、黑麦草、芜菁甘蓝和菊苣 4 种绿肥植物。

参考文献:

- [1] 赵可夫. 植物抗盐生理[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993:24-27,230-231.
- [2] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培, 等. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993:250-252.
- [3] 刘晓忠, 王志霞, 李建坤. 低盐锻炼提高水稻幼苗耐盐性及其与活性氧毒害的关系[J]. 中国水稻科学, 1997, 11

- (1);33-38.
- [4] 焦彬. 中国绿肥[M]. 北京:农业出版社,1986.
- [5] 曹卫东,黄鸿翔. 关于我国恢复和发展绿肥若干问题的思考[J]. 中国土壤与肥料,2009(4):1-3.
- [6] 冯海萍,张丽娟,曲继松,等. 绿肥与化肥配施对日光温室土壤养分,微生物及芹菜产量的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2015,20(2):66-70.
- [7] 陈新,吴斌,张宗文. 燕麦种质资源重要农艺性状适应性和稳定性评价[J]. 植物遗传资源学报,2016(4):577-585.
- [8] 张寒,潘香逾,王秀华,等. 苜蓿萌发期耐盐性综合评价与耐盐种质筛选[J]. 草地学报,2018,26(3):666-672.
- [9] 温刘君,朴顺姬,易津. 4种小麦族牧草种子耐盐补偿生长特性研究[J]. 中国草地学报,2009,31(6):30-38.
- [10] 姚佳,刘信宝,郭米山,等. 不同浓度 NaCl 胁迫对扁蓿豆苗期生长及生理指标的影响[J]. 草地学报,2014,22(3):564-571.
- [11] 陈小芳,于德花,宁凯,等. 盐胁迫下苜蓿种质资源萌发特性综合评价[J]. 草地学报,2017,25(5):1115-1125.
- [12] 李长鼎,谢应忠. 高羊茅抗量力性研究进展[J]. 农业科学研究,2007(1):61-64.
- [13] 秦峰梅,张红香,武祎,等. 盐胁迫对黄花苜蓿发芽及幼苗生长的影响[J]. 草业学报,2010,19(4):71-78.
- [14] 于洁,闫利军,冀晓婷,等. 苜蓿和扁蓿豆萌发期耐盐指标筛选及耐盐性综合评价[J]. 植物遗传资源学报,2017,18(3):449-460.
- [15] 刘香军,李国良,迟文峰,等. 紫花苜蓿耐盐生理的初步研究[J]. 现代农业科技,2006(12):6-7.
- [16] 张智猛,慈敦伟,丁红,等. 花生品种耐盐性指标筛选与综合评价[J]. 应用生态学报,2013,23(12):3487-3494.
- [17] 任丽彤,孔广超,邵红雨,等. 小黑麦萌发期耐盐性评价[J]. 麦类作物学报,2012,32(5):926-931.
- [18] 魏秀君,殷云龙,芦治国,等. NaCl 胁迫对 5 种绿化植物幼苗生长和生理指标的影响及耐盐性综合评价[J]. 植物资源与环境学报,2011,20(2):35-42.
- [19] 郇树乾. 热带牧草种子萌发期及幼苗期耐盐性研究[D]. 广州:华南热带农业大学,2005.
- [20] 王萌萌,姜奇彦,胡正,等. 小麦品种资源耐盐性鉴定[J]. 植物遗传资源学报,2012,13(2):189-194.
- [21] 姜奇彦,胡正,张辉,等. 大豆种质资源耐盐性鉴定与研究[J]. 植物遗传资源学报,2012,13(5):726-732.
- [22] 陈新,张宗文,吴斌. 裸燕麦萌发期耐盐性综合评价与耐盐种质筛选[J]. 中国农业科学,2014,47(10):2038-2046.

Germination characteristics and evaluation of 14 green manure plants under salt stress

PAN Xiang-yu^{1,2}, LI Yu-ting², LIU Li-jun³, DONG Xiang-yu²,
ZHANG Xin-feng², WANG Xiu-hua^{1,2}, ZHAO Yan^{1,2}

(1. College of Agriculture, Shandong Agricultural University/State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an 271018, China; 2. College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China; 3. Shandong Wudi Golden Land Development and Construction Co. Ltd., Wudi 251900, China)

Abstract: The germination characteristics salt tolerance of 14 species of green manure plants under different salt stress (50, 100, 150 and 200 mmol/L, NaCl) were comprehensively evaluated based on germination potential, germination rate, root length and shoot height. The weighted membership function method was used to evaluate the salt tolerance. The results showed that the variation coefficients of germination potential, germination rate, root length and shoot height of 14 species increased at different degrees with the increase of NaCl concentration. Low salt stress (50 mmol/L) promoted the germination potential (4 species), germination percentage (5 species), root length (3 species) and shoot height (9 species). High salt stress (≥ 150 mmol/L) inhibited the germination and seedling growth of 14 species in varying degrees, while the inhibition of root length was

higher than that of shoot height. According to the comprehensive evaluation, 9 species were suitable for mild saline-alkali land (50 mmol/L), including *Eragrostis pilosa*, *Vulpia myuros* and *Medicago sativa*. 5 species were suitable for moderate saline-alkali land (100 mmol/L), including *Eragrostis pilosa*, *Triticum secale* and *Raphanus sativus*. 6 species were suitable for high saline-alkali land (150 mmol/L), including *Lolium perenne*, *Brassica napobrassica* and *Raphanus sativus*. 4 species were suitable for severe saline-alkali land (200 mmol/L), including *Triticum secale*, *Lolium perenne*, *Brassica napobrassica* and *Cichorium intybus*.

Key words: green manure plant; NaCl stress; germination stage; evaluation; screening

本 刊 声 明

近期,有单位和读者向本刊反映,有中介机构或网站宣称代理《草原与草坪》征集稿件,并向投稿者收取费用,承诺可以在本刊发表文章,此举已对本刊声誉造成不良影响。对此,本刊声明如下:

1.《草原与草坪》从未设立其他采编点或分支机构,也从未委托任何单位或个人编辑出版《草原与草坪》期刊。

2.《草原与草坪》办公地点为甘肃省兰州市安宁区营门村 1 号,甘肃农业大学。邮箱 cyycp@gsau.edu.cn, 联系电话 0931-7631885。

3.发至《草原与草坪》编辑部邮箱的稿件视为正式投稿,不接受其他形式的投稿,本刊编辑部是通过邮件形式通知作者交纳稿件审稿费和版面费。

敬请广大作者和读者注意,谨防上当受骗。同时,本刊将依法追究侵权者的法律责任。

特此声明

《草原与草坪》编辑部