



栽培大豆与野生大豆杂交饲用大豆品种(系)萌发期和苗期耐盐性比较

杜雨芊^{1,2}, 王明玖^{1,2}, 索荣臻^{1,2}, 李舒宁^{1,2}, 刘嘉伟^{1,2}, 曹克璠^{1,2}, 艾琳³

(1. 内蒙古农业大学 草原与资源环境学院/草地资源教育部重点实验室, 内蒙古 呼和浩特 010021; 2. 内蒙古农业大学 农业部饲草栽培、加工与高效利用重点实验室, 内蒙古 呼和浩特 010021; 3. 中国畜牧业协会, 北京 100044)

摘要:为比较不同饲用大豆萌发期和苗期的耐盐性差异,筛选耐盐性较强的饲用大豆种质,本研究以野生大豆与栽培大豆的杂交后代为试验材料,以其父本作为对照材料,探究杂交后代在耐盐性方面与父本的差异。杂交后代编号为品系 500、3-2-1 棕黑、8-4-1 棕、27-2-1 和 8-3 黑绿;品种材料为 S001 草实兼用杂交野大豆(简称 S001);对照材料为父本野生大豆。分别观测不同浓度 NaCl(50,100,150 和 200 mmol·L⁻¹)处理对 7 个材料种子萌发和幼苗生长的影响。结果表明:随着 NaCl 浓度不断升高,不同材料种子的发芽率、发芽势、发芽指数、发芽活力和芽长均呈现下降趋势,各材料之间存在差异;随着盐胁迫强度的加大,苗期饲用大豆的超氧化物酶(SOD)活性、过氧化物歧化酶(POD)活性、可溶性糖(SS)和丙二醛(MDA)含量均升高,不同材料各抗盐生理指标的升降幅度不同。对萌发期与苗期盐胁迫下的所有指标进行主成分分析和隶属函数综合比较,得出 7 个材料萌发期与苗期耐盐性的排序为 S001 > 野生大豆 > 8-3 黑绿 > 8-4-1 棕 > 品系 500 > 3-2-1 棕黑 > 27-2-1。在盐胁迫下,S001 的耐盐性超过其父本野生大豆,S001 可用于进一步研究野生大豆改良栽培大豆耐盐性的分子遗传机制和耐盐栽培大豆新品种选育的优良大豆种质材料。

关键词:饲用大豆;萌发期;苗期;耐盐性;隶属函数

Comparison of Salt Tolerance of Forage Soybean Varieties(Lines) Hybridized by Cultivated Soybean and Wild Soybean at Germination and Seedling Stages

DU Yu-qian^{1,2}, WANG Ming-jiu^{1,2}, SUO Rong-zhen^{1,2}, LI Shu-ning^{1,2}, LIU Jia-wei^{1,2}, CAO Ke-fan^{1,2}, AI Lin³

(1. College of Grassland and Resources and Environment, Inner Mongolia Agricultural University/Key Laboratory of Grassland Resources, Ministry of Education, Hohhot 010021, China; 2. Key Laboratory of Forage Cultivation, Processing and Efficient Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010021, China; 3. China Animal Agriculture Association, Beijing 100044, China)

Abstract: In order to compare the salt tolerance of different forage soybeans at germination stage and seedling stage, and find higher salt tolerance of forage soybean germplasm, the hybrid offspring of wild soybean and cultivated soybean were used as experimental materials, and the male parent was used as control material to explore the difference of salt tolerance between hybrid offspring and male parent. Hybrids numbered Line 500, 3-2-1 brown-black, 8-4-1 brown, 27-2-1 and 8-3 black-green. The variety material was forage soybean S001 (referred to as S001) and the control material was male wild soybean. The effects of different concentrations of NaCl (50,100,150 and 200 mmol·L⁻¹) on seed germination and seedling growth of seven materials were observed. The results showed that with the increase of NaCl concentration, the germination rate, germination potential, germination index, germination vigor and germination length of seeds of different materials showed a downward trend, and there were differences among materials. With the increase of salt stress intensity, superoxide dismutase (SOD) activity, peroxidase (POD) activity, soluble sugar (SS) and malondialdehyde (MDA) content of feed soybean at seedling stage increased, and the fluctuation ranges of salt resistance physiological indexes of different materials were different. The comprehensive comparison of principal component analysis and membership function of all indexes measured under salt stress at germination stage and seedling stage of all materials showed that the order of salt tolerance of seven materials at germination stage and seedling stage was S001 > wild soybean > 8-3 black green > 8-4-1 brown > Line 500 > 3-2-1 brown black > 27-2-1. Under salt stress, the salt tolerance of S001 was higher than that of its parent wild soybean. S001 can be used for further study on the molecular genetic mechanism of salt tolerance of cultivated soybean improved by wild soybean and used as a excellent soybean germplasm material for breeding new varieties of salt-tolerant cultivated soybean.

Keywords: forage soybean; germination period; seedling stage; salt tolerance; membership function

土壤盐渍化是影响饲草产量和品质的重要非生物因子^[1]。随着全球气候暖化的日益加剧,土壤盐渍化问题已引起全世界更多的关注。全球约有 7% 的土地受到盐渍化的威胁,而且这个数字还在上

升^[2]。我国作为土壤盐渍化比较严重的国家,盐渍化土壤面积大、分布广,对区域农牧业发展构成严重威胁^[3]。饲用大豆具有一定的固氮能力,能够为下茬作物提供氮素营养,是较好的养地作物。大豆

收稿日期:2021-12-23

基金项目:内蒙古农业大学动植物新品种选育专项(YZGC2017010)。

第一作者:杜雨芊(1996—),女,硕士研究生,主要从事牧草种质资源研究与创新研究。E-mail:1160996274@qq.com。

通讯作者:王明玖(1961—),男,博士,教授,博导,主要从事草地资源管理和草地生态学研究。E-mail:wangmj_0540@163.com。

属中度耐盐碱作物,当土壤盐度值超过 5 ds·m⁻¹ 时,将导致其严重减产^[4]。野生大豆是我国重要的野生牧草资源,是栽培大豆的近缘野生种^[5]。其具有高蛋白、低脂肪、多节多荚和综合抗逆性强等特点,是重要的饲用大豆种质资源^[6]。利用野生大豆的优良耐盐性,选育高抗盐性饲用大豆品种是发挥盐渍土效益的有效方法之一^[7]。

大豆在不同物候期对盐胁迫的敏感程度不同。萌发期是大豆生长周期的关键时期,只有盐胁迫下的高发芽率才能保证存苗率和再生产。有研究发现,大豆苗期是盐敏感时期,盛花期(R2期)和结荚期(R4期)对盐胁迫的耐受能力上升^[8]。通常对大豆品种的耐盐性鉴定采用芽期与苗期的室内鉴定法,早期鉴定既方便又快捷,能有效缩短鉴定周期,在这两个时期对大豆进行综合耐盐鉴定能较好地体现大豆的真实耐盐水平^[9]。盐胁迫下的种子发芽率是衡量种子萌发期耐盐性的重要指标^[10]。同时,可溶性糖(SS)、丙二醛(MDA)、超氧化物酶(SOD)和过氧化物歧化酶(POD)活性等与植株耐盐性相关^[11]。因而可通过这些生理指标来鉴定饲

用大豆植株的耐盐性。为深入研究利用野生大豆改良栽培大豆耐盐性的效果,本研究选用内蒙古农业大学牧草育种团队培育出的、在饲草产量及营养品质方面表现较优且性状稳定的6个饲用大豆品种(系)及其父本野生大豆为材料,进行萌发期和苗期耐盐性鉴定,并与其父本野生大豆进行比较,探究其后代与父本之前耐盐性的差异。利用隶属函数法对供试材料的耐盐性进行评价,旨在鉴定栽培大豆与野生大豆杂交饲用大豆的耐盐性,为其耐盐机理研究和耐盐育种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为内蒙古通辽地区草甸同株原生野生大豆及其与当地栽培大豆大白眉进行人工杂交后所形成的稳定杂交后代。其中,S001草实兼用杂交野大豆为内蒙古登记育成品种,简称S001,其余供试材料编号分别为野生大豆、品系500、3-2-1棕黑、8-4-1棕、27-2-1和8-3黑绿。以上种子材料均由内蒙古农业大学牧草育种团队提供(表1)。

表 1 参试大豆材料的基本特征
Table 1 Basic characteristics of the tested soybean materials

材料 Material	结荚习性 Podding habit	生长习性 Growth habit	种皮色 Seed coat colour
S001	亚有限	半直立	深绿色
品系 500 Line 500	有限	直立	黄色
3-2-1 棕黑 3-2-1 brown-black	无限	半直立	棕黑色
8-4-1 棕 8-4-1 brown	无限	半直立	红棕色
27-2-1 27-2-1	无限	半直立	绿色
8-3 黑绿 8-3 black-green	无限	半直立	黑绿色
野生大豆 Wild soybean	无限	蔓生	黑色

1.2 试验设计

1.2.1 饲用大豆种子萌发期盐胁迫处理 挑选形状大小一致的饱满未破碎种子,清水去除表面灰尘与杂质。用 0.1% NaClO 溶液进行消毒,蒸馏水清洗 3 次,蒸馏水中浸泡 2 h。因野生大豆的种子硬实率较高,试验前将其种皮用砂纸处理,用 0.1% NaClO 溶液消毒,然后清水浸泡 12 h。种子洗净后置于铺 2 层滤纸的培养皿(直径 12 cm)中。配制 NaCl 胁迫溶液(50,100,150,200 mmol·L⁻¹),每皿摆满 40 粒饱满种子,分别加入等量处理液至饱和。每个浓度均设 3 次重复,蒸馏水处理作为对照,置于

人工气候箱中,20℃/25℃(11 h 黑暗/13 h 光照)培养。3 d 后更换新的培养皿,且保证盐溶液充足稳定。每天统计发芽数(以胚根突出 2 mm 作为发芽标准)至第 7 天发芽结束时为止。每次重复分别测量 10 次胚根的长度,并计算发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数。

1.2.2 饲用大豆苗期盐胁迫处理 以处于两叶一心期的饲用大豆幼苗为试验材料,分别施加不同浓度的 NaCl 盐溶液(50,100,150,200 mmol·L⁻¹)进行胁迫处理,以蒸馏水处理作为对照,3 次重复。处理 10 d 后,取每组处理的三出复叶,测定生理指标。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 发芽指标测定 发芽率($GP/\%$) = 每天统计发芽种子数/供试种子数 $\times 100$ 。

发芽势($GV/\%$) = 3 d 发芽种子数/供试种子数 $\times 100$ 。

发芽指数(GI) = $\sum (Gt/Dt)$ (Gt 指在时间 t 日内的发芽数, Dt 为相应的发芽天数)。

活力指数(VI) = $S \times GI$ (GI : 发芽指数, S : 种苗生长量)。

1.3.2 苗期生理指标测定 分别采用愈创木酚显色法测定 POD 活性^[12]、NBT 光化还原法测定 SOD 活性^[12]、蒽酮比色法测定可溶性糖 (SS) 含量^[12] 和硫代巴比妥酸比色法测定 MDA 含量^[12]。

1.3.3 综合指数计算 利用隶属函数法对不同饲用大豆萌发期和苗期, 在不同 NaCl 浓度处理下的各项发芽指标和生理指标进行综合评价, 以综合评价指数 D 值为依据进行排序, D 值越大代表综合性状越好。隶属函数、权重及 D 值的计算公式如下:

正向隶数函数值^[12]: $U(x_i) = \frac{(x_i - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})}$, $i = 1, 2, \dots, n$ 。

负向隶数函数值^[12]: $U(x_i) = 1 - \frac{(x_i - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})}$, $i = 1, 2, \dots, n$ 。

x_i 为第 i 个指标值; x_{\min} 为某品种 (系) 第 i 个综合指标的最小值; x_{\max} 为第 i 个综合指标的最大值; $U(x_i)$ 为第 i 个综合指标的隶属函数值。

权重^[13]: $W_i = P_i / \sum_{i=1}^n |P_i|, i = 1, 2, \dots, n$ 。

其中, W_i 代表第 i 个综合指标在所有综合指标中的重要程度即权重; P_i 表示第 i 个综合指标的贡献率。

综合评价指数 D 值^[14]: $D = \sum_{i=1}^n [U(x_i) \times W_i], i = 1, 2, \dots, n$ 。

1.4 数据分析

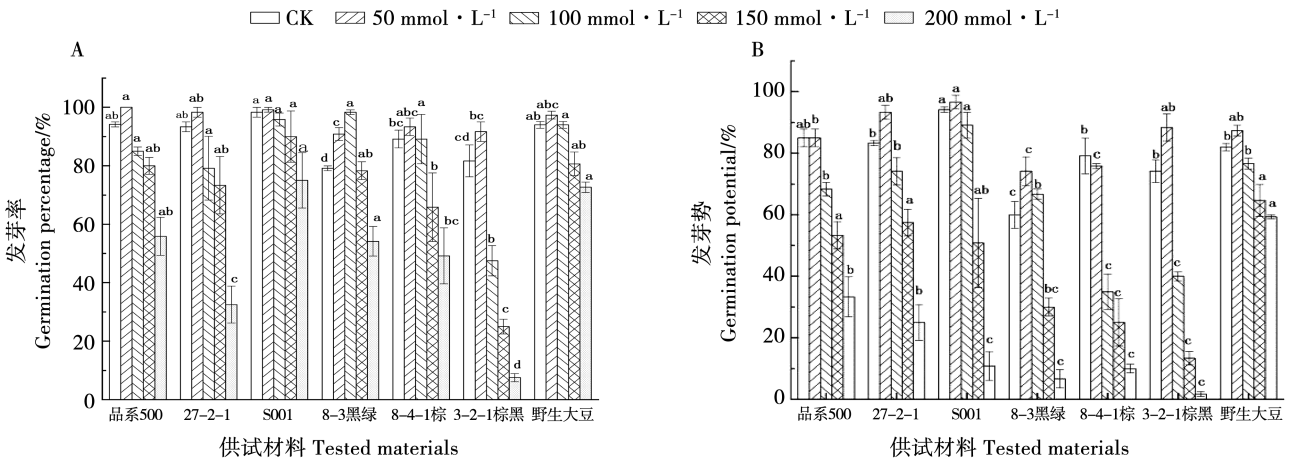
利用 Excel 2013 和 SPSS 21.0 软件进行单因素方差分析、主成分分析和隶属函数分析。利用 Origin 2019 完成绘图。

2 结果与分析

2.1 不同浓度 NaCl 对饲用大豆种子萌发的影响

2.1.1 发芽率和发芽势 如图 1A 所示, 随着 NaCl 浓度的升高, 供试材料的发芽率呈现先上升再下降趋势, 盐浓度越高, 种子的萌发越容易受到抑制, 且不同材料间存在差异。在 $200 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 处理下, 种子的萌发受到严重抑制, 其中 S001 的发芽率最高, 为 75%; 3-2-1 棕黑的发芽率最低, 仅为 7.5%, 杂交后代与其父本相比较, 除 S001 比其发芽率高外, 其余品系发芽率均低于野生大豆, 且 3-2-1 棕黑、8-4-1 棕和 27-2-1 均显著低于野生大豆 ($P < 0.05$)。

如图 1B 所示, 发芽势则表现出与发芽率相似的规律, 在 $200 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 处理下, 各材料发芽势较蒸馏水处理下降最多, 最高的为野生大豆, 最低的为 3-2-1 棕黑, 杂交后代与野生大豆相比较, 其发芽势均显著低于野生大豆 ($P < 0.05$)。



注: 不同小写字母表示同一盐浓度处理不同材料间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。
Note: Different lowercase letters indicate significant differences between different materials for the same concentration salt treatment ($P < 0.05$). The same below.

图1 不同浓度 NaCl 对饲用大豆发芽率 (A) 和发芽势 (B) 的影响
Fig.1 Effects of different concentration NaCl on the germination rate (A) and germination potential (B) of forage soybean

2.1.2 活力指数和发芽指数 如图2A所示,随着NaCl浓度的升高,供试材料的活力指数呈现下降趋势,且不同材料间存在差异。在200 mmol·L⁻¹NaCl处理下,种子活力指数较蒸馏水处理下降最多,野生大豆的活力指数最高,最低的为3-4-1棕,杂交后代与其父本相比较,杂交后代的活力指数均低于野生大豆,且8-4-1棕、8-3黑绿、3-2-1棕黑和27-2-1均显著低于野生大豆($P<0.05$)。

如图2B所示,在发芽指数方面,随着盐浓度的升高,发芽指数呈现出了下降趋势,在200 mmol·L⁻¹NaCl处理下,发芽指数最高的为野生大豆,最低的为3-2-1棕黑,杂交后代与野生大豆相比较,其发芽势均显著低于野生大豆($P<0.05$)。

2.1.3 饲用大豆的芽长 不同浓度盐胁迫下,供试材料的芽长随盐浓度的升高而降低;同一胁迫处理下,不同饲用大豆间存在差异。从100 mmol·L⁻¹

NaCl处理开始,各饲用大豆芽的生长受到了强烈抑制。随着盐浓度的升高,S001的芽长始终高于其他供试材料。在50 mmol·L⁻¹NaCl处理下,芽长最短的是品系500,其余杂交后代均高于野生大豆。在100和150 mmol·L⁻¹NaCl处理下,芽长最短的为野生大豆。在200 mmol·L⁻¹NaCl处理下,芽长最短的为3-2-1棕黑,500、27-2-1和S001均高于野生大豆,其余材料均低于野生大豆(表2)。

2.2 供试材料苗期对盐胁迫的响应

2.2.1 SOD和POD活性 如图3A所示,随着盐浓度的不断升高,各材料植株的SOD活性均出现了不同程度的上升,且野生大豆始终高于其他材料。200 mmol·L⁻¹NaCl时,7个材料的SOD活性要远高于蒸馏水处理,野生大豆的SOD活性最高,且与野生大豆相比较,品系500、S001、3-2-1棕黑、27-2-1和8-3黑绿的SOD活性均显著低于野生大豆($P<0.05$)。

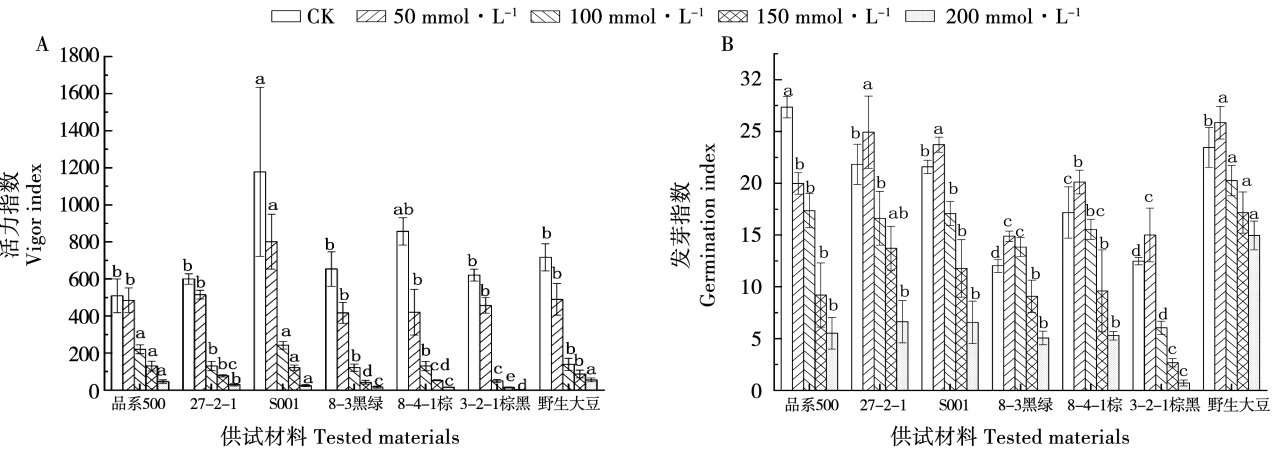


图2 不同浓度NaCl对饲用大豆活力指数(A)和发芽(B)指数影响

Fig.2 Effect of different concentration NaCl on vigor index(A) and germination index (B) of forage soybean

表2 不同浓度NaCl对饲用大豆芽长的影响

Table 2 Effect of different concentration NaCl on the length of forage soybean sprouts

材料 Material	NaCl 浓度 NaCl concentration				
	CK	50 mmol·L ⁻¹	100 mmol·L ⁻¹	150 mmol·L ⁻¹	200 mmol·L ⁻¹
品系 500	8.18 ± 1.48 c	6.50 ± 0.89 c	4.00 ± 0.44 a	2.66 ± 0.53 a	1.75 ± 0.33 a
27-2-1	9.46 ± 0.44 c	7.20 ± 0.33 bc	2.64 ± 0.52 b	1.88 ± 0.15 b	1.48 ± 0.35 ab
S001	18.16 ± 7.03 a	11.48 ± 2.12 abc	4.46 ± 0.38 a	3.25 ± 0.39 a	1.46 ± 0.30 ab
8-3 黑绿 8-3 black-green	17.49 ± 2.49 a	9.08 ± 1.23 bc	2.81 ± 0.46 b	1.55 ± 0.38 b	1.13 ± 0.36 b
8-4-1 棕 8-4-1 brown	16.44 ± 1.41 a	7.23 ± 2.12 bc	3.04 ± 0.57 b	1.96 ± 0.09 b	1.20 ± 0.14 b
3-2-1 棕黑 3-2-1 brown-black	15.70 ± 0.82 ab	9.57 ± 0.88 ab	2.59 ± 0.43 b	1.81 ± 0.26 b	1.08 ± 0.14 b
野生大豆 Wild soybean	10.58 ± 1.09 bc	6.60 ± 1.15 c	2.31 ± 0.54 b	1.71 ± 0.41 b	1.23 ± 0.23 ab

注:同列不同字母者表示差异显著($P<0.05$)。下同。
Note: Different letters indicate significant differences ($P<0.05$). The same below.

如图 3B 所示,在不同浓度的盐胁迫下,供试材料 POD 活性较蒸馏水处理均明显上升,NaCl 浓度为 200 mmol·L⁻¹时,POD 活性高的为野生大豆,最

低的为 3-2-1 棕黑,且品系 500、S001、3-2-1 棕黑、27-2-1 和 8-3 黑绿均显著低于野生大豆($P < 0.05$)。

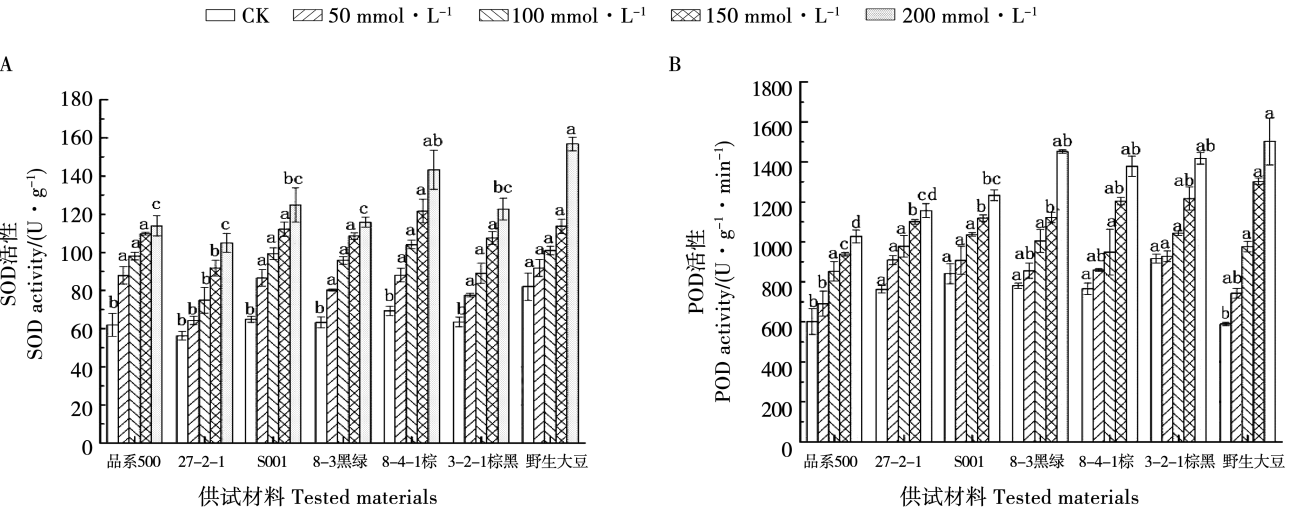


图 3 不同浓度 NaCl 胁迫下 SOD (A) 和 POD (B) 活性
Fig. 3 SOD (A) and POD (B) activity under different concentration NaCl stress

2.2.2 SS 和 MDA 含量 SS 和 MDA 是植物对抗盐胁迫的重要调节物质,在盐胁迫下植物通过增加它们的含量以降低细胞渗透势,增强其吸水能力。如图 4A 所示,供试材料的 SS 含量随着盐浓度的升高而增加。200 mmol·L⁻¹ NaCl 处理下,7 个材料的 SS 含量远高于蒸馏水处理,最高的品系为 3-2-1 棕黑,最低为 S001,与野生大豆相比较,S001、8-3 黑绿

与 27-2-1 显著低于野生大豆($P < 0.05$)。

如图 4B 所示,不同浓度 NaCl 处理下,供试材料的 MDA 含量的均不同程度提升,且不同饲用大豆间的 MDA 含量存在差异。当盐浓度为 200 mmol·L⁻¹时,野生大豆的 MDA 含量最高,27-2-1 最小,杂交后代的 MDA 含量均显著低于野生大豆($P < 0.05$)。

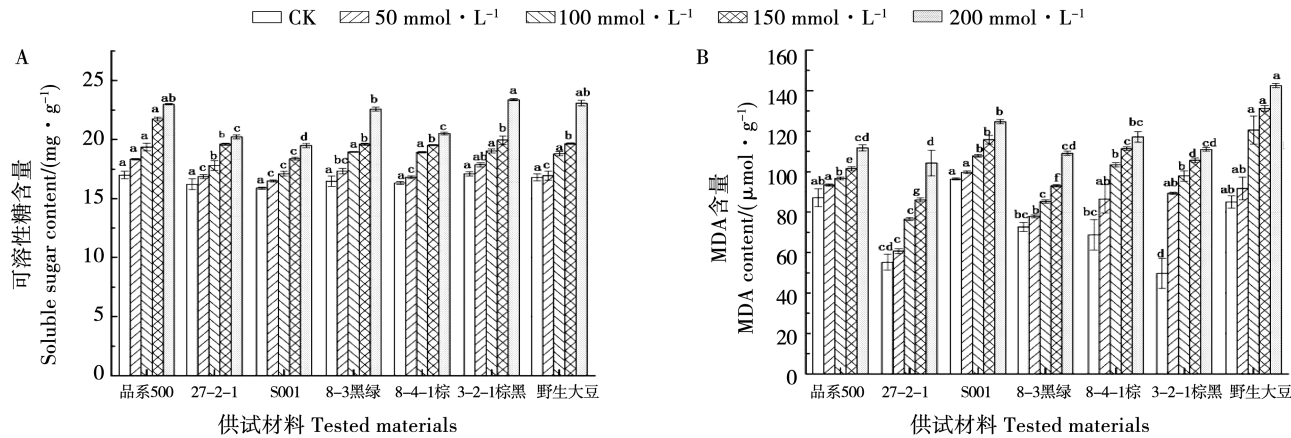


图 4 不同浓度 NaCl 胁迫下 SS (A) 和 MDA (B) 含量
Fig. 4 SS (A) and MDA (B) content under different concentration NaCl stress

2.3 不同浓度 NaCl 处理下萌发期与苗期各项指标主成分分析

对供试材料在不同浓度 NaCl 处理下萌发期与苗期各项测定指标进行主成分分析,共提取 6 个主成

分,累计贡献率达 100%,信息损失率为 0%。进一步规格化特征向量,4 个主成分中根据特征值向量的大小,第一个主成分中系数最大的是 150 mmol·L⁻¹ NaCl 处理下活力指数因子,第二个主成分中系数最大的

是蒸馏水处理下的 SOD 活性指数因子,第三个主成分中系数最大的是蒸馏水处理下的种子活力指数因子,第四个主成分中系数最大的是 100 mmol·L⁻¹ NaCl 处理下的芽长指数因子,第五个主成分中系数

最大的是 50 mmol·L⁻¹NaCl 处理下的发芽势指数因子,第六个主成分中系数最大的是 200 mmol·L⁻¹ NaCl 处理下的可溶性糖含量指数因子(表 3)。

表 3 各项抗逆生理指标的主成分提取及分析

Table 3 Extraction and analysis of principal components of various stress resistance physiological indexes			
主成分	初始特征值	方差贡献率	累计贡献率
Principal component	Initial eigen value	Variance contribution rate/%	Cumulative contribution rate/%
1	16.88	37.52	37.52
2	9.25	20.55	58.07
3	8.85	19.67	77.73
4	5.27	11.72	89.45
5	3.21	7.13	96.58
6	1.54	3.42	100.00

2.4 耐盐性综合评价

利用模糊数学隶属函数法进行数据分析,根据各指标贡献率大小(分别为 37.52%、20.55%、19.67%、11.72%、7.13% 和 3.42%),求得其权重

分别为 0.38,0.21,0.2 和 0.12,0.07 和 0.03,得出各材料的综合性评价指标 D 值。不同饲用大豆苗期耐盐性的综合排序为 S001>野生大豆>8-3 黑绿>8-4-1 棕>品系 500>3-2-1 棕黑>27-2-1(表 4)。

表 4 萌发期与苗期耐盐性主成分分析得分和隶属函数值

Table 4 Scores and affiliation function values of principal component analysis of salt tolerance at germination stage and seedling stage														
材料 Material	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄	PC ₅	PC ₆	U(X ₁)	U(X ₂)	U(X ₃)	U(X ₄)	U(X ₅)	U(X ₆)	D	排序 Sort
品系 500 Line 500	-0.41	-4.33	-1.77	-3.64	23.79	-0.16	0.54	0.00	0.14	0.16	0.85	0.19	0.31	5
S001	4.17	-2.81	4.83	1.44	-5.26	0.26	0.92	0.33	1.00	1.00	1.00	0.00	0.81	1
3-2-1 棕黑 3-2-1 brown-black	-3.35	0.59	0.23	-0.03	-4.57	1.22	0.24	0.27	0.22	0.23	0.00	0.80	0.24	6
8-4-1 棕 8-4-1 brown	-1.12	1.95	1.38	0.65	-12.58	-2.46	0.33	0.51	0.52	0.34	0.07	0.26	0.4	4
27-2-1	-6.37	0.47	0.41	0.88	9.38	0.19	0.00	0.28	0.17	0.13	0.63	1.00	0.18	7
8-3 黑绿 8-3 black-green	3.96	4.86	-0.19	-2.38	-6.76	1.01	0.63	1.00	0.31	0.00	0.59	0.93	0.57	3
野生大豆 Wild soybean	3.11	-0.72	-4.90	3.08	-4.00	-0.07	1.00	0.22	0.00	0.79	0.48	0.90	0.58	2
权重 Weight coefficient	0.38	0.21	0.20	0.12	0.07	0.03								

3 讨论

在植物种子的萌发期间,较高浓度的盐会抑制种子的发芽,使种子出现活力下降、发芽率降低等一系列现象。张军起等^[13]研究发现,随着盐胁迫浓度的升高,大豆种子的发芽率、发芽势、发芽指数和发芽活力也迅速下降,说明高浓度盐胁迫对大豆发芽产生抑

制。金杭霞等^[14]发现不同材料之间指标下降率也产生差异,即不同材料萌发期对盐分的耐受性不同。本研究发现,随着盐浓度不断升高,不同饲用大豆的发芽率、发芽势、发芽指数和发芽活力均表现出不同程度的下降,说明高浓度的盐胁迫同样对饲用杂交大豆的发芽产生了抑制作用,且不同材料对盐胁迫的敏感程度不同,盐胁迫下不同材料萌发期的各项发芽指标

具有差异。张秀玲^[15]发现盐胁迫明显抑制胚根和胚轴的生长。本研究同样发现,各供试材料的芽长随盐浓度的升高而降低,盐浓度越高对芽长生长的抑制越为明显。张金霞等^[16]对 3 个大豆品种苗期耐盐性的研究中发现,盐胁迫下的 SOD 与 POD 活性较蒸馏水处理有显著提升。也有研究发现当植物在逆境中,SOD 与 POD 活性均会增加且保持较高水平,使得植物在逆境中生存^[17]。本研究对不同盐浓度胁迫处理下,苗期供试材料研究发现,随着盐浓度的加大,供试材料的 SOD 与 POD 活性均呈现上升趋势。有研究发现,随着盐浓度加大,燕麦的丙二醛含量呈上升趋势,这是植株在胁迫下的一种自我保护调控^[18]。杨发荣等^[19]对藜麦盐胁迫的研究发现,随着盐浓度的增加可溶性糖含量明显提升。本研究中,随着盐浓度的升高,7 个供试材料的可溶性糖和丙二醛含量都不断增加。

目前利用栽培大豆与野生大豆进行杂交组合和逐代耐盐性筛选,进而改良栽培大豆的耐盐性,被认为是进行大豆耐盐种质创新和新品种选育的有效途径之一^[20]。本研究对所有供试材料萌发期与苗期盐胁迫下的所有指标进行主成分分析和隶属函数综合比较,得出 7 个材料萌发期与苗期耐盐性综合排序为 S001 > 野生大豆 > 8-3 黑绿 > 8-4-1 棕 > 品系 500 > 3-2-1 棕黑 > 27-2-1。所有杂交后代中除 S001 的耐盐性较其父本野生大豆强外,其余材料的耐盐性均弱于其父本野生大豆。李发院等^[21]研究发现,栽培大豆与野生大豆杂交组合回交后代中 C3、C10 等株系的苗期耐盐性系数高于母本 Lee68,接近或超过父本 3060,其中 C10 株系尤为突出。杜莉莉^[20]对栽培大豆和野生大豆杂交组合(Jackson × BB52)的研究也发现其 F4JB185 株系与其野生亲本滩涂野大豆 BB52 种群一样表现较强的耐盐性。说明丰富且具有变异性的野生大豆资源与栽培大豆之间遗传物质是可以交流的,因而利用野生大豆来拓宽栽培大豆耐盐育种的遗传基础是可行的。

4 结论

随着 NaCl 浓度不断升高,不同材料种子的发芽率、发芽势、发芽指数、发芽活力和芽长均呈现下降趋势,各材料之间存在差异。随着盐胁迫强度的加大,苗期饲用大豆的超氧化物酶(SOD)活性、过氧化物歧

化酶(POD)活性、可溶性糖(SS)和丙二醛(MDA)含量均升高,不同材料各抗盐生理指标的升降幅度不同。对供试材料萌发期与苗期盐胁迫下指标进行主成分分析和隶属函数综合比较,得出 7 个材料萌发期与苗期耐盐性的排序为 S001 > 野生大豆 > 8-3 黑绿 > 8-4-1 棕 > 品系 500 > 3-2-1 棕黑 > 27-2-1。

参考文献

[1] 董宽虎,沈益新. 饲草生产学[M]. 北京:中国农业出版社, 2003. (DONG K H, SHEN Y X. Forage production [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2003.)

[2] 李建国,濮励杰,朱明,等. 土壤盐渍化研究现状及未来研究热点[J]. 地理学报,2012,67(9): 1233-1245. (LI J G, PU L J, ZHU M, et al. Current status of soil salinization research and future research hotspots [J]. Journal of Geography, 2012, 67 (9): 1233-1245.)

[3] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望[J]. 土壤学报, 2008(5): 837-845. (YANG J S. Development of saline soils in China and prospects[J]. Journal of Soil Science,2008 (5): 837-845.)

[4] 张威,廖锡良,喻德跃,等. 大豆耐盐性研究进展[J]. 土壤与作物,2018,7(3): 284-292. (ZHANG W, LIAO X L, YU D Y, et al. Advances in research on salt tolerance of soybean[J]. Soil and Crops,2018,7(3): 284-292.)

[5] 张煜,李娜娜,丁汉凤,等. 野生大豆种质资源及创新应用研究进展[J]. 山东农业科学,2012,44(4): 31-35. (ZHANG Y, LI N N, DING H F, et al. Research progress on wild soybean germplasm resources and innovative applications [J]. Shandong Agricultural Science,2012,44(4): 31-35.)

[6] 陈爱国,王岩. 野生大豆资源保护及利用研究进展[J]. 农业开发与装备,2020(12): 58-59. (CHEN A G, WANG Y. Research progress on conservation and utilization of wild soybean resources [J]. Agricultural Development and Equipment, 2020 (12): 58-59.)

[7] 时丽冉. 3 种不同生境野大豆抗盐性比较[J]. 衡水学院学报, 2020,22(4): 22-26. (SHI L R. Comparison of salt resistance of wild soybean in three different habitats [J]. Journal of Hengshui College,2020,22(4): 22-26.)

[8] 邵桂花,常汝镇,陈一舞. 大豆耐盐性研究进展[J]. 大豆科学, 1993, 12(3): 5. (SHAO G H, CHANG R Z, CHEN Y W. Research progress on salt tolerance of soybean [J]. Soybean Science, 1993, 12(3): 5.)

[9] 李向楠. 大豆耐盐性研究进展[J]. 安徽农学通报,2008,14(23): 122-123. (LI X N. Advances in salt tolerance of soybean [J]. Anhui Agronomy Bulletin,2008,14(23): 122-123.)

[10] 牛远,杨修艳,戴存凤,等. 大豆芽期和苗期耐盐性评价指标筛选[J]. 大豆科学,2018,37(2): 215-223. (NIU Y, YANG X Y,

DAI C F, et al. Screening of indicators for salt tolerance evaluation in soybean at sprouting and seedling stages [J]. Soybean Science, 2018, 37 (2): 215-223.)

[11] 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): 9. (HAN F, ZHUGE Y P, LOU Y H, et al. Comprehensive evaluation of salt tolerance of 63 cereal germplasm and screening of salt-tolerant varieties [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19 (4): 9.)

[12] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2006. (WANG X K. Principles and techniques of plant physiological and biochemical experiments [M]. 2nd edition. Beijing: Higher Education Press, 2006.)

[13] 张军起, 赵霞, 张豪, 等. 不同大豆种子萌发期耐盐性分析 [J]. 山西农业科学, 2019, 47 (5): 770-774, 779. (ZHANG J Q, ZHAO X, ZHANG H, et al. Analysis of salt tolerance of different soybean seeds during germination [J]. Shanxi Agricultural Science, 2019, 47 (5): 770-774, 779.)

[14] 金杭霞, 郭丹丹, 杨清华, 等. 利用模糊隶属函数法综合评价大豆萌发期耐盐性 [J]. 分子植物育种, 2021, 19 (24): 7. (JIN H X, GUO D D, YANG Q H, et al. Comprehensive evaluation of salt tolerance in soybean at germination stage using fuzzy affiliation function method [J]. Molecular Plant Breeding, 2021, 19 (24): 7.)

[15] 张秀玲. 盐胁迫下野大豆种子萌发特性研究 [J]. 中国野生植物资源, 2013, 32 (6): 21-24. (ZHANG X L. Study on seed germination characteristics of wild soybean under salt stress [J]. China Wild Plant Resources, 2013, 32 (6): 21-24.)

[16] 张金霞, 董德坤, 胡兴旺, 等. 三个大豆品种萌发期和苗期的耐盐性比较 [J]. 浙江农业学报, 2016, 28 (7): 1101-1107. (ZHANG J X, DONG D K, HU X W, et al. Comparison of salt tolerance of three soybean varieties at germination and seedling stages [J]. Zhejiang Journal of Agriculture, 2016, 28 (7): 1101-1107.)

[17] 贺莉, 徐晓腾, 刘菲, 等. NaCl 胁迫下野生大豆生理生态反应的研究 [J]. 大豆科学, 2011, 30 (2): 242-245. (HE L, XU X T, LIU F, et al. Physiological and ecological responses of wild soybean under NaCl stress [J]. Soybean Science, 2011, 30 (2): 242-245.)

[18] 姜瑛, 周萌, 吴越, 等. 不同燕麦品种耐盐性差异及其生理机制 [J]. 草业科学, 2018, 35 (12): 2903-2914. (JIANG Y, ZHOU M, WU Y, et al. Differences in salt tolerance of different oat varieties and their physiological mechanisms [J]. Grassland Science, 2018, 35 (12): 2903-2914.)

[19] 杨发荣, 刘文瑜, 黄杰, 等. 不同藜麦品种对盐胁迫的生理响应及耐盐性评价 [J]. 草业学报, 2017, 26 (12): 12. (YANG F R, LIU W Y, HUANG J, et al. Evaluation of physiological response and salt tolerance of different quinoa varieties to salt stress [J]. Journal of Grass Industry, 2017, 26 (12): 12.)

[20] 杜莉莉. 栽培和滩涂野大豆及其杂交后代耐盐性、农艺性状与籽粒品质研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2009. (DU L L. Research on salt tolerance, agronomic traits and seed quality of cultivated and beach wild soybean and its hybrid progeny [D]. Nanjing : Nanjing Agricultural University, 2009.)

[21] 李发院, 田芳, 张晓可, 等. 栽培大豆和野生大豆及其回交后代苗期耐盐性分析 [J]. 大豆科学, 2012, 31 (4): 593-597. (LI F Y, TIAN F, ZHANG X K, et al. Salt tolerance analysis of cultivated soybean and wild soybean and their backcross progeny at seedling stage [J]. Soybean Science, 2012, 31 (4): 593-597.)

协 办 单 位

中国作物学会大豆专业委员会
东北农业大学大豆研究所
吉林省农业科学院大豆研究所
南京农业大学大豆研究所
辽宁省农业科学院作物研究所
河北省农林科学院粮油作物研究所