



## 东北地区大豆种质资源萌发期耐盐性鉴定

李阳阳<sup>1,2</sup>, 董岭超<sup>2</sup>, 王英男<sup>2</sup>, 赵洪琨<sup>2</sup>, 袁翠平<sup>2</sup>, 齐广勋<sup>2</sup>, 刘晓冬<sup>3</sup>, 王玉民<sup>1,2</sup>

(1. 吉林农业大学 农学院, 吉林 长春 130118; 2. 吉林省农业科学院 大豆研究所, 吉林 长春 130033; 3. 吉林省农业科学院 作物资源研究所, 吉林 公主岭 136100)

**摘要:**为明确东北地区大豆种质资源萌发期耐盐特性, 为大豆耐盐性品种选育提供优异亲本, 本研究以主要来源于东北地区的 348 份大豆种质资源为供试材料, 在恒温培养箱进行发芽试验, 并选用  $150\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl 溶液进行中度盐胁迫处理, 测定发芽势、发芽率、芽长和根长, 根据发芽率计算相对盐害率, 确定耐盐等级并进行耐盐性评价, 将筛选出的 89 份高耐材料使用  $210\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl 溶液进行重度盐胁迫处理, 以筛选出萌发期耐盐性稳定材料。结果发现: 盐胁迫下各指标测量值与对照相比均明显下降, 且各指标之间呈现显著或极显著相关。根据相对盐害率进行耐盐性评价, 低盐胁迫下筛选到 89 份高耐材料, 高盐胁迫下筛选到 33 份耐盐材料。本研究筛选出的 33 份大豆材料可为耐盐大豆品种培育及大豆耐盐机制解析提供重要基础材料。

**关键词:**大豆; 东北地区; 萌发期; NaCl 胁迫; 耐盐性鉴定

## Salt Tolerant Identification of Soybean Germplasm Resources at Germination Stage in Northeast China

LI Yangyang<sup>1,2</sup>, DONG Lingchao<sup>2</sup>, WANG Yingnan<sup>2</sup>, ZHAO Hongkun<sup>2</sup>, YUAN Cuiping<sup>2</sup>, QI Guangxun<sup>2</sup>, LIU Xiaodong<sup>3</sup>, WANG Yumin<sup>1,2</sup>

(1. College of Agriculture, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2. Soybean Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China; 3. Crop Germplasm Resources Institute, Jilin Academy of Sciences, Gongzhuling 136100, China)

**Abstract:** In order to clarify the salt tolerance characteristics of soybean germplasm resources in northeast China, and to provide excellent parents for the selection and breeding of salt-tolerant varieties of soybeans, this study took 348 soybean germplasm resources mainly from northeast China as test materials. We cultivated them in an artificial greenhouse, and selected them to be subjected to a low-salt stress treatment with  $150\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl during the germination period, and then measured the germination potential, the germination rate, the shoot length and the root length. We calculated the relative salt damage rate and determined the salt tolerance grade and carried out the evaluation of salt tolerance based on the germination rate. The germination potential, shoot length and root length were measured, and the relative salt damage rate was calculated based on the germination rate, and the salt tolerance level was evaluated. 89 highly tolerant materials were then subjected to high salt stress with  $210\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl solution in order to screen out the materials with stable salt tolerance during the germination period. The results showed that the measured values of all indexes under salt stress decreased significantly compared with the control, and there was a significant or highly significant relationship between the indexes. According to the relative salt damage rate, the salt tolerance was evaluated, 89 highly tolerant materials were screened under low salt stress, and 33 salt-tolerant soybean materials were screened under high salt stress. The 33 soybean materials screened in this study can provide important basic materials for breeding salt-tolerant soybean varieties and analyzing the mechanism of salt tolerance in soybean.

**Keywords:** soybean; northeast China; germination stage; NaCl stress; salt tolerance identification

大豆 [*Glycine max* (Linn) Merr] 作为重要的油脂和蛋白原料, 在我国粮食贸易及国家食品安全中占有重要地位, 根据国家统计局调查显示, 截至 2023 年我国大豆种植面积已达  $1\,047\text{ 万 hm}^2$ 。土壤盐渍化是一个日益严重的全球性问题, 其盐害会影响植物的生长和发育并降低作物产量<sup>[1]</sup>。目前我国的盐碱土面积约为  $9\,913\text{ 万 hm}^2$ , 占全国耕地面积的 10%, 在我国大豆主产区黄淮和东北地区都存

在土壤盐渍化问题<sup>[2]</sup>。大豆作为中度耐盐作物, 盐害会抑制种子的萌发和营养生长, 阻碍大豆根瘤的形成, 最终导致植株矮小、产量降低、品质下降<sup>[3-6]</sup>。在土壤盐度超过  $5\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  时, 大豆产量会明显降低<sup>[7]</sup>。培育耐盐大豆品种是有效利用盐碱土并促进大豆可持续发展的一个重要途径<sup>[8]</sup>。

国内外学者研究发现, 大豆在不同的生长发育阶段对盐胁迫的耐受性也不同, 其中萌发期与幼苗

收稿日期: 2024-03-20

基金项目: 国家重点研发计划 (2021YFD1201604-04); 吉林省自然科学基金 (20210101007JC); 中国工程院院地合作项目, 吉林省种质资源保护与发展战略研究 (JL2021-07)。

第一作者: 李阳阳 (1999—), 男, 硕士研究生, 主要从事大豆分子育种研究。E-mail: jlaulyy@163.com。

通讯作者: 王玉民 (1968—), 男, 博士, 研究员, 主要从事大豆种质资源研究。E-mail: wangym@cjaas.com。

期对盐胁迫最为敏感<sup>[9-11]</sup>。而作物种子萌发期的耐盐性是决定其能否在盐渍土壤上种植的基本因素,盐胁迫下的高发芽率是保证全苗、壮苗并提高产量的关键,筛选萌发期耐盐作物品种是利用盐渍化土壤进行农业生产的重要环节<sup>[12]</sup>。研究者普遍采用NaCl进行盐胁迫鉴定作物的耐盐性,且不同研究者采用的NaCl胁迫的浓度与方法不尽相同<sup>[13]</sup>。在150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理下不同大豆种质在萌发期差异显著<sup>[14-15]</sup>。而发芽率可作为评价大豆萌发期耐盐性的指标<sup>[16]</sup>。盖如玉等<sup>[17]</sup>采用210 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl对941份大豆种质进行胁迫处理,在萌发期测定相对盐害率,在苗期测定盐害指数,最终获得1级耐盐品种21份。张军起等<sup>[18]</sup>对13种大豆材料在萌发期进行200 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理,综合分析种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数等耐盐指标,得到2份盐敏感和2份耐盐大豆材料。张兆宁等<sup>[19]</sup>采用75和150 mmol·L<sup>-1</sup>两种NaCl浓度对62份大豆品种进行萌发期盐胁迫处理,调查并分析胚根长、干鲜重、发芽率等16项指标,通过隶属函数分析和聚类分析共筛选出8份耐盐品种。金杭霞等<sup>[13]</sup>利用120 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl溶液盐胁迫96份大豆材料,在萌发期测定种子发芽率、发芽势、芽长和侧根

数并利用模糊隶属函数法和聚类分析将96份大豆品种划分为5类并筛选到30份萌发期耐盐材料。张新草等<sup>[20]</sup>通过60 mmol·L<sup>-1</sup>混合盐碱溶液对18份大豆种质进行胁迫处理,测定发芽期的发芽率、幼苗长、和根鲜重,利用相关性分析、主成分分析等方法鉴定出2份极端耐盐碱材料。

本研究选用150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl浓度进行中度盐胁迫处理,以348份大豆资源为试验材料进行萌发期耐盐性初筛,选用210 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl溶液对高耐材料进行重度盐胁迫处理并进行复筛,统计盐处理下的相对发芽势、相对发芽率、相对芽长与相对根长,观测这几个耐盐指标在不同盐浓度处理下的变化。以萌发期相对盐害率作为耐盐评级标准,筛选出萌发期耐盐与盐敏感材料,为耐盐品种选育提供基础材料。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究以348份大豆种质作为试验材料,所有材料均由国家种质资源库和吉林省农业科学院大豆研究所提供,主要来源于东北地区,来源地区及数量等信息详见表1。

表1 供试大豆种质资源分类

Table 1 Origin and classification of soybean germplasms used in this experiment

材料来源	育成品种(系)	地方品种	总计
Material origin	Breeding variety (line)	Landraces	Total
黑龙江 Heilongjiang	62	59	121
吉林 Jilin	62	95	157
辽宁 Liaoning	17	44	61
内蒙古 Inner Mongolia	0	7	7
其他 Others	1	1	2
总计 Total	142	206	348

1.2 方法

设置对照(蒸馏水)和盐处理(初筛为150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl溶液<sup>[11]</sup>,进一步筛选为210 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl溶液<sup>[11,17]</sup>),3次重复,每次重复使用30粒大豆种子。将大豆种子放在铺有2层灭菌滤纸,直径9 cm塑料培养皿中。对照组加入15 mL蒸馏水,盐处理组加入15 mL对应浓度的盐溶液。然后将培养皿放于25℃恒温植物培养箱中,发芽7 d,在发芽第3天统计发芽势,发芽第7天统计发芽率。以胚根长度大于或等于种子长度的1/2作为发芽标准。在发

芽第7天选取长势一致的3份大豆测量其芽长和根长。并计算相对盐害率、相对发芽势、相对发芽率、相对根长、相对芽长,各个指标相对值(%)=(盐处理指标测定值/对照指标测定值)×100。根据下列公式计算相对盐害率,并确定萌发期耐盐等级(表2)。

萌发期相对盐害率(%) = 
$$\frac{(CK_1 + CK_2 + CK_3)/3 - (T_1 + T_2 + T_3)/3}{(CK_1 + CK_2 + CK_3)/3} \times 100$$

式中:CK<sub>1</sub>、CK<sub>2</sub>、CK<sub>3</sub>代表3组对照发芽率,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>代表3组盐处理发芽率。

表 2 大豆萌发期耐盐分级标准

Table 2 Classification criteria of salt tolerance at germination stage in soybean

级别 Grade	萌发期相对盐害率 Relative salt damage rate at germination stage/%	耐盐等级 Salt tolerance grade
1	0 ~ 20.0	高度耐盐 Highly salt tolerance
2	20.1 ~ 40.0	耐盐 Salt tolerance
3	40.1 ~ 60.0	中度耐盐 Moderate salt tolerance
4	60.1 ~ 80.0	盐敏感 Salt sensitive
5	80.1 ~ 100	高度盐敏感 Highly salt sensitive

1.3 数据分析

采用 Excel 2019 对数据进行整理,使用 SPSS Statistics 25 进行单因素方差分析、相关性分析和数据描述性统计。

2 结果与分析

2.1 中度盐胁迫鉴定结果与分析

2.1.1 中度盐胁迫下不同大豆品种耐盐性评价  
348 份材料在 150 mmol·L<sup>-1</sup> 盐胁迫条件下,耐盐等级为 1 级的高度耐盐材料有 89 份,占供试材料的 25.57%;耐盐等级为 2 级的耐盐材料有 105 份,占供试材料的 30.17%;耐盐等级为 3 级的中度耐盐材料有 92 份,占供试材料的 26.44%;耐盐等级为 4

级的盐敏感材料有 39 份,占供试材料的 11.21%;耐盐等级为 5 级的高度盐敏感材料有 23 份,占供试材料的 6.61%。

2.1.2 中度盐胁迫下各指标变化值及相关性  
由表 3 可知,在 150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 胁迫下大豆的萌发和生长均受到不同程度的抑制,4 个耐盐指标对照均呈现下降趋势。NaCl 胁迫下,芽长受抑制最严重,均值为 2.12 cm,较对照减少 6.64 cm;根长次之,均值为 1.33 cm,较对照减少 3.74 cm;发芽势均值为 84.64%,较对照减少 45.23%;发芽率受抑制程度最小,均值为 55.03%,较对照减少 31.71%。可见 150 mmol·L<sup>-1</sup> 盐胁迫会延迟大豆种子的萌发,而大豆胚轴和根部的生长则更容易受盐胁迫抑制。

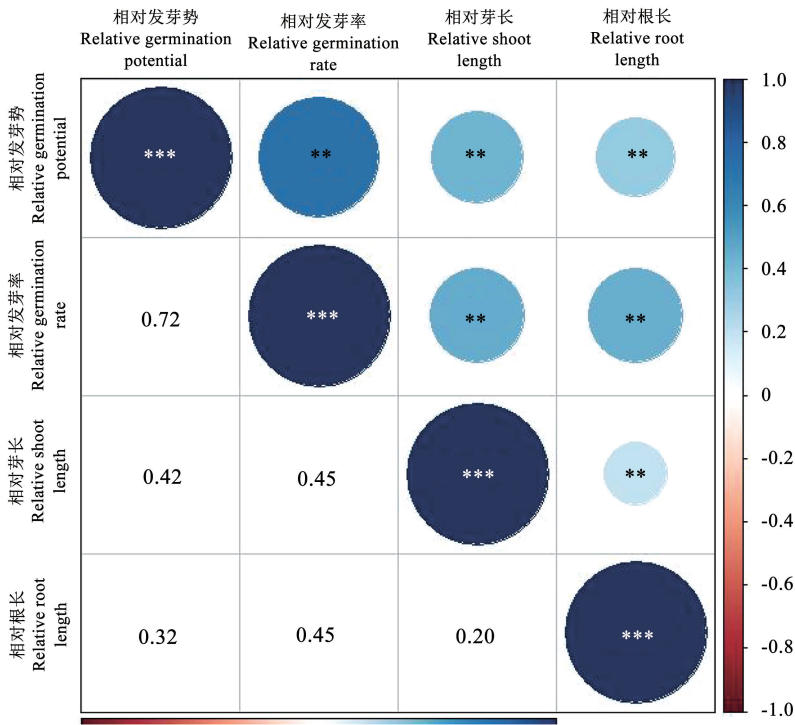
表 3 150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 胁迫下大豆种质资源表型变异

Table 3 Phenotypic variation soybean germplasm resources under 150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl stress

处理 Treatment	项目 Item	发芽势 Germination potential/%	发芽率 Germination rate/%	芽长 Shoot length/cm	根长 Root length/cm
NaCl 胁迫 NaCl stress	最大值 Max	98.89	98.89	4.23	3.63
	最小值 Min	0.00	0.00	0.00	0.00
	均值 Mean	39.44	55.03	2.12	1.65
	标准差 SD	22.64	23.18	0.41	0.72
	变异系数 CV	57.40	42.12	0.19	0.44
对照 Control	最大值 Max	100.00	100.00	14.60	9.23
	最小值 Min	40.00	46.67	4.07	2.07
	均值 Mean	84.67	86.74	8.77	5.39
	标准差 SD	13.41	11.43	2.65	1.33
	变异系数 CV	15.84	13.18	0.30	0.25
较对照变化 Comparison with the control	均值 Average	-45.23	-31.71	-6.64	-3.74
	变异系数 CV	42.56	28.94	-0.11	0.19

由图 1 可知,大豆萌发期各个耐盐指标之间存在着不同程度的相关性,4 个耐盐指标之间相关性均达到极显著水平( $P < 0.01$ );其中相对发芽势与相对发芽率相关性系数最高,达到 0.72;相对芽长

与相对根长相关性系数最低,只有 0.20。各个耐盐指标的相关性体现了这些耐盐指标间的内在联系。相对发芽势与相对发芽率相关性最高,说明在种子萌发期盐处理下种子发芽率与发芽势密切相关。



注:左下角为相关系数;右上角不同颜色圆圈表示相关性大小; \*\* 表示显著相关 ( $P < 0.05$ ); \*\*\* 表示极显著相关 ( $P < 0.01$ )。

Note: The correlation coefficient in the lower left corner, and different colored circles in the upper right corner indicate the correlation size;

\*\* represent a significant correlation ( $P < 0.05$ ); \*\*\* represent a very significant correlation ( $P < 0.01$ ).

图1 150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 胁迫下大豆萌发期4个耐盐指标的相关性

Fig. 1 Relationship of four salt resistance index under 150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl stress at germination stage in soybean

2.1.3 中度盐胁迫下各指标单因素方差分析

由表4可知,相对发芽势、相对发芽率、相对芽长、相对根长4个耐盐指标在348份品种间均存在极显著差异。各个耐盐指标组内平方和小于组间平方和,说明不同大豆品种的耐盐性差异主要受遗传因素的影响。

表4 150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 胁迫下4个耐盐指标单因素方差分析

Table 4 One-way analysis of variance for four salt resistance index under 150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl stress

指标 Index	项目 Item	平方和 Square sum	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F	显著性 Significance
相对发芽势 Relative germination potential	组间 Between groups	63.726	347	0.184	5.046	1.43E-73
	组内 Within group	58.160	696	0.036		
	总计 Total	89.055	1043			
相对发芽率 Relative germination rate	组间 Between groups	62.259	347	0.179	4.264	1.33E-39
	组内 Within group	29.283	696	0.174		
	总计 Total	91.542	1043			
相对芽长 Relative shoot length	组间 Between groups	14.346	347	0.041	5.681	3.44E-84
	组内 Within group	5.065	696	0.007		
	总计 Total	19.412	1043			
相对根长 Relative root length	组间 Between groups	41.996	347	0.121	3.920	3.95E-53
	组内 Within group	21.488	696	0.031		
	总计 Total	63.484	1043			



2.1.4 不同省份及育成与地方品种(系)耐盐性比较 根据耐盐性鉴定结果,不同地区均有高度耐盐种质资源分布。高耐资源占比较高的省份依次是内蒙古(57.14%)、黑龙江(30.58%)、吉林(24.20%)、辽宁(14.75%);耐盐资源占比较高的省份依次是黑龙江(38.02%)、吉林(28.66%)、内蒙古(28.57%)、辽宁(19.67%);中耐资源占比较高的省份依次为吉林(31.85%)、辽宁(27.87%)、黑龙江(20.66%);盐敏感资源占比较高的省份依次为辽宁(22.95%)、吉林(9.55%)、黑龙江(7.44%);高度盐敏感材料占比较高的省份依次为辽宁(14.75%)、内蒙古(14.29%)、吉林(5.73%)、黑龙江(3.31%)。总体上看,在这4个省份中,黑龙江的种质资源中的耐盐品种的所占比例最高,高达89.25%。根据相对盐害指数进行方差分析表明,来源于不同省份材料间耐盐性差异达到极显著( $P<0.01$ )。

在鉴定的348份材料中,有142份育成品种和206份地方品种。育成品种中,高度耐盐品种35份,占24.65%;耐盐品种43份,占30.28%;中度耐盐品种43份,占31.69%;盐敏感品种11份,占7.75%;高度盐敏感品种8份,占5.63%。地方品种中,高度耐盐品种54份,占26.21%;耐盐品种62份,占30.10%;中度耐盐品种47份,占22.82%;盐敏感品种28份,占13.59%;高度盐敏感品种15份,占7.28%。方差分析表明,育成品种与地方品种间耐盐性差异未达到显著水平( $P>0.1$ )。

2.2 重度盐胁迫耐盐鉴定结果与分析

2.2.1 重度盐胁迫下不同大豆品种耐盐性评价 将 $150\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度下鉴定耐盐等级为1级的89份材料在 $210\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 高盐浓度下进行进一步鉴定,根据萌发期耐盐等级公式计算相对盐害指数,并进行耐盐等级划分。结果表明:在 $210\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度下未鉴定到耐盐等级为1级的高耐材料;耐盐等级为2级的耐盐材料有10份,占供试材料的11.24%;耐盐等级为3级的中度耐盐材料有23份,占供试材料的25.84%;耐盐等级为4级的盐敏感材料18份,占供试材料的20.22%;耐盐等级为5级的高度盐敏感材料有38份,占供试材料的42.70%。

2.2.2 重度盐胁迫下各指标变化 由表5可知, $210\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NaCl}$ 胁迫下4个指标均受到不同程度的抑制,较对照均呈现下降的趋势。 $210\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NaCl}$ 胁迫下,发芽势受抑制最严重,均值为10.24%,较对照降低76.48%;发芽率受抑制次之,均值为26.53%,较对照降低61.75%;芽长均值为2.17 cm,较对照减少4.90 cm;根长受抑制程度最小,均值为1.96 cm,较对照减少2.81 cm; $210\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NaCl}$ 处理与 $150\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NaCl}$ 处理对比,发芽势与发芽率下降幅度更大,而芽长与根长下降幅度则稍低。出现这一现象的原因可能是高盐胁迫会更大程度地抑制种子的发芽,而 $210\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NaCl}$ 处理下选择的试验材料为 $150\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NaCl}$ 处理下鉴定的高耐材料,所以在高盐处理下的根长与芽长下降幅度相对稍小。

表5  $210\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NaCl}$ 胁迫下大豆种质资源表型变异  
Table 5 Phenotypic variation soybean germplasm resources under  $210\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NaCl}$  stress

处理 Treatment	项目 Item	发芽势 Germination potential/%	发芽率 Germination rate/%	芽长 Shoot length/cm	根长 Root length/cm
NaCl 胁迫 NaCl stress	最大值 Max	60.00	63.33	3.18	3.59
	最小值 Min	0.00	0.00	0.00	0.00
	均值 Mean	0.24	26.53	2.17	1.96
	标准差 SD	13.48	20.67	0.35	0.77
	变异系数 CV	131.64	77.91	0.16	0.39
对照 Control	最大值 Max	100	100	12.60	7.34
	最小值 Min	43.00	46.67	4.07	2.43
	均值 Mean	86.72	88.28	7.07	4.77
	标准差 SD	13.04	12.25	1.74	1.10
	变异系数 CV	15.04	13.87	0.25	0.23
较对照变化 Comparison with the control	均值 Average	-76.48	61.75	-4.90	-2.81
	变异系数 CV	116.60	64.04	-0.08	0.16

2.2.3 耐盐性大豆种质资源筛选 对 150 mmol·L<sup>-1</sup> 低盐胁迫下鉴定出的 89 份高耐种质资源,又在 210 mmol·L<sup>-1</sup>高盐胁迫下进行鉴定。综合两次鉴定结果,筛选出 33 份高耐盐材料(表 6)。33 份高耐盐材料中来自黑龙江地区的有 13 份,来自吉林地区的材料有 13 份,来自内蒙古地区的材料有 5 份,来自辽宁地区的材料有 2 份。33 份高耐盐材料中育成品种有 11 份,地方品种(系)有 22 份。

表 6 萌发期耐盐大豆种质资源  
Table 6 Salt tolerant varieties at the germination stage

编号 No.	品种(系) Variety (line)	来源地 Origin	来源分类 Source classification	150 mmol·L <sup>-1</sup> 浓度下耐盐等级	210 mmol·L <sup>-1</sup> 浓度下耐盐等级
				Salt resistance level at 150 mmol·L <sup>-1</sup>	Salt resistance level at 210 mmol·L <sup>-1</sup>
				concentration	concentration
1	东农 4 号	黑龙江	育成	1	2
2	合丰 6 号	黑龙江	育成	1	3
3	牡丰 4 号	黑龙江	育成	1	2
4	元宝金	黑龙江	地方	1	3
5	海伦嘟噜豆	黑龙江	地方	1	3
6	大白果	黑龙江	地方	1	2
7	吉林 2 号	吉林	育成	1	3
8	吉林 6 号	吉林	育成	1	3
9	公交 6005-2	吉林	育成	1	3
10	大粒黄	吉林	地方	1	3
11	蓑衣领	吉林	地方	1	3
12	黑豆	内蒙古	地方	1	2
13	奎武豆 A	黑龙江	地方	1	3
14	快豆	黑龙江	地方	1	2
15	一窝蜂 D	黑龙江	地方	1	3
16	舒兰大叶黄金塔	吉林	地方	1	3
17	农安平顶四	吉林	地方	1	3
18	临江灰毛豆	吉林	地方	1	3
19	安图黑色大豆	吉林	地方	1	3
20	辉南紫花小黑豆	吉林	地方	1	3
21	九台猪眼豆	吉林	地方	1	3
22	开育八号	辽宁	育成	1	3
23	绥农 8 号	黑龙江	育成	1	2
24	东农 38 号	黑龙江	育成	1	3
25	白秣食豆	吉林	地方	1	2
26	大粒黑	吉林	地方	1	3
27	丹东金黄豆	辽宁	地方	1	3
28	阿 8122	内蒙古	地方	1	2
29	克旗小黑豆	内蒙古	地方	1	2
30	红黄豆	内蒙古	地方	1	2
31	喀旗猫眼豆	内蒙古	地方	1	3
32	黑农 40	黑龙江	育成	1	3
33	合丰 35	吉林	育成	1	3

3 讨论

萌发期作为大豆第一个生长阶段,抗逆性较弱,盐胁迫可抑制植物种子的萌发,降低种子的发芽率、发芽势、发芽指数、相对发芽率、胚根长度及胚轴长度<sup>[17]</sup>。目前研究者采用的萌发期耐盐性评价体系不尽相同。有研究学者认为,发芽势、发芽率、发芽指数、相对根长、根鲜重等可作为评价种子萌发期耐盐性的指标<sup>[18-19]</sup>。本研究调查了萌发期发芽势、发芽率、芽长与根长 4 个指标在盐胁迫下的变化。选用相对盐害率作为耐盐评价指标进行耐盐等级评定,与盖如玉<sup>[17]</sup>、严勇亮等<sup>[11]</sup>评价方法相同。研究结果发现在 150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 盐胁迫条件下,这 4 个生长指标受抑制程度为:芽长 > 根长 > 发芽势 > 发芽率,说明在此浓度下大豆芽长最容易受抑制。而在 210 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 浓度下,4 个生长指标受抑制程度为:发芽势 > 发芽率 > 芽长 > 根长,说明在不同盐浓度下,大豆不同生长指标受抑制程度也不同,随着盐浓度的升高,大豆发芽势、发芽率下降幅度增大,与前人研究结果相同<sup>[20-21]</sup>。此外,盐胁迫下大豆发芽率受抑制程度始终小于发芽势,表明盐胁迫下的高渗透势可诱导种子休眠,延迟种子萌发<sup>[22]</sup>。另外本研究通过对 4 个盐害指标进行单因素方差分析发现,348 份大豆材料之间存在极显著差异,说明大豆萌发期耐盐性受遗传因素影响<sup>[18]</sup>。

选育大豆耐盐品种是利用盐碱地并促进大豆可持续发展的有效途径,对大豆种质资源的耐盐性鉴定与筛选是培育耐盐品种,合理利用种质资源的前提<sup>[24]</sup>。本研究选用的供试材料主要来源于东北地区,因此筛选出的耐盐性种质资源将更加符合东北地区大豆耐盐育种的需要。本研究最终在 210 mmol·L<sup>-1</sup> 重度盐胁迫下筛选出 33 份耐盐材料,主要来源于黑龙江和吉林地区,其中牡丰 4 号、元宝金、合丰 35 为苗期耐盐材料<sup>[25-26]</sup>,这些材料可作为耐盐育种的理想材料。在作物的不同生长发育时期,耐盐性也存在差异,研究发现大豆萌发期对盐胁迫的耐受性更高<sup>[27]</sup>。因此除了萌发期耐盐性鉴定,苗期耐盐性鉴定也同样重要。在本研究基础上,可对萌发期耐盐大豆资源进行全生育期耐盐性鉴定,筛选出全生育期耐盐大豆资源供育种使用,进而培育出具有优良性状的耐盐品种。同时,还可对鉴定出的耐盐种质和盐敏感种质进行深入研究,发掘定位大豆萌发期耐盐基因,揭示其耐盐机理,为大豆耐盐性育种提供理论基础。

4 结论

本研究采用 150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 中度盐胁迫对 348 份东北地区大豆种质资源进行萌发期耐盐性鉴定,筛选出高耐材料 89 份,耐盐材料 105 份,中度耐盐材料 92 份,盐敏感材料 39 份,高度盐敏感材料 23 份。采用 210 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 的重度盐胁迫进一步筛选耐盐性稳定材料,对 89 份高耐盐材料进一步鉴定,最终筛选出 33 份耐盐材料。这 33 份耐盐材料可在耐盐育种中优先选择。本研究筛选出的萌发期耐盐性大豆可为耐盐性大豆品种培育、耐盐基因挖掘以及耐盐机制解析等研究提供基础材料。

参考文献

[1] VAN Z E, ZHANG Y, TESTERINK C. Salt tolerance mechanisms of plants[J]. Annual Review of Plant Biology, 2020, 71(1): 403-433.

[2] 毛庆莲,王胜. 国内盐碱地治理趋势探究浅析[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(S1): 302-306. (MAO L Q, WANG S. Brief analysis on the trend of improve saline alkali soil in China[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2020, 59(S1): 302-306.)

[3] SINGLETON P W, BOHLOOL B B. Effect of salinity on nodule formation by soybean[J]. Plant Physiology, 1984, 74(1): 72-76.

[4] 徐芬芬,楚婕妤,刘誉,等. 盐胁迫对大豆种子萌发过程中吸水和水解酶活性的影响[J]. 大豆科学, 2017, 36(1): 74-77. (XU F F, CHU J Y, LIU Y, et al. Effects of salt stress on water uptake and hydrolytic enzyme activities during soybean seed germination[J]. Soybean Science, 2017, 36(1): 74-77.)

[5] WANG D, SHANNON M C. Emergence and seedling growth of soybean cultivars and maturity groups under salinity[J]. Plant and Soil, 1999, 214(1): 117-124.

[6] 寇贺,曹敏建,那桂秋. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>和NaCl对大豆种子萌发胁迫效应的比较研究[J]. 种子, 2007(12): 27-31. (KOU H, CAO M J, NA G Q. Comparative studies on reaction at germination stage of soybean under Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> and NaCl stresses[J]. Seed, 2007(12): 27-31.)

[7] ASHRAF M, WU L. Breeding for salinity tolerance in plants[J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 1994, 13(1): 17-42.

[8] HAMWIEH A, TUYEN D D, CONG H, et al. Identification and validation of a major QTL for salt tolerance in soybean[J]. Euphytica, 2011, 179(3): 451-459.

[9] 韩毅强,高亚梅,杜艳丽,等. 大豆耐盐碱种质资源鉴定[J]. 中国油料作物学报, 2021, 43(6): 1016-1024. (HAN Y Q, GAO Y M, DU Y L, et al. Identification of saline-alkali tolerant germplasm resources of soybean during the whole growth stage[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2021, 43(6): 1016-1024.)

[10] SHELKE D B, PANDEY M, NIKALJE G C, et al. Salt responsive physiological, photosynthetic and biochemical attributes at early seedling stage for screening soybean genotypes[J]. Plant

Physiology and Biochemistry, 2017, 118: 519-528.

[11] 严勇亮, 张金波, 路子峰, 等. 大豆种质资源耐盐性鉴定与评价[J]. 新疆农业科学, 2021, 58(1): 65-71. (YAN Y L, ZHANG J B, LU Z F, et al. Evaluation of salt tolerance in soybean germplasm resources[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2021, 58(1): 65-71.)

[12] 陈二影, 王润丰, 秦岭, 等. 谷子芽期耐盐碱综合鉴定及评价[J]. 作物学报, 2020, 46(10): 1591-1604. (CHEN E Y, WANG R F, QIN G, et al. Comprehensive identification and evaluation of foxtail millet for saline-alkaline tolerance during germination[J]. Acta Agronomica Sinica, 2020, 46(10): 1591-1604.)

[13] 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): 8265-8271. (JIN H X, GUO D D, YANG Q H, et al. Comprehensive evaluation of salt tolerance in soybean germination period by fuzzy subordinate function method [J]. Molecular Plant Breeding, 2021, 19(24): 8265-8271.)

[14] KAN G, ZHANG W, YANG W, et al. Association mapping of soybean seed germination under salt stress[J]. Molecular genetics and genomics, 2015, 290(6): 2147-2162.

[15] CHEN H, CUI S, FU S, GAI J, YU D. Identification of quantitative trait loci associated with salt tolerance during seedling growth in soybean (*Glycine max* L.) [J]. Australian Journal of Agricultural Research, 2008, 59(12): 1086-1091.

[16] 张国伟, 路海玲, 张雷, 等. 棉花萌发期和苗期耐盐性评价及耐盐指标筛选[J]. 应用生态学报, 2011, 22(8): 2045-2053. (ZHANG G W, LU H L, ZHANG L, et al. Salt tolerance evaluation of cotton (*Gossypium hirsutum*) at its germinating and seedling stages and selection of related indices [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(8): 2045-2053.)

[17] 盖如玉. 大豆种质资源的耐盐性鉴定和多样性分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007. (GAI R Y. Salt-tolerance evaluation and genetic diversity analysis on soybean germplasm resources [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2007.)

[18] 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 at germination stage[J]. Journal of Shanxi Agriculture Sciences, 2019, 47(5): 770-774, 779.)

[19] 张兆宁, 李江辉, 赵怡宇, 等. 不同程度盐胁迫下大豆萌发期耐盐性鉴定[J]. 大豆科学, 2023, 42(3): 335-343. (ZHANG Z J, LI J H, ZHAO Y N, et al. Salt tolerance indentification of soybean at germination stage under different salt stess degrees[J]. Soybean Science, 2023, 42(3): 335-343.)

[20] 张新草, 薛项潇, 姜深, 等. 大豆种质发芽期耐盐碱性鉴定及指标筛选[J]. 西北农业学报, 2020, 29(3): 374-381. (ZHANG X C, XIAO X X, JIANG S, et al. Identification and index screening of salt and alkalinity tolerance in soybean germplasm during germination stage [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2020, 29(3): 374-381.)

[21] LI Y. Effect of salt stress on seed germination and seedling growth of three salinity plants[J]. Pakistan journal of biological sciences: PJBS, 2008, 11(9): 1268-1272.

[22] 杨阳, 苏文君, 杜光辉, 等. 大麻萌发期和苗期耐盐性评价及耐盐指标筛选[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2016, 31(3): 392-397. (YANG Y, SU W J, DU G H, et al. Evaluation for salt tolerance of hemp at germinating and seedling stages and selection of salt tolerance indices [J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2016, 31(3): 392-397.)

[23] 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. Related indices selection of soybean salt tolerance at germination and seedling stages [J]. Soybean Science, 2018, 37(2): 215-223.)

[24] 刘光宇. 耐盐大豆文丰7号苗期耐盐性的生理特性分析及耐盐基因精细定位[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011. (LIU G Y. Analysis of soybean physiological responses to salinity stress and mapping of salt tolerance gene at seeding stage [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011.)

[25] ABEL G H, MACKENZIE A J. Salt tolerance of soybean varieties (*Glycine max* L. Merrill) during germination and later growth [J]. Crop Science, 1964, 4(2): 157-161.

[26] 常汝镇, 孙建英, 李秀兰, 等. 中国大豆品种资源目录[M]. 北京: 农业出版社, 1990: 550-552. (CHANG R Z, SHUN J Y, LI X L, et al. China soybean variety resource catalogue [M]. Agricultural Publishing House, 1990: 550-552.)

[27] 邵桂花. 大豆种质资源耐盐性田间鉴定方法[J]. 作物杂志, 1986(3): 36-37. (SHAO G H, Field identification of salt tolerance in soybean germplasm resources [J]. Crops Journal, 1986(3): 36-37.)