

## 大豆耐盐碱种质资源鉴定

韩毅强<sup>1,3</sup>, 高亚梅<sup>1</sup>, 杜艳丽<sup>2</sup>, 张玉先<sup>2,3</sup>, 杜吉到<sup>2,3\*</sup>, 张文慧<sup>2</sup>, 潘绍玉<sup>4</sup>

1. 黑龙江八一农垦大学生命科学技术学院, 黑龙江 大庆, 163319;
2. 黑龙江八一农垦大学农学院, 黑龙江 大庆, 163319;
3. 国家杂粮工程技术研究中心, 黑龙江 大庆, 163319;
4. 大庆覃农食用菌科技有限公司, 黑龙江 大庆, 163217)

**摘要:** 盐碱胁迫伴随作物生长各个阶段, 筛选获得全生育期耐盐碱大豆资源意义重大。试验通过测定大庆地区盐碱土含盐碱种类、含盐量及pH值等指标, 确定筛选用盐碱种类、浓度。在培养皿、发芽袋和盆栽试验筛选中, 通过大豆芽期发芽率、芽苗期物质生长量、成熟期物质生长量鉴定耐盐碱大豆种质。结果显示大庆地区盐碱土壤为硫酸盐苏打盐碱土, 确定盐碱溶液为NaCl、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>、NaHCO<sub>3</sub>和Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(摩尔比为1:1:9:9)的混合盐碱溶液, 以Na离子含量计算总盐浓度为80 mmol·L<sup>-1</sup>, 溶液pH值为8.9, 盆栽筛选用土壤盐含量为3.3‰, pH值为8.9。鉴定的887份种质资源中种皮颜色有黑、褐、红、绿、黄及双色等, 相关性分析发现大豆耐盐碱性与大豆种皮颜色极显著正相关。通过芽期耐盐碱鉴定, 887份大豆资源中筛选获得296份耐以上资源, 进一步芽苗期筛选有123份显示高耐, 再经过全生育期筛选获得7份高耐资源, 5份来源于南方, 2份来源于黄淮, 62份耐资源, 盆栽筛选比例为56.10%。本研究建立了从芽期、芽苗期到全生育期的逐级筛选方法, 从887份大豆种质资源中筛选获得69份耐盐碱资源, 为耐盐碱育种与耐盐碱基因资源利用提供基础材料。

**关键词:** 大豆资源; 全生育期; 耐盐碱; 筛选方法

中图分类号: S326 文献标识码: A 文章编号: 1007-9084(2021)06-1016-09

### Identification of saline-alkali tolerant germplasm resources of soybean during the whole growth stage

HAN Yi-qiang<sup>1,3</sup>, GAO Ya-mei<sup>1</sup>, DU Yan-li<sup>2</sup>, ZHANG Yu-xian<sup>2,3</sup>,  
DU Ji-dao<sup>2,3\*</sup>, ZHANG Wen-hui<sup>2</sup>, PAN Shao-yu<sup>4</sup>

1. College of Life Science and Technology, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China;
2. College of Agriculture, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China;
3. National Coarse Cereals Engineering Research Center, Daqing 163319, China;
4. Daqing Tannong Edible Mushrooms Technology Co., Ltd, Daqing 163217, China)

**Abstract:** Saline-alkali stress always exists in all stages of crop, and it is of great significance to screen saline-alkali tolerant soybean resources in the whole growth period. The salt species, salt content and pH value of saline-alkali soil in Daqing area were firstly measured, then the salt species and concentration of salt for screening were determined. In culture dish, germination bag and pot screening experiment, the saline-alkali tolerance of soybean was evaluated by the germination rate, the amount of matter at seedling stage and the dry matter weight at maturity stage. The results showed that the soil in Daqing area was sulfate soda saline-alkali soil, and the saline alkali solution is the mixed saline alkali solution of NaCl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaHCO<sub>3</sub> and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (molar ratio is 1:1:9:9), and the total salt concentration calculated by Na ion content is 80 mmol · L<sup>-1</sup>, and the pH value of the solution is 8.9. Therefore, the salt content and pH value of soil in pot experiment were 3.3 ‰ and 8.9, respectively. Among the 887 soybean cultivars identified, the seed coat colors were black, brown, red, green, yellow and double color, and the correlation anal-

收稿日期: 2020-12-11

基金项目: 国家重点研发计划子课题(2016YFD0100201-03); 校内培育课题资助计划项目(XZR2015-12)

作者简介: 韩毅强(1976-), 男, 河北宣化, 副教授, 博士, 现主要从事作物生理生化研究, E-mail: hyq420@163.com

\* 通讯作者: 杜吉到(1973-), 男, 黑龙江鸡西, 教授, 博士, E-mail: djldbynd0@163.com

ysis showed that there was a significant positive correlation between salt tolerance and seed coat color of soybean. 296 tolerance soybean cultivars were selected from 887 soybean resources in germination stage, and 123 cultivars among 296 cultivars were identified as high resistance in germination and seedling stage, furthermore 7 resistant soybeans, including 5 from South China, 2 from Huanghuai, and 62 tolerant soybeans were obtained in the whole growth stage, and the proportion of pot screening was 56.10%. This study established a stepwise screening method from germination stage, seedling stage to the whole growth stage, and 69 salt and alkali resistant resources were selected from 887 soybean germplasm resources, which provided material basis for salt tolerance breeding and utilization of salt tolerant gene resources.

**Key words:** soybean resources; whole growth stage; saline-alkali tolerance; screening method

中国是盐碱地大国,盐碱地面积世界第三,土壤的盐碱化日益严重<sup>[1,2]</sup>。中国盐碱地主要分布在西北、东北、华北及滨海等地区(我国盐碱土分布区是根据它的土壤类型和气候条件变化决定的,分为滨海盐渍区、黄淮海平原盐渍区、荒漠及荒漠草原盐渍区、草原盐渍区四个大类型)<sup>[3-5]</sup>。盐碱地的离子成分在不同地区不同,其中碱土面积超过盐土,由碱性盐 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 等所造成的土壤碱化问题比中性盐所造成的土壤盐化问题更加难以解决<sup>[6]</sup>。栽培大豆属于中度耐盐作物,土壤盐度阈值大约在 $5\text{ ds/m}^{[7-9]}$ ,对盐碱的阈值没有详细论断,大豆不同基因型种质对盐碱耐性具有差异性,建立一种稳定、科学的鉴定方法非常必要,通过耐盐碱筛选可以获得耐盐碱种质资源。大豆耐盐碱的鉴定大多数采用了现有的非生物胁迫的鉴定方法,通过水培法或大田法进行鉴定。中国农业科学院作物科学研究所采用地下咸水(主要含 $\text{NaCl}$ )与自来水配置的溶液对1700余份大豆资源进行鉴定,筛选出全生育期耐盐品种7个<sup>[10]</sup>;后又采用 $210\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NaCl}$ 对941份大豆种质通过芽期和苗期筛选,获得1级耐盐品种21份<sup>[11]</sup>。沈阳农业大学农学院对100份种子分别应用 $110\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NaCl}$ 或 $37.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ Na}_2\text{CO}_3$ 处理筛选获得5个高耐盐品种、7个高耐碱品种,2个既高耐碱又高耐盐品种<sup>[12]</sup>。张彦威等对161份黄淮海地区的大豆资源进行苗期和田间耐盐鉴定,筛选出12个适合黄河三角洲轻度盐碱地区种植的大豆品种<sup>[13]</sup>。肖鑫辉对津唐沿海地带895份野生大豆种群应用海水养殖池池埂碱土进行鉴定,获得野生耐盐碱大豆资源85份<sup>[14]</sup>。黑龙江省农科院对860份种子资源用 $\text{pH}10$ 的盐碱溶液(水+碳酸钠+1%盐)进行大豆浸种筛选和田间筛选,获得6份抗性资源(1级),73份耐性资源(2级)<sup>[15]</sup>。东北农业大学应用 $\text{NaHCO}_3$ 对142份大豆材料进行耐碱性筛选,通过芽期、苗期和成株期筛选获得耐碱品种4个<sup>[16]</sup>。

内蒙古民族大学对18个大豆品种生长25天后利用 $60\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 混合盐( $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )处理进行耐盐碱性鉴定,鉴定出4个大豆耐碱品种<sup>[17]</sup>。中国农业科学院作物科学研究所、延安大学、山东省农作物种质资源中心等单位后续又开展了少量大豆耐盐资源的筛选<sup>[18-20]</sup>。

盐碱(盐)胁迫不同于其他非生物胁迫的突发性、阶段性,盐碱胁迫基本上伴随作物生长的整个生育期<sup>[21]</sup>,借鉴和使用其他非生物胁迫鉴定的方法并不可行。前人研究盐或碱胁迫时发现作物的芽期、苗期及花荚期对盐的耐受性并不同<sup>[10,13,18,21]</sup>,因此鉴定全生育期均能够耐受盐碱的品种更具意义。现有鉴定方法主要是通过控制 $\text{NaCl}$ 或 $\text{NaHCO}_3$ 筛选耐盐或碱性大豆品种,很少进行盐碱混合的筛选,而盐和碱对植物生长胁迫并不完全相同,很多地区盐化和碱化常常同时发生,盐、碱对植物的危害程度从大到小依次是盐碱胁迫、碱胁迫、盐胁迫<sup>[22-24]</sup>,因此筛选耐盐碱作物便于生产者利用。盐碱土壤有多种类型,需要针对性地进行筛选,目前尚没有一种专门进行大豆耐盐碱鉴定的成型方法。为此以大庆地区的盐碱土壤为例,研究不同大豆资源对这种盐碱的耐受性,为育种者提供相应的大豆种质资源,同时提供一种更加细致、合理稳定的大豆耐盐碱鉴定方法,作为可供其它作物借鉴的鉴定耐盐碱种质资源方法。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

土壤来自大庆市盐碱地,大豆种质资源主要来自于中国农业科学院作物科学研究所和黑龙江八一农垦大学农学院。分别对种子种皮颜色、子叶颜色、种脐颜色、茸毛色、花色,生长习性进行了分析。

### 1.2 土壤理化指标测定方法

对大庆市龙凤区(东经 $125.218901^\circ$ ,北纬

46. 591752°) 周边地表有盐碱斑块的地段进行土壤调查, 共调查 5 块标准地。在每块标准地内取四个采样点, 在 0~25 cm 土壤层取样, 用于土壤理化指标测定。其中一个取样点采集土壤用于盆栽试验。

对每块标准地分别测定 pH 值、有机质、碱化度、交换性钠和水溶性总盐量等指标。土壤 pH 值采用盐浸法(0.01 mol/L 氯化钙盐溶液与土之比为 5:1)测定, 土壤有机质含量测定采用重铬酸钾氧化法, 土壤阳离子交换量采用乙酸钠-火焰光度法测定, 土壤交换性钠离子采用乙酸铵-火焰光度法测定, 碱化度(ESP)为交换性钠与阳离子交换量的比值, 即  $ESP = \frac{\text{交换性钠}(\text{cmol/kg})}{\text{阳离子交换量}(\text{cmol/kg})}(\%)$ <sup>[25,26]</sup>。土壤全盐量采用(土:水=1:5 的浸提液)残渣烘干-质量法测定;  $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{HCO}_3^-$  采用双指示剂-中和滴定法、 $\text{Cl}^-$  用硝酸银滴定法、 $\text{SO}_4^{2-}$  使用 EDTA 间接络合滴定法测定<sup>[27,28]</sup>

### 1.3 耐盐碱胁迫筛选

1.3.1 芽期耐盐碱胁迫筛选方法 依据土壤调查结果和前人研究结果<sup>[28]</sup>, 确定芽期和芽苗期筛选盐碱浓度和 pH 值。将大豆种子均匀平铺在直径 9 cm 的玻璃培养皿中, 种子下面铺一层滤纸, 种子上面覆盖一层滤纸, 每个培养皿放 20 粒大豆, 每个培养皿中分别加入 10 mL 的混合盐碱溶液浸透双层滤纸, 加盖后置于 25℃ 培养箱中暗培养, 每 2 d 更换一次同条件滤纸, 加入 2 mL 的混合盐碱溶液以保持水势不变, 对照采用清水处理。每个处理设 4 次重复, 共培养 7 d, 统计发芽率、发芽势和发芽指数。每一指标按照发芽率盐碱胁迫指数计算,

$$\text{盐碱胁迫指数}(\%) = \frac{(\text{对照发芽率} - \text{盐胁迫发芽率})}{\text{对照发芽率}} \times 100\%。$$

3 个指标中取最高值对盐碱危害程度分级: 胁迫等级采用 5 级制: 1 级 0.0~20.0 高耐, 2 级 20.1~40.0 耐, 3 级 40.1~60.0 中耐, 4 级 60.1~80.0 敏感, 5 级 80.1~100.0 极敏感。

1.3.2 芽苗期耐盐碱胁迫筛选方法 对在芽期筛选获得的耐和高耐的资源再进行芽苗期筛选, 芽苗期使用培养袋, 培养袋宽 30 cm, 高 40 cm, 采用 1/3 Hoagland's 营养液(盐含量  $0.725 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 与摩尔比为 1:1:9:9, 浓度为  $80 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $\text{NaCl}$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{NaHCO}_3$  和  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  混合盐碱溶液, 总盐浓度约为  $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ , pH 8.9, 每个培养袋播种 10 粒种子, 重复 3 次, 共培养 20 d, 每 5 d 按照失水量补入水分, 20 d 后测定指标, 进行盐碱危害程度分级。胁迫等级采用 5 级制: 1 级, 高耐, 指真叶长出(半数), 2 级, 耐, 指子叶长出(半数), 3 级, 中耐, 指根长 > 1 cm, 4 级,

敏感, 指根长 < 1 cm, 5 级极敏感指不发芽(半数)。

1.3.3 全生育期耐盐碱胁迫筛选方法 对在芽苗期筛选获得的耐和高耐的资源再进行全生育期筛选, 采用盆栽的方式, 选用直径 30 cm, 高 40 cm 的桶作为盆栽桶, 土壤采用苏打盐碱土和田园土调制为 pH 值  $8.9 \pm 0.5$ , 全盐含量  $3.3 \text{ g/kg}$  的土壤, 土壤需搅拌均匀, 每桶装土 23 kg, 每桶播种 10 株, 播种深度 3 cm, 重复 3 次, 温室温度控制在白天 25℃, 16 h, 晚间 18℃, 8 h, 成熟后考查成熟植株数、株高、荚数、籽粒数、茎干重、荚干重、籽粒干重。耐盐碱指数: 采用隶属函数法对各个品种进行耐盐碱性评价

$$X_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(I - I_{min})}{(I_{max} - I_{min})},$$

$n$  表示考查的指标数,  $I$  为试验品种的某一指标值平均值,  $I_{max}$ ,  $I_{min}$  分别为试验品种的  $I$  指标的最大值和最小值, 将各个指标的隶属函数值求和并计算平均值作耐盐碱指数<sup>[29,30]</sup>。

1 级高耐: 成株率  $\geq 80\%$  且耐盐碱指数  $\geq 80\%$ ; 2 级耐: 成株率  $\geq 80\%$  且耐盐碱指数 < 80%, 成株率 60%~80% 且耐盐碱指数  $\geq 60\%$ ; 3 级中耐: 成株率 60%~80% 且耐盐碱指数 < 60%, 成株率 40%~60% 且耐盐碱指数  $\geq 40\%$ ; 4 级敏感: 成株率 40%~60% 且耐盐碱指数 < 40%, 成株率 20%~40% 且耐盐碱指数  $\geq 20\%$ ; 5 级极敏感: 成株率 20%~40% 且耐盐碱指数 < 20%, 成株率 < 20%。

### 1.4 大豆耐盐碱性与种子性状的相关性分析

对盐碱级别赋值, 按照级别从高耐、耐、中耐、敏感、极敏感分别赋值 1、2、3、4、5。同时, 对种皮颜色、子叶颜色、种脐颜色、茸毛色、花色, 生长习性等性状进行赋值, 颜色越浅数值越大, 分成 5 级, 与大豆耐盐碱级别进行相关性分析。应用 Microsoft Excel 2016 处理数据, SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析, 最小极差法(LSD)进行多重比较( $P < 0.05$ )。Pearson 法进行相关性分析( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤盐分分析

表 1 结果显示, 大庆地区盐碱地土壤 pH 值平均为 8.9, 全盐含量 4.78‰, 其中  $(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ :  $(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) = 1.61$ ,  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ , 表明调查的盐碱土壤主要是硫酸盐苏打盐碱土<sup>[31,32]</sup>。模拟硫酸盐苏打盐碱土按以下比例配置盐碱溶液, 包含  $\text{NaCl}$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{NaHCO}_3$  和  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , 摩尔比为 1:1:9:9, 筛选盐碱浓度确定为总 Na 盐为  $80 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ , pH 8.9, 应用其对大豆资源进行室内筛选。

2.2 大豆种质资源统计分析

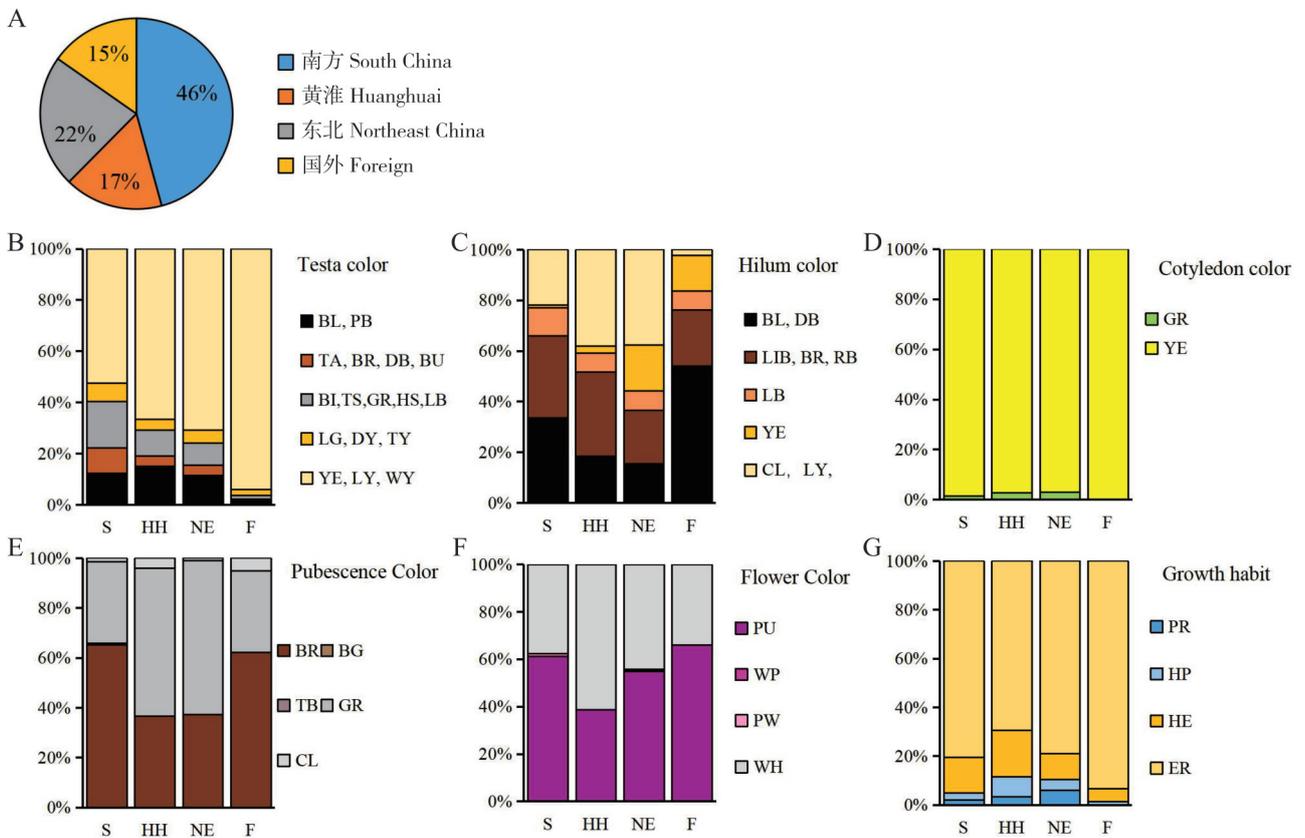
分析887份大豆种质资源,南方品种406份、东北品种199份、黄淮品种147份、国外品种135份,见

图1A。统计各种性状发现其中种皮颜色黑、乌黑有97份,占10.94%;茶、褐色、深褐色、紫红有55份,占6.20%;双色、虎斑、鞍挂、绿、淡褐有108份,占

表1 土壤盐分物理化学指标

Table 1 Physical and chemical indexes of soil salinity

试验地 Field	pH	有机质 Soil organic substance / (g·kg <sup>-1</sup> )	交换性钠 Exchangeable sodium / (mmol·kg <sup>-1</sup> )	碱化度 Degree of alkalisation / %	总盐 Total salt / (g·kg <sup>-1</sup> )	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> /(mmol·kg <sup>-1</sup> )	Cl <sup>-</sup> /(mmol·kg <sup>-1</sup> )	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /(mmol·kg <sup>-1</sup> )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /(mmol·kg <sup>-1</sup> )
1	8.1±0.3	20.23±8.32	22.45±8.98	33.56±10.34	3.91±0.31	7.35±0.84	11.4±2.35	25.36±8.37	9.45±1.35
2	9.1±0.9	15.88±8.33	34.48±15.79	42.66±20.72	5.43±0.22	8.31±1.56	15.32±2.65	40.21±11.29	19.24±1.49
3	8.9±0.5	48.3±12.43	33.46±13.38	40.59±17.66	4.82±0.45	8.14±1.32	12.41±4.45	40.28±10.68	17.57±7.45
4	9.5±0.8	20.56±14.65	47.11±18.84	53.01±22.26	4.97±0.54	9.12±0.47	15.83±1.24	48.91±6.98	14.81±2.54
平均 Average	8.9±0.5	26.24±12.87	34.37±8.74	42.45±6.97	4.78±0.55	8.23±0.63	13.74±1.87	38.69±8.47	15.26±3.71



注:A:种质分布,S南方品种,HH黄淮品种,NE东北品种,F国外品种;B:种皮颜色分布,BL黑色,PB乌黑色,TA黄褐色,BR棕色,DB深棕色, BU酒红色,BI双色,TS虎斑,GR绿色,HS鞍挂,LB淡褐色,LG淡绿色,DY深黄色,TY浓黄色,YE黄色,LY淡黄,WY白黄色;C:种脐色分布,BL黑色,DB深棕色,LIB:淡黑色,BR棕色,RB红褐色,LB淡褐色,YE黄色,CL无色,LY淡黄;D:子叶色分布,GR绿色,YE黄色;E:茸毛色分布,BR棕色,BG棕灰色,TB灰棕色,GR灰色,CL无色;F:花色分布,PU紫色,WP白紫色,PW紫白色,WH白色;G:生长习性分布,PR蔓生,HP半蔓生, HE半直立,ER直立。

Note: A: Germplasm distribution; S, Southern; HH, Huang huai; NE, Northeast; F, foreign cultivars. B: Testa color distribution; BL, black; PB, pitch black; TA, tawny; BR, brown; DB, dark brown; BU, burgundy; BI, bicolor; TS, tiger spot; GR, green; HS, hang the saddle color; LB, light brown; LG, light green; DY, dark yellow; TY, thick yellow; YE, yellow; LY, light yellow; WY, white yellow; C: Hilum color distribution; BL, black; DB, dark brown; LIB, light black; BR, brown; RB, reddish brown; LB, light brown; YE, yellow; CL, colorless; LY, light yellow. D: Cotyledon color distribution; GR, green; YE, yellow; E: Pubescence Color distribution; BR, brown; BG, brownish grey; TB, taupe brown; GR, gray; CL, colorless; F: Flower Color distribution; PU, purple; WP, white-purple; PW, purple white; WH, white; G: Growth habit distribution; PR, prostrate; HP, half prostrate; HE, half erect; ER, erect.

图1 大豆种质资源性状的数量分布

Fig. 1 Quantity distribution of traits of soybeans germplasm resource

12.18%;淡绿、暗黄、浓黄、深黄有48份,占5.41%;黄、淡黄、白黄有579份占65.28%,见图1B。子叶颜色有绿色16份,占1.80%;黄色852份占96.05%,见图1C。种脐颜色为黑、深褐色有267份,占30.10%;淡黑,褐色,红褐有253份,占28.52%;淡褐有81份,占9.13%;黄有63份,占7.10%;淡黄、无色有12份占1.35%,见图1D。茸毛色主要有棕色504份,占56.82%;灰色361份,占40.70%;还有少量无色、灰棕色和棕灰色,见图1E。花色有紫色504份,占56.82%;白紫色1份,占0.11%;紫白色5份,占0.56%;白色361份,占40.70%,见图1F。生长习性有蔓生的25份,占2.82%;半蔓生35份,占3.95%;半直立115份,占12.97%;直立692份,占78.02%,见图1G。

### 2.3 耐盐碱大豆种质资源筛选

在887份资源中,芽期耐盐碱筛选资源有150份高耐,146份耐,519份中耐,68份敏感,4份极敏感。芽期筛选获得耐性以上资源296份,对其进行芽苗期盐碱胁迫试验,其中高耐大豆资源有123份,耐91份,中耐10份,敏感2份,极敏感70份。上述

结果表明芽期耐盐碱的大豆品种在芽苗期大多数仍然具有耐盐碱性,耐盐碱品种214份占72.3%,但也有在芽期有较高发芽率而芽苗期不生长的品种12份和不发芽品种60份,见图2。

采用盆栽方式进行大豆全生育期耐盐碱性试验,试验对象为芽苗期筛选获得高耐性资源123份。在全生育期筛选到高耐大豆资源7份,其中5份南方资源,2份黄淮资源;耐品种62份,其中34份南方资源,7份黄淮资源,17份东北资源,4份外国资源,见表2;中耐品种3级35份;敏感品种13份;极敏感品种6份。黑黄豆、京山布祆豆、黑豆、上树黄豆四个大豆资源品种在三次耐盐碱筛选中均为高耐,见图2、表2。

### 2.4 耐盐碱性和大豆相关性状分析

对盐碱级别赋值,从高耐、耐、中耐、敏感、极敏感分别赋值1、2、3、4、5。通常认为野生大豆抗逆性较强,野生大豆籽粒较小,黑色种皮,蔓生,为此统计了种皮颜色、子叶颜色、种脐颜色、茸毛色、花色,生长习性并赋值,分成5级,颜色越浅数值越大,通过赋值与大豆耐盐碱级别进行相关性分析,具体赋

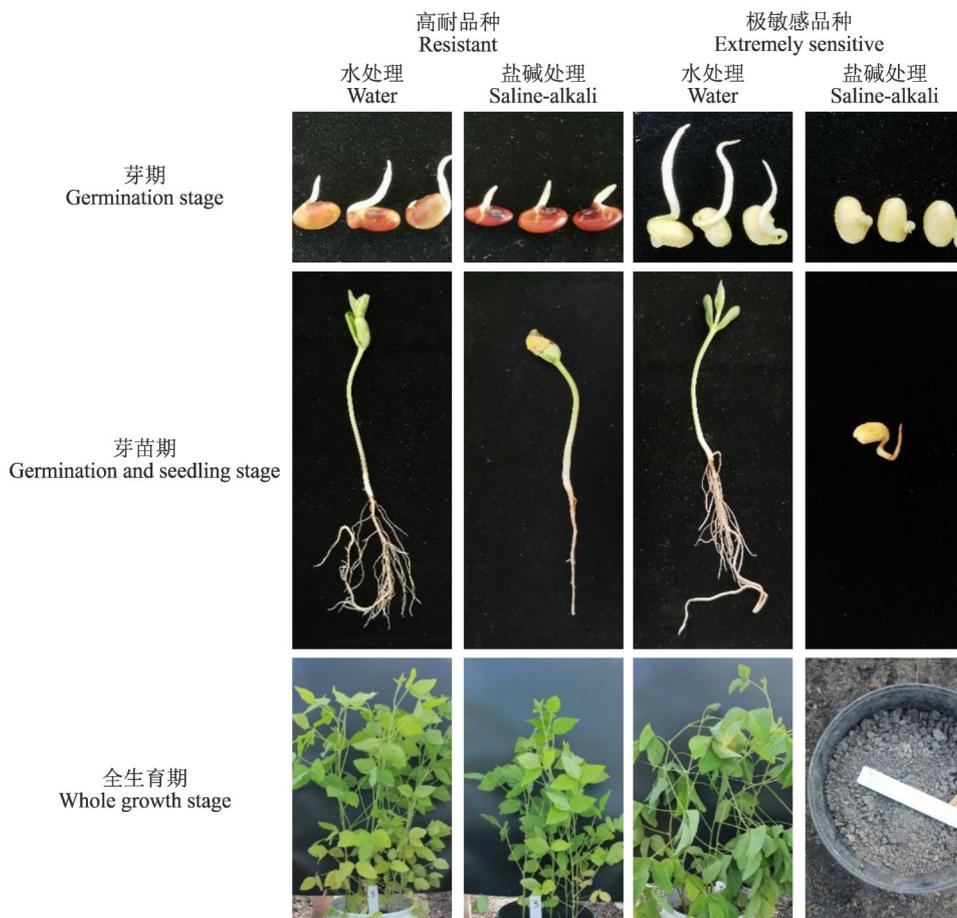


图2 不同大豆种质资源对盐碱的耐受性

Fig. 2 Saline-alkali tolerance of the soybean resources

表2 全生育期耐盐碱大豆资源筛选中耐以上品种  
Table 2 Varieties of salt-tolerant soybean resources in the whole growth period

品种 Variety	来源 Source	耐盐碱级别 Salt and alkaline tolerance			品种 Variety	来源 Source	耐盐碱级别 Salt and alkaline tolerance		
		芽期	芽苗期	全生育期			芽期	芽苗期	全生育期
		B-S	S-S	WG-S			B-S	S-S	WG-S
黑黄豆	南方	高耐	高耐	高耐	六十日白豆	东北	高耐	高耐	耐
Heihuangdou	S	R	R	R	Liushiribaidou	NE	R	R	T
京山布祆豆	南方	高耐	高耐	高耐	白皮黄豆	东北	高耐	高耐	耐
Jingshanbuaodou	S	R	R	R	Baipihuangdou	NE	R	R	T
黑豆	黄淮	高耐	高耐	高耐	隆昌大黑豆	南方	高耐	高耐	耐
Heidou	HH	R	R	R	Longchangdaheidou	S	R	R	T
上树黄豆	南方	高耐	高耐	高耐	黑秣食豆	东北	高耐	高耐	耐
Shangshuhuangdou	S	R	R	R	Heimoshidou	NE	R	R	T
早黄豆	南方	耐	高耐	高耐	大颗黑豆	东北	高耐	高耐	耐
Zaohuangdou	S	T	R	R	Dakeheidou	NE	R	R	T
细黄豆	南方	耐	高耐	高耐	紫豆	南方	高耐	高耐	耐
Xihuangdou	S	T	R	R	Zidou	S	R	R	T
黑豆	黄淮	耐	高耐	高耐	ER-HUAN-YAN	东北	高耐	高耐	耐
Heidou	HH	T	R	R	岳池八月黄	NE	R	R	T
黑大豆	南方	高耐	高耐	耐	Yuechibayuehuang	南方	耐	高耐	耐
Heidadou	S	R	R	T	新垒头茶豆	S	T	R	T
虎皮豆	南方	高耐	高耐	耐	Xinleitouchadou	黄淮	耐	高耐	耐
Hupidou	S	R	R	T	九里埂九月黄	HH	T	R	T
山白豆	南方	高耐	高耐	耐	Jiuligengjiuyuehuang	南方	耐	高耐	耐
Shanbaidou	S	R	R	T	铁籽豆	S	T	R	T
懒人豆-4	南方	高耐	高耐	耐	Tiezidou	南方	耐	高耐	耐
Lanrendou-4	S	R	R	T	红皮大豆	S	T	R	T
黑黄豆	南方	高耐	高耐	耐	Hongpidadou	黄淮	耐	高耐	耐
Heihuangdou	S	R	R	T	黄滚豆	HH	T	R	T
花脸豆	南方	高耐	高耐	耐	Huanggundou	东北	耐	高耐	耐
Hualiantou	S	R	R	T	尼日利亚4号	NE	T	R	T
凤山八月豆	南方	高耐	高耐	耐	Niriliya4hao	国外	耐	高耐	耐
Fengshanbayuedou	S	R	R	T	马山仁蜂黄豆	F	T	R	T
获嘉红黑豆	黄淮	高耐	高耐	耐	Mashanrenfenghuangdou	南方	耐	高耐	耐
Huojiahongheidou	HH	R	R	T	黑豆子	S	T	R	T
化眉豆	南方	高耐	高耐	耐	Heidouzi	南方	耐	高耐	耐
Huameidou	S	R	R	T	黑皮大豆	S	T	R	T
猫眼豆	南方	高耐	高耐	耐	Heipidadou	南方	耐	高耐	耐
Maoyandou	S	R	R	T	Altona	S	T	R	T
龙山黑皮豆	南方	高耐	高耐	耐	Altona	国外	耐	高耐	耐
Longshanheipidou	S	R	R	T	黄脐	F	T	R	T
圆褐黄豆	黄淮	高耐	高耐	耐	Huangqi	东北	耐	高耐	耐
Yuanhehuangdou	HH	R	R	T	茶山黑豆	NE	T	R	T
串蔓黑豆	东北	高耐	高耐	耐	Chashanheidou	南方	耐	高耐	耐
Chuanmanheidou	NE	R	R	T	牛眼睛	S	T	R	T
寺村黑豆	南方	高耐	高耐	耐	Niuyanqing	东北	耐	高耐	耐
Sicunheidou	S	R	R	T	江南青	NE	T	R	T
老鼠皮	黄淮	高耐	高耐	耐	Jiangnanqing	黄淮	耐	高耐	耐
Laoshupi	HH	R	R	T	青皮豆	HH	T	R	T
龙岩花罗丝	南方	高耐	高耐	耐耐	Qingpidou	南方	耐	高耐	耐
Longyanhualuosi	S	R	R	T		S	T	R	T

续表

品种 Variety	来源 Source	耐盐碱级别 Salt and alkaline tolerance			品种 Variety	来源 Source	耐盐碱级别 Salt and alkaline tolerance		
		芽期 B-S	芽苗期 S-S	全生育期 WG-S			芽期 B-S	芽苗期 S-S	全生育期 WG-S
小黑豆 Xiaoheidou	南方 S	高耐 R	高耐 R	耐 T	C1640	南方 S	耐 T	高耐 R	耐 T
金南黄豆 Jinnanhuangdou	南方 S	高耐 R	高耐 R	耐 T	Z13-642-4	黄淮 HH	耐 T	高耐 R	耐 T
黑豆 Heidou	东北 NE	高耐 R	高耐 R	耐 T	八月炸 Bayueza	东北 NE	耐 T	高耐 R	耐 T
Altona	国外 F	高耐 R	高耐 R	耐 T	大黄豆<1> Dahuangdou<1>	东北 NE	耐 T	高耐 R	耐 T
保山大豆 Baoshandadou	南方 S	高耐 R	高耐 R	耐 T	建财乡黑豆 Jiancaixiangheidou	南方 S	耐 T	高耐 R	耐 T
长沙泥豆 Changshanidou	南方 S	高耐 R	高耐 R	耐 T	肖张大黄豆 Xiaozhangdahuangdou	东北 NE	耐 T	高耐 R	耐 T
太仓黄毛豆乙 Taicanghuangmaodou	南方 S	高耐 R	高耐 R	耐 T	宾县黑豆 Binxianheidou	东北 NE	耐 T	高耐 R	耐 T
黄豆子-4 Huangdouzi-4	南方 S	高耐 R	高耐 R	耐 T	褐脐 Heqi	东北 NE	耐 T	高耐 R	耐 T
红梅豆<2> Hongmeidou<2>	东北 NE	高耐 R	高耐 R	耐 T	六月黄 Liuyuehuang	南方 S	耐 T	高耐 R	耐 T
花色豆 Huasedou	南方 S	高耐 R	高耐 R	耐 T	Sprite87	国外 F	耐 T	高耐 R	耐 T
崇庆黑豆 Chongqingheidou	南方 S	高耐 R	高耐 R	耐 T	Sprite87	国外 F	耐 T	高耐 R	耐 T
黑滚豆 Heigundou	东北 NE	高耐 R	高耐 R	耐 T	新桥黑豆 Xinqiaoheidou	南方 S	耐 T	高耐 R	耐 T

注: B-S: 芽期; S-S: 芽苗期; WG-S: 全生育期; S: 南方品种; HH: 黄淮品种; NE: 东北品种; F: 国外品种; R: 高耐; T: 耐

Note: B-S: Bud stage; S-S: Seedling stage; WG-S: Whole growth stage; S: Southern; HH: Huang Huai; NE: Northeast; F: foreign; R: Reffstant; T: Tolerance

值情况见表3。

相关性分析,发现种皮色与大豆的芽期、芽苗期、整个生育期耐盐碱性都直接相关,颜色越深耐盐碱性越强。种脐色和生长习性仅和全生育期耐盐碱性正显著极相关,种脐颜色越深耐盐碱性越强,蔓生性大豆耐盐碱性强,见表4。

### 3 结论与讨论

在作物盐碱耐性研究中,为了简单化问题科学家在筛选资源时多采用NaCl作为唯一中性盐进行耐盐性研究,获得了很多可喜的结果<sup>[11,13,33]</sup>。然而,盐碱土中除了中性盐分外,还有大量碱性盐<sup>[21]</sup>,通过NaCl筛选的耐盐性作物并不都适合在盐碱土上生长,为此,有必要对作物进行复合盐碱的筛选,更准确地获得适应盐碱土壤生长的作物品种(系)。本试验对大庆地区盐碱土调查发现,大庆盐碱土壤类型属硫酸盐型苏打盐碱土,pH 8.9,全盐含量

4.78%,水培采用NaCl、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>、NaHCO<sub>3</sub>和Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>四种盐模拟大庆地区盐碱土条件,尽量保持了其pH值和盐分含量比例。

前人研究结果发现大豆萌发期、出苗期、苗期等不同生育阶段的耐盐碱性没有直接相关性,说明不同发育时期存在不同的耐盐碱机制<sup>[9,24,31]</sup>。我们的结果表明,芽期具有耐受性的大豆资源,在芽苗期耐受盐碱能力有较大差异,有214份具有耐受性,而有72份在芽苗期转变为敏感品种,说明芽期耐受品种在改变播种方式或生长条件后耐受性发生了变化,这与大多数在盐、碱和盐碱耐受性大豆资源筛选的结果是一致的<sup>[10,12,18,34]</sup>。进一步对123份芽苗期高耐资源进行全生育期耐盐碱筛选发现了69个耐性及以上的资源,筛选比率为56.10%,有19个敏感及敏感以下的大豆资源。试验中耐性材料大约占整个887份资源的7.78%,基本与前人栽培大豆耐盐碱鉴定比例(2.10%~8.84%)相当<sup>[10-15]</sup>。本试验的

表3 大豆资源各种性状数量及赋值  
Table 3 The quantity and assignment of various characters of soybean resources

赋值 Valuation	种皮色 Testa color		子叶色 Seed coat color		种脐色 Hilum color		茸毛色 Pubescence Color		花色 Flower Color		生长习性 Growth habit	
	颜色 Colours	数量 No	颜色 Colours	数量 No	颜色 Colours	数量 No	颜色 Colours	数量 No	颜色 Colours	数量 No	性状 Traits	数量 No
	1	黑,乌黑 BL, PB	97	绿 GR	16	黑,深褐 BL, DB	267	棕 BR	477	紫 PU	504	蔓生 PR
2	茶,褐深褐,紫红 TA, BR, DB, BU	55			淡黑,褐,红褐 LIB, BR, RB	253	棕灰 BG	1	白紫 WP	1	半蔓生 HP	35
3	双,虎斑,绿,鞍挂,淡褐 BI, TS, GR, HS, LB	108			淡褐 LB	81	灰棕 TB	1				
4	淡绿,暗黄,浓黄,深黄 LG, DY, TY, DY	48			黄 YE	63	灰 GR	387	紫白 PW	5	半直立 HE	115
5	黄,淡黄,白黄 YE, LY, WY	579	黄 YE	852	无,淡黄 CL,LY	12	无 CL	1	白 WH	361	直立 ER	692

注:BL: 黑色, PB: 乌黑色, GR: 绿色, DB: 深棕色, BR: 棕色, PU: 紫色, PR: 蔓生, TA: Tawny,BU: burgundy, LIB:淡黑色, RB: 红褐色, BG: 棕灰色, WP: 白紫色, HP: 半蔓生 BI: 双色, TS: 虎斑, HS: 鞍挂, LB: 淡褐色, TB: 灰棕色, LG: 淡绿色, DY: 深黄色, TY: 浓黄色, YE: 黄色, GR: 灰色, PW: 紫白色, LY: 淡黄, WY: 白黄色, CL: 无色, WH: 白色, ER: 直立, HE: 半直立

Note: BL: black, PB: pitch black, GR: green, DB: dark brown, BR: brown, PU: purple, PR: prostrate, TA: tawny, BU: burgundy, LIB: light black, RB: red-dish brown, BG: brownish grey, WP: white-purple, HP: half prostrate BI: bicolor, TS: tiger spot, HS: hang the saddle color, LB: light brown, TB: taupe brown, LG: light green, DY: dark yellow, TY: thick yellow, YE: yellow, GR: gray, PW: purple white, LY: light yellow, WY: white yellow, CL: colorless, WH: white, ER: erect, HE: half erect

表4 大豆耐盐碱性和种子性状的相关性分析  
Table 4 Correlation analysis of saline-Alkali tolerance and seed characters of soybean

	种皮色 Testa color	子叶色 Seed coat color	种脐色 Hilum Color	茸毛色 Pubescence Color	花色 Flower Color	生长习性 Growth habit
芽期耐盐碱性 Salt tolerance of bud stage	0.230***	-0.007	0.066	0.140***	0.075*	0.035
芽苗期耐盐碱性 Salt tolerance of bud and seedling stage	0.246***	-0.054	0.114	0.101	0.089	0.119
全期耐盐碱性 Salt tolerance of whole growth stage	0.409***	-0.044	0.261**	0.124	-0.082	0.236**

注:\*表示显著( $P < 0.05$ ),\*\*表示极显著, ( $P < 0.01$ ),\*\*\*表示极显著, ( $P < 0.001$ )

Note: \* represent significance level at  $P < 0.05$ , \*\* represent significance level at  $P < 0.01$ , and \*\*\* represent significance level at  $P < 0.001$

盆栽筛选率为56.10%,筛选比例较高,因此通过室内的芽期、苗期筛选后再进行盆栽或田间筛选的方式可以减少工作量。

在实际种植中,大豆芽期和苗期的耐盐碱性直接决定能否在盐碱胁迫条件下保证全苗和壮苗,因此芽期和苗期鉴定必不可少<sup>[15,31]</sup>。芽期、苗期和室外重复筛选也保证了耐盐碱资源的可靠性。在盐碱土壤种植大豆,盐碱胁迫伴随大豆生长的一生,只是随着降雨、光照的影响在大豆某个生育时间点胁迫强度轻重有所改变<sup>[12,18]</sup>,所以耐盐碱作物需要在整个生育期都要具备良好耐受性,因此筛选获得全生育期耐盐碱作物种质资源更具有意义。试验获得3个黄色种皮全生育期耐盐碱大豆品种,较黑

色种皮大豆品种更适合作为抗盐碱育种优良供体亲本。同时,大豆耐盐碱资源为耐盐碱基因的克隆、耐盐碱机理研究提供材料。

参考文献:

[1] Xiao Y, Zhao G X, Li T, et al. Soil salinization of cultivated land in Shandong Province, China-Dynamics during the past 40 years [J]. Land Degrad Dev, 2019, 30 (4): 426-436. DOI:10.1002/ldr.3236.

[2] Cui X C, Hu J L, Wang J H, et al. Reclamation negatively influences arbuscular mycorrhizal fungal community structure and diversity in coastal saline-alkaline land in Eastern China as revealed by Illumina sequencing [J]. Appl Soil Ecol, 2016, 98: 140-149. DOI:10.1016/j.ap-

- soil.2015.10.008.
- [3] 李彬, 王志春, 孙志高, 等. 中国盐碱地资源与可持续利用研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 154-158. DOI:10.3321/j.issn:1000-7601.2005.02.032.
- [4] 杨真, 王宝山. 中国盐渍土资源现状及改良利用对策[J]. 山东农业科学, 2015, 47(4): 125-130. DOI:10.14083/j.issn.1001-4942.2015.04.032.
- [5] Sun Y P, Yang J S, Yao R J, et al. Biochar and fulvic acid amendments mitigate negative effects of coastal saline soil and improve crop yields in a three year field trial [J]. Sci Rep, 2020, 10(1): 8946. DOI: 10.1038/s41598-020-65730-6.
- [6] 杨微. 盐碱化土壤中四种常见盐分对碱地肤的胁迫作用比较[D]. 长春: 东北师范大学, 2007.
- [7] 郭宝生, 翁跃进. 大豆耐盐机理及相关基因分子标记[J]. 植物学通报, 2004, 21(1): 113-120. DOI:10.3969/j.issn.1674-3466.2004.01.015.
- [8] Ayers, Westcot. Water Quality for Agriculture [M]. Rome: Food and Agriculture Organization, 1989.
- [9] Hosseini M K, Powell A A, Bingham I J. Comparison of the seed germination and early seedling growth of soybean in saline conditions [J]. Seed Sci Res, 2002, 12(3): 165-172. DOI:10.1079/ssr2002108.
- [10] 邵桂花, 宋景芝, 刘惠令. 大豆种质资源耐盐性鉴定初报[J]. 中国农业科学, 1986, 19: 30-35.
- [11] 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.
- [12] 那桂秋, 寇贺, 曹敏建. 不同大豆品种种子萌发期耐盐碱性鉴定[J]. 大豆科学, 2009, 28(2): 352-356.
- [13] 张彦威, 刘国峰, 李伟, 等. 黄淮海地区大豆种质资源耐盐性鉴定[J]. 山东农业科学, 2018, 50(11): 33-36. DOI:10.14083/j.issn.1001-4942.2018.11.006.
- [14] 肖鑫辉, 李向华, 王克晶. 渤海湾津唐沿海野生大豆 (*Glycine soja*) 种群高盐碱胁迫反应[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(3): 290-297, 304. DOI:10.13430/j.cnki.jpgr.2010.03.017.
- [15] 罗教芬. 大豆种质资源抗盐碱鉴定[J]. 大豆科学, 1993, 12: 89.
- [16] 徐玲秀. 大豆种质资源不同生育时期耐碱性评价[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2018.
- [17] 曹帅, 杜仲阳, 向殿军, 等. 18份大豆品种耐盐碱性筛选与综合鉴定[J]. 大豆科学, 2019, 38(3): 344-352. DOI:10.11861/j.issn.1000-9841.2019.03.0344.
- [18] 刘谢香, 常汝镇, 关荣霞, 等. 大豆出苗期耐盐性鉴定方法建立及耐盐种质筛选[J]. 作物学报, 2020, 46(1): 1-8. DOI:10.3724/SP.J.1006.2020.94062.
- [19] 蒲艳艳, 李娜娜, 宫永超, 等. 山东大豆育成品种种子萌芽期耐盐性鉴定[J]. 中国农学通报, 2018, 34(16): 7-13.
- [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. DOI:10.7606/ji.ssn.1004-1389.2020.03.007.
- [21] Ha B K, Vuong T D, Velusamy V, et al. Genetic mapping of quantitative trait loci conditioning salt tolerance in wild soybean (*Glycine soja*) PI 483463 [J]. Euphytica, 2013, 193(1): 79-88. DOI:10.1007/s10681-013-0944-9.
- [22] 王佳珍, 刘倩, 高娅妮, 等. 植物对盐碱胁迫的响应机制研究进展[J]. 生态学报, 2017, 37(16): 5565-5577. DOI:10.5846/stxb201605160941.
- [23] Wang X P, Jiang P, Ma Y, et al. Physiological strategies of sunflower exposed to salt or alkali stresses: restriction of ion transport in the *Cotyledon* node zone and solute accumulation [J]. Agron J, 2015, 107(6): 2181-2192. DOI:10.2134/agronj15.0012.
- [24] Gong B, Wang X F, Wei M, et al. Overexpression of S-adenosylmethionine synthetase 1 enhances tomato callus tolerance to alkali stress through polyamine and hydrogen peroxide cross-linked networks [J]. Plant Cell Tissue Organ Cult, 2016, 124(2): 377-391. DOI:10.1007/s11240-015-0901-5.
- [25] 陈立新. 土壤实验实习教程[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2005.
- [26] 南京农学院. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1980.
- [27] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [28] 张杰, 陈立新, 乔璐, 等. 大庆市不同土壤类型盐碱化特征及评价[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(7): 119-122. DOI:10.13759/j.cnki.dlx.2010.07.007.
- [29] 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/OL]. 分子植物育种: 1-10 [2021-03-21]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20200806.1552.006.html>.
- [30] 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. DOI:10.3724/SP.J.1006.2020.04064.
- [31] 范富, 张庆国, 邵继承, 等. 通辽市盐碱地形成及类型划分[J]. 内蒙古民族大学学报: 自然科学版, 2009, 24(4): 409-413. DOI:10.3969/j.issn.1671-0185.2009.04.016.
- [32] 徐璐, 王志春, 赵长巍, 等. 等距开槽结合施用石膏改良苏打盐碱土[J]. 生态学杂志, 2012, 31(5): 1179-1185. DOI:10.13292/j.1000-4890.2012.0172.
- [33] 方义生, 曹东, 杨红丽, 等. 大豆耐盐相关基因研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2020, 42(4): 512-526. DOI:10.19802/j.issn.1007-9084.2020167.
- [34] 孔令功. 大豆种质资源苗期耐盐性鉴定与耐盐材料筛选[J]. 大豆科技, 2019(5): 4-9. DOI:10.3969/j.issn.1674-3547.2019.05.002.