



18 份大豆品种耐盐碱性筛选与综合鉴定

曹 帅¹, 杜仲阳², 向殿军¹, 李志刚¹, 孙贺祥¹, 宫晓旭¹, 刘 鹏¹

(1. 内蒙古民族大学 农学院, 内蒙古 通辽 028042; 2. 山西中医药大学 制药与食品工程学院, 山西 晋中 030619)

摘 要: 采用水培方法, 用 $60 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 混合盐 (NaHCO_3 : Na_2CO_3 的摩尔比为 9:1) 溶液, 对 18 份大豆品种的幼苗进行盐碱胁迫。处理 7 d 后, 测定株高、茎粗、叶面积、主根长、地上干重、净光合速率 (P_n)、胞间 CO_2 浓度 (C_i)、蒸腾速率 (Tr) 和气孔导度 (G_s) 等指标, 通过主成分分析法和模糊数学隶属函数法对 18 份大豆品种进行耐盐碱性综合评价, 并进行聚类分析, 筛选出相对耐盐碱的大豆品种, 从而为盐碱地大豆品种的应用提供理论依据。结果表明: 经主成分分析, 株高、主根长和净光合速率 (P_n) 的负荷量最大, 可作为衡量大豆耐盐碱性与品种筛选的主要指标。不同品种大豆材料经过模糊数学隶属函数法进行耐盐碱性排序, 品种间耐盐碱性表现出明显差异, 最后通过聚类分析, 18 份大豆品种可以被分为三大类, 其中杂交豆 5 号等 4 个品种为耐盐碱品种, 吉育 611 和吉育 299 等 11 个品种为中等耐盐碱品种, 吉育 256 和东农 63 为盐碱敏感品种。

关键词: 大豆; 盐碱胁迫; 隶属函数; 主成分分析

Salt and Alkaline Tolerance Screening and Comprehensive Identification of Eighteen Soybean Varieties

CAO Shuai¹, DU Zhong-yang², XIANG Dian-jun¹, LI Zhi-gang¹, Sun He-xiang¹, GONG Xiao-xu¹, LIU Peng¹

(1. Agricultural College of Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao 028000, China; 2. College of Pharmaceutical and Food Engineering, Shanxi University of Chinese Medicine, Jinzhong 030619, China)

Abstract: Under hydroponic conditions, the seedlings of eighteen soybean varieties were treated with water containing $60 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ mixed salt (NaHCO_3 and Na_2CO_3 with the molar ratio of 9:1). To evaluate the saline-alkali tolerance of different soybean varieties, conduct cluster analysis and provide theoretical basis for the utilization of soybean in saline-alkali land, the indexes of plant height, stem diameter, leaf area, main root length, dry weight above ground, net photosynthetic rate (P_n), intercellular CO_2 concentration (C_i), transpiration rate (Tr) and stomatal conductance (G_s) were measured after 7 d stress treatment, and the principal component analysis and membership function of fuzzy mathematics were conducted. The results showed that the factor loadings of plant height, main root length and net photosynthetic rate (P_n) indexes were the largest by principal component analysis, which could be used as the main identification indicators for the selection of salt and alkali tolerant soybean varieties. Varieties were sorted according to the membership function, Eighteen soybean varieties showed significant differences in salt and alkali tolerance, and they could be divided into three categories. Among them, four soybean materials including hybrid soybean 5 were salt-alkali tolerant varieties, eleven varieties materials including Jiyu 611 and Jiyu 299 were medium saline-alkali tolerant varieties, and two materials, Jiyu 256 and Dongnong 63, were saline-alkali sensitive tolerant varieties.

Keywords: Soybean; Saline-alkali stress; Membership function; Principal component analysis

盐碱危害作为主要非生物胁迫, 已成为限制作物生产和品质的主要因素之一。我国盐碱地面积大、分布广, 且不合理的施肥和灌溉致使次生盐碱化耕地问题日益严重^[1]。碱性盐 (Na_2CO_3 、 NaHCO_3) 具有较高 pH, 是盐碱土地中的主要成分, 在造成土壤理化性状不良的同时, 会严重影响植物正常生长, 且可以间接通过光合作用对其造成影响^[2]。

很多学者针对植物耐盐性做了大量研究。刘玉兰等^[3]研究表明, 低浓度的中性盐对小粒大豆生长具有一定的促进作用, 低浓度的碱性盐对小粒大

豆生长抑制作用不明显; 小粒大豆株高、根长、根瘤菌数、单株叶面积、干鲜比、净光合速率、气孔导度、蒸腾速率、气孔限制值等与两种盐胁迫均呈极显著负相关。Deng 等^[4]认为, 水稻种子受到盐碱胁迫后会导致发芽率下降, 并且 Na_2CO_3 胁迫比 NaCl 胁迫对水稻影响更加严重。季平等^[5]研究表明, 大豆在碱胁迫下, 各形态指标下降程度均显著高于盐胁迫和盐碱混合胁迫, 说明大豆在碱性盐胁迫后所受影响更加严重。筛选和培育耐盐碱品种在盐渍土地种植, 是合理利用盐渍土壤的有效方法^[6]。赵俊香

收稿日期: 2019-01-10

基金项目: 内蒙古自治区科技计划 (KJH1702); 通辽市与内蒙古民族大学合作项目 (SXYB2012050); 内蒙古民族大学硕士研究生科研创新项目 (NMDSS1867); 内蒙古自治区科技储备项目 (2018MDCB02)。

第一作者简介: 曹帅 (1994 -), 男, 硕士, 主要从事作物种质资源与利用研究。E-mail: caoshuai0229@163.com。

通讯作者: 刘鹏 (1973 -), 男, 博士, 教授, 主要从事作物遗传育种研究。E-mail: mindaliupeng@126.com。

等^[6]对 16 份菊芋种质苗期的耐盐碱性进行综合评价,根据植物形态指标和生理生化指标,将 16 份菊芋耐盐碱性大小分为 4 类。除此之外,高粱^[7]、花生^[8]和玉米^[9]上也有相关研究。在大豆耐盐性评价指标选择上主要集中在生理特性和离子平衡方面,且指标相对单一^[10-11];在盐碱胁迫条件的选择上多以 NaCl 胁迫为主^[12-13],对大豆耐盐性筛选与综合鉴定的研究相对较少。不同大豆品种耐盐机制各有不同,对各指标的反应程度也存在差异,所以单一的盐或碱与少量指标均不能全面反映大豆的耐盐性^[14]。因此,为了更好地反映出不同大豆品种的耐盐性,本研究选用生长指标和光合参数等共 9 个指标进行耐盐性评价,参照前人的研究结

果^[15-16]及内蒙古通辽市主要盐碱地盐碱组成成分^[17],以混合盐模拟典型的盐碱胁迫条件,对混合盐碱胁迫 7 d 的 18 个大豆品种幼苗进行生长指标和光合特性测定及分析,以期筛选出大豆耐盐碱的主要鉴定指标和具有较强耐盐碱性的大豆品种,为大豆耐盐碱性进一步研究提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验选用 18 个大豆品种,分别来自内蒙古民族大学、东北农业大学、沈阳农资市场和吉林省农业科学院(表 1)。

表 1 供试大豆品种编号及来源

Table 1 Code and their origins of tested soybean cultivars

编号	品种	来源	编号	品种	来源
Code	Cultivar	Origin	Code	Cultivar	Origin
1	NMD1 号	内蒙古民族大学	10	铁豆 62	沈阳农资市场
	NMD 1	Inner Mongolia University for Nationalities		Tiedou 62	Shenyang Agricultural Market
2	NMD2 号	内蒙古民族大学	11	开豆 18	沈阳农资市场
	NMD 2	Inner Mongolia University for Nationalities		Kaidou 18	Shenyang Agricultural Market
3	NMD3 号	内蒙古民族大学	12	雅布力	沈阳农资市场
	NMD 3	Inner Mongolia University for Nationalities		Yabuli	Shenyang Agricultural Market
4	东农 42	东北农业大学	13	禾丰 35	沈阳农资市场
	Dongnong 42	Northeast Agricultural University		Hefeng 35	Shenyang Agricultural Market
5	东农 60	东北农业大学	14	吉育 256	吉林省农业科学院
	Dongnong 60	Northeast Agricultural University		Jiyu 256	Jinlin Academy of Agricultural Sciences
6	东农 63	东北农业大学	15	吉育 257	吉林省农业科学院
	Dongnong 63	Northeast Agricultural University		Jiyu 257	Jinlin Academy of Agricultural Sciences
7	东农 64	东北农业大学	16	吉育 299	吉林省农业科学院
	Dongnong 64	Northeast Agricultural University		Jiyu 299	Jinlin Academy of Agricultural Sciences
8	东农 69	东北农业大学	17	吉育 611	吉林省农业科学院
	Dongnong 69	Northeast Agricultural University		Jiyu 611	Jinlin Academy of Agricultural Sciences
9	铁豆 39	沈阳农资市场	18	杂交豆 5 号	吉林省农业科学院
	Tiedou 39	Shenyang Agricultural Market		Zajiaodou 5	Jinlin Academy of Agricultural Sciences

1.2 试验设计

本试验采用水培方式种植。每个品种均挑选大小一致、无虫害的饱满籽粒,在 5% 的次氯酸钠溶

液中消毒 5 min,自来水冲洗 3 次、去离子水冲洗 3 次后。将种子表皮水分吸干,置于培养皿中进行发芽、待胚根生长至 1.5 cm 左右移栽至水培盒内,在

规格为 32.5 cm × 26 cm × 11.5 cm 的网盘中等距离相间摆放,每品种每盘 20 株。移栽结束后 5 d (第一片复叶长出) 浇灌 Hoagland 营养液,25 d 开始胁迫处理。本试验根据前人研究大豆的耐受盐碱浓度范围^[15-16]及内蒙古通辽市主要盐碱地盐碱组成成分^[17],共设置 0 (CK) 和 60 mmol · L⁻¹ 混合盐 (NaHCO₃:Na₂CO₃ 的摩尔比为 9:1、pH9.11 ± 0.104) 溶液进行胁迫处理。各种溶液均在 1/2Hoagland 营养液 (pH7.8) 基础上进行配制。处理 7 d 后选取生长健壮的幼嫩叶片进行生长和光合特性等指标的测定。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 形态指标的测定 采用直尺法测量株高和主根长,游标卡尺测子叶节处即为茎粗,叶面积系数法计算叶面积,地上干重测量采用烘干法。

叶面积 = 长 × 宽 × 0.7

相对株高 (%) = 处理平均株高 / 对照平均株高 × 100

其它指标相对值计算方法同上。

1.3.2 光合指标的测定 盐胁迫处理 7 d 后的 9:00 – 11:00,用 LI-6400 (Li-Cor. 公司) 型便携式光合作用测定系统,测定 18 个品种大豆幼苗叶片光合气体交换参数,包括净光合速率 (Pn)、气孔导度 (Gs)、胞间 CO₂ 浓度 (Ci) 和蒸腾速率 (Tr)。测定时采用固定红蓝光源进行试验,光强为 1 200 μmol · m⁻² · s⁻¹,为避免测定时环境 CO₂ 浓度的变化对测定结果的干扰,将仪器的进气口与装有恒定 CO₂ 浓度的钢瓶相接,钢瓶 CO₂ 浓度配制成 370 μmol · mol⁻¹,温度设定为 25℃,空气流速为 0.5 L · min⁻¹,相对湿度 60%。各处理选取 3 株大豆,在主茎的第三个复叶中间小叶片上测定。

1.3.3 综合评价方法 采用模糊数学隶属函数法对大豆品种盐碱胁迫的耐受性进行综合评价。隶属函数值 X (μ) 如下式:

$$X(\mu) = (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$$

式中: x 为指标测定值, x_{min}、x_{max} 为所有参试材料某一指标的最小值和最大值。如果某一指标与抗性指标呈负相关,则可以通过反隶属函数计算其抗性隶属函数值 X (v):

$$X(v) = 1 - (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$$

最后,再将每份材料各个指标的隶属值累加求其平均值^[18]。对品种的耐盐性进行综合评价,并对 18 个品种大豆资源进行耐盐碱性聚类分析。

1.4 数据分析

用 Excel 2012 进行数据整理并计算各性状的平

均值和相对值,SPSS 20.0 软件进行方差分析、相关性分析和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 混合盐碱胁迫对不同大豆品种生长指标和光合特性的影响

在盐碱胁迫下,18 个大豆品种各指标变化幅度不同,为了消除试验材料间的差异,以各指标的相对值更好地体现出不同大豆品种的耐盐碱性。从表 2 可以看出,在盐碱胁迫下,18 个大豆品种各指标变化幅度不同,株高相对值为 72.43% ~ 126.86%,茎粗相对值为 73.59% ~ 112.31%,叶面积相对值为 38.70% ~ 97.57%,主根长相对值为 34.57% ~ 132.28%,地上干重相对值为 54.08% ~ 133.53%,净光合速率 (Pn) 相对值为 59.18% ~ 98.16%,胞间 CO₂ 浓度 (Ci) 相对值为 73.32% ~ 131.56%,蒸腾速率 (Tr) 相对值为 70.41% ~ 96.86%,气孔导度 (Gs) 相对值为 63.91% ~ 105.00%。

其中,NMD2 号、东农 42、吉育 257 和杂交豆 5 号的茎粗均高于对照,相对值分别为 107.33%、108.15%、104.56%、111.62%,其它试验材料均低于对照。株高、叶面积、主根长、地上干重、蒸腾速率和气孔导度这几个指标的相对值较大,表现出较强的耐盐碱性;吉育 611、吉育 299、东农 69、开豆 18 和东农 60 各项指标相对值较居中,表现出中度耐盐碱性;其它品种各项指标相对值较小,表现出对盐碱胁迫敏感的特性,其中东农 63 和吉育 256 在受到胁迫后,生长严重受到限制,在各项指标中相对值均较小,耐盐碱性最差。

2.2 混合盐碱胁迫下各性状的相关性

对混合盐碱胁迫下大豆品种 9 个性状的相对值进行相关性分析,从表 3 可以得知,大多数性状间均为显著或极显著相关。地上干重与株高、主根长、茎粗和叶面积之间的相关性均达到极显著水平,其相关系数分别为 0.628 **, 0.750 **, 0.791 ** 和 0.841 **。蒸腾速率与叶面积、净光合速率、主根长和地上干重之间相关性呈极显著正相关,相关系数分别为 0.595 **, 0.643 **, 0.692 ** 和 0.706 **;气孔导度与地上干重、主根长和蒸腾速率也呈极显著正相关,相关系数分别为 0.624 **, 0.712 ** 和 0.714 **;胞间 CO₂ 浓度与株高、茎粗、主根长、净光合速率、蒸腾速率和地上干重相关性均到达极显著负相关,相关系数分别为 - 0.627 **, - 0.649 **, - 0.714 **, - 0.719 **, - 0.754 ** 和 - 0.847 **。

表 2 混合盐碱胁迫下各性状的相对值

Table 2 Relative values of selected traits under mixed alkali stress

(%)

序号 No.	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
1	85.65 ± 4.68cd	87.90 ±4.48cde	68.36 ±5.67ij	75.26 ± 5.88fg	84.15 ± 1.71f	73.37 ±1.35c	118.43 ±5.58bcd	76.29 ±3.62ef	80.85 ±4.08e
2	103.68 ±10.12b	107.33 ±6.23ab	90.72 ±1.71cd	109.47 ± 6.18cd	115.91 ± 4.08c	88.30 ±2.08b	75.44 ±5.16g	96.64 ±1.86ab	97.15 ±1.49b
3	73.37 ± 2.59f	83.82 ±3.77def	78.61 ±2.47fg	102.45 ± 4.98de	82.24 ± 2.18f	72.01 ±5.58c	121.00 ±7.05bc	74.18 ±3.84fg	83.97 ±2.06de
4	110.62 ±10.77b	108.15 ±6.30ab	86.96 ±3.03de	132.28 ±11.73a	126.19 ±11.48ab	87.77 ±8.03b	74.34 ±5.37g	95.63 ±4.41ab	95.61 ±3.32b
5	86.14 ± 6.48cd	93.88 ±2.85c	70.18 ±5.50hij	104.53 ± 4.02cde	83.56 ± 2.34f	75.18 ±1.33c	113.50 ±2.07cde	82.55 ±1.37d	83.46 ±1.19de
6	75.81 ± 2.71ef	76.33 ±6.91fg	38.70 ±2.45m	52.25 ± 4.00h	61.39 ± 1.01ij	59.18 ±4.96d	126.41 ±5.85ab	70.41 ±3.94g	74.51 ±6.79fg
7	81.33 ± 4.97def	73.59 ±5.71g	78.44 ±3.79fg	74.00 ± 7.50fg	83.77 ± 1.26f	98.16 ±2.99a	96.74 ±1.14f	91.00 ±3.09bc	73.38 ±2.61fg
8	83.34 ± 8.32cde	112.31 ±4.74a	74.71 ±1.66ghi	78.16 ± 6.09f	91.77 ± 2.86e	74.92 ±1.72c	109.18 ±2.90e	83.65 ±2.94d	79.18 ±2.85ef
9	72.43 ± 3.91f	81.44 ±6.58ef	83.94 ±4.49ef	34.57 ± 3.29i	83.01 ± 0.72f	74.30 ±1.84c	122.13 ±1.41b	83.17 ±2.91d	88.80 ±4.40cd
10	72.53 ± 6.70f	77.58 ±3.07fg	53.64 ±0.76l	68.51 ± 5.64g	73.36 ± 3.19gh	87.65 ±2.72b	122.54 ±7.69b	75.69 ±6.41efg	68.84 ±4.37gh
11	126.86 ± 9.94a	93.82 ±8.55c	72.54 ±4.30ghij	81.28 ± 7.21f	80.48 ± 6.52fg	68.46 ±4.48c	111.54 ±3.10de	81.16 ±2.18de	83.44 ±3.52de
12	84.25 ± 5.47cde	81.79 ±2.12ef	76.47 ±1.79gh	105.87 ± 4.64cde	100.75 ± 1.49d	72.80 ±4.10c	96.59 ±1.34f	80.62 ±2.04de	84.35 ±0.85de
13	76.15 ± 5.60ef	80.54 ±4.88efg	62.06 ±3.33k	99.10 ± 5.75e	68.31 ± 6.29hi	69.52 ±3.30c	122.52 ±1.42b	85.89 ±3.40cd	105.00 ±2.48a
14	79.31 ± 7.08def	79.33 ±6.15fg	41.65 ±1.63m	39.92 ± 3.32i	54.08 ± 2.17j	59.23 ±3.05d	124.70 ±4.22ab	72.24 ±2.27fg	63.91 ±5.03h
15	102.71 ± 6.76b	104.56 ±9.49b	97.57 ±6.07ab	129.52 ± 8.07a	125.51 ± 3.71b	85.52 ±3.43b	73.32 ±3.10g	96.86 ±3.69ab	98.63 ±0.44b
16	91.22 ± 6.69c	94.76 ±5.88c	103.31 ±5.02a	81.09 ± 6.97f	101.03 ± 2.16d	61.84 ±4.38d	131.56 ±0.68a	80.39 ±1.83de	83.75 ±0.54de
17	87.77 ± 1.96cd	89.58 ±8.65cd	66.67 ±1.68jk	110.63 ± 5.94c	82.61 ± 2.51f	74.33 ±2.12c	113.95 ±6.31cde	101.02 ±1.41a	93.00 ±3.55bc
18	108.28 ± 9.06b	111.62 ±5.65ab	93.56 ±1.78bc	122.19 ± 6.15b	133.53 ± 7.93a	86.24 ±1.60b	79.10 ±6.00g	96.37 ±1.84ab	97.99 ±4.68b

X₁:株高;X₂:茎粗;X₃:叶面积;X₄:主根长;X₅:地上部干重;X₆:净光合速率;X₇:胞间CO₂浓度;X₈:蒸腾速率;X₉:气孔导度。同列中不同小写字母表示0.05水平差异显著。下同。

X₁:Plant height; X₂:Stem diameter; X₃:Leaf area; X₄:Main root length; X₅:Dry weight; X₆:Net photosynthetic rate; X₇:Intercellular CO₂:Concentration; X₈:Transpiration rate; X₉:Stomatal conductance. Different lowercase in the same column represent significant difference at 0.05 level. The same below.

表 3 混合盐碱胁迫下大豆各指标参数的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of parameters under mixed alkali stress

参数 Parameter	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
X ₁	1								
X ₂	0.680 **	1							
X ₃	0.486 *	0.622 **	1						
X ₄	0.537 *	0.616 **	0.555 *	1					
X ₅	0.628 **	0.791 **	0.841 **	0.750 **	1				
X ₆	0.237	0.291	0.439	0.459	0.571 *	1			
X ₇	-0.627 **	-0.649 **	-0.560 *	-0.714 **	-0.847 **	-0.719 **	1		
X ₈	0.516 *	0.584 *	0.595 **	0.692 **	0.706 **	0.643 **	-0.754 **	1	
X ₉	0.420	0.526 *	0.588 *	0.712 **	0.624 **	0.256	-0.524 *	0.714 **	1

* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。
* and ** indicates there is significant correlation at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

2.3 3个主成分特征值及贡献率

对数据进行标准化处理后,为了能消除各指标间所存在的差异并充分概括所测数据信息,且用少量指标更清晰地表达出大量数据中的信息^[18],对18个大豆品种所测定的株高、茎粗、净光合速率(P_n)和胞间 CO_2 浓度等共9个指标进行主成分分析。从表4可知,前3个主成分贡献率分别为64.905%、10.774%和8.017%,其累计贡献率为83.696%,其余贡献率较小,可忽略不计。第Ⅰ主成分的特征根 $\lambda_1=5.841$,贡献率为64.905%,对应特征向量中,数量较大的性状为株高和茎粗,相关系数分别为0.616和0.466,主要反映出大豆地上部分生长状况,可称其为地上生长因子。第Ⅱ主

成分的特征根 $\lambda_2=0.970$,贡献率为10.774%,对应特征向量中,除了地上因子和光合因子外,数量较大的是主根长,相关系数为0.337,主要表明的是大豆根部生长状况,可称其为根部生长因子。第Ⅲ主成分的特征根 $\lambda_3=0.722$,贡献率为8.017%,对应特征向量中,数量较大的为净光合速率和蒸腾速率,相关系数分别为0.727和0.193,它们主要反映的是大豆光合能力,可称其为光合因子。

综合分析,由于前3个主成分反映了原来9个指标83.696%的信息,对大豆耐盐碱性的影响较大,因此可以用株高、主根长和净光合速率3个指标作为大豆耐盐碱评价的重要指标。

表4 盐碱胁迫下大豆材料生长指标和光合参数的主成分分析及各因子载荷矩阵

Table 4 Principal component analysis and load matrix of growth index and photosynthetic parameters of soybean materials under saline-alkaline stress

主成分 Principal component	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	特征根 Eigen value	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Accumulative contribution rate/%
Ⅰ	0.616	0.466	0.095	-0.074	0.197	-0.217	-0.130	-0.185	-0.286	5.841	64.905	64.905
Ⅱ	-0.301	-0.102	0.156	0.337	-0.007	-0.216	0.171	0.27	0.741	0.970	10.774	75.679
Ⅲ	-0.152	-0.173	-0.032	-0.025	0.086	0.727	-0.342	0.193	-0.275	0.722	8.017	83.696

2.4 混合盐碱胁迫下大豆品种的模糊隶属度函数耐盐碱性评价

采用模糊数学隶属函数法对大豆混合盐碱胁迫的耐受性进行综合评价,对每个品种各个指标的隶属值累加求平均值。隶属值越大,耐盐碱性越强^[19]。通过比较18个大豆品种的隶属值,最终确

定其耐盐碱性排序(表5),由强到弱依次为:杂交豆5号、东农42、吉育257、NMD2号、吉育611、吉育299、开豆18、东农69、东农60、禾丰35、雅布力、东农64、NMD3号、NMD1号、铁豆39、铁豆62、东农63和吉育256。

表5 混合碱胁迫下大豆各指标参数相对值的隶属值

Table 5 Subordinate value of relative values of indicator parameters of soybean under mixed alkali stress

序号 No.	品种 Variety	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	SV	SO
1	NMD1号 NMD 1	0.24	0.37	0.46	0.42	0.38	0.36	0.77	0.19	0.41	0.40	14
2	NMD2号 NMD 2	0.57	0.87	0.81	0.77	0.78	0.75	0.04	0.86	0.81	0.69	4
3	NMD3号 NMD 3	0.02	0.26	0.62	0.69	0.35	0.33	0.82	0.12	0.49	0.41	13
4	东农42 Dongnong 42	0.70	0.89	0.75	1.00	0.91	0.73	0.02	0.82	0.77	0.73	2
5	东农60 Dongnong 60	0.25	0.52	0.49	0.72	0.37	0.41	0.69	0.40	0.48	0.48	9
6	东农63 Dongnong 63	0.06	0.07	0.00	0.18	0.09	0.00	0.91	0.00	0.26	0.18	17

续表 5

序号 No.	品种 Variety	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	SV	SO
7	东农 64 Dongnong 64	0.16	0.00	0.62	0.40	0.37	1.00	0.40	0.67	0.23	0.43	12
8	东农 69 Dongnong 69	0.20	1.00	0.56	0.45	0.47	0.40	0.62	0.43	0.37	0.50	8
9	铁豆 39 Tiedou 39	0.00	0.20	0.70	0.00	0.36	0.39	0.84	0.42	0.61	0.39	15
10	铁豆 62 Tiedou 62	0.00	0.10	0.23	0.35	0.24	0.73	0.85	0.17	0.12	0.31	16
11	开豆 18 Kaidou 18	1.00	0.52	0.52	0.48	0.33	0.24	0.66	0.35	0.48	0.51	7
12	雅布力 Yabuli	0.22	0.21	0.58	0.73	0.59	0.35	0.40	0.33	0.50	0.43	11
13	禾丰 35 Hefeng 35	0.07	0.18	0.36	0.66	0.18	0.27	0.84	0.51	1.00	0.45	10
14	吉育 256 Jiyu 256	0.13	0.15	0.05	0.05	0.00	0.00	0.88	0.06	0.00	0.15	18
15	吉育 257 Jiyu 257	0.56	0.80	0.91	0.97	0.90	0.68	0.00	0.86	0.85	0.72	3
16	吉育 299 Jiyu 299	0.35	0.55	1.00	0.48	0.59	0.07	1.00	0.33	0.48	0.54	6
17	吉育 611 Jiyu611	0.28	0.41	0.43	0.78	0.36	0.39	0.70	1.00	0.71	0.56	5
18	杂交豆 5 号 Zajiaodou 5	0.66	0.98	0.85	0.90	1.00	0.69	0.10	0.85	0.83	0.76	1

SV:隶属函数值;SO:耐盐碱顺序。
SV: Subordinate function; SO: Salt-alkaline tolerance order.

2.5 18 份大豆耐盐碱性聚类分析

将参试材料的平均隶属函数值经欧氏距离平均连锁法进行聚类分析(图 1)。聚类分析作为一种无管理模式的识别方法,所得结果很大程度上取决于方法采用的距离、累间距等参数^[20]。试验材料的耐盐碱顺序根据欧氏距离 > 5 可归为 3 个类群。第 1 类群:杂交豆 5 号,东农 42、吉育 257 和 NMD2 号。该类群在上述分析中得知,各项指标相对值较高,属于耐盐碱品种。第 2 类群:铁豆 62、东农 63 和吉育 256。这一类群各指标相对值较小,属于盐碱敏感品种。第 3 类群:东农 60、东农 69、开豆 18、雅布力、吉育 299 等 11 个品种,占供试材料的 61.11%。该类群各项指标相对值比较居中,属于中等耐盐碱品种。

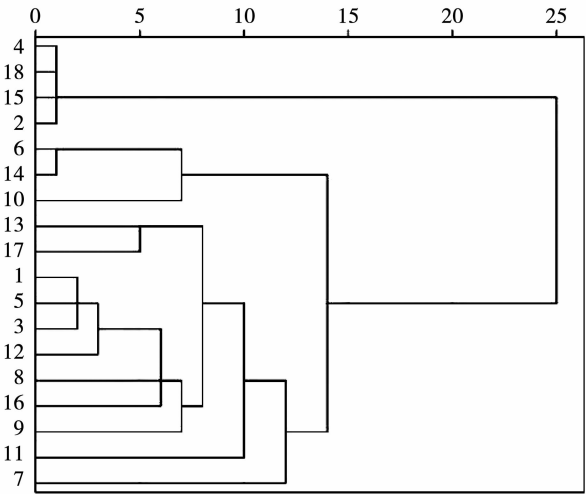


图 1 18 个大豆品种耐碱性的聚类分析图
Fig.1 Dendrogram on alkali tolerance
of 18 soybean varieties

3 讨论

在盐碱土壤中,NaHCO₃ 和 Na₂CO₃ 中不但 Na⁺ 可引发离子毒害,同时 HCO₃⁻ 和 CO₃²⁻ 的存在会导致 pH 升高,引起混合毒害作用^[21]。以往研究植物抗性主要通过单一的盐或碱模拟胁迫。例如王聪等^[22] 和刘志萍等^[23] 分别研究 NaCl 胁迫对菜用大豆和大麦籽粒的影响,致使其研究结论在实际应用上具有局限性。通辽市盐渍土地主要是盐化和碱化并存,盐分组成以苏打为主,土壤 pH > 8;土壤中总含盐量一般为 0.1% ~ 0.5%,很少超过 0.7%,轻度和中度盐化土壤面积大^[17],结合前人研究大豆耐盐碱浓度范围^[15-16],本试验将两种碱性盐 NaHCO₃ 和 Na₂CO₃ 按摩尔比 9:1 配置的 60 mmol·L⁻¹ 的混合液模拟盐碱胁迫条件,更能真实地反映出田间盐渍土壤的实际情况。

大豆作为中度耐盐农作物,是我国经济、粮食和饲用兼用作物,是人类摄取食用油和植物蛋白的主要来源^[24]。盐害会抑制大豆种子的萌发和营养生长,同时会降低大豆的光合能力,在盐度值超过 5 ds·m⁻¹ 时,大豆的产量会明显降低^[25]。因此大豆耐盐碱指标和品种的筛选既能为育种工作者提供耐盐育种材料,也能为培育新品种提供耐盐的参数指标,并且是解决盐渍土利用效率低的有效途径。韩飞等^[26] 通过模糊隶属函数法和聚类分析将 63 份谷子耐盐性分为 4 类,通过主成分分析筛选出发芽率、发芽指数、相对芽长和相对根长可作为谷子耐盐性评价的关键指标。孙东雷等^[27] 采用主成分分析、隶属函数法和聚类分析对花生萌发期进行综合评价,筛选出 6 份耐盐性强的种质,并表明相对含水量和鲜重可以作为鉴定花生耐盐性的重要指标。李丰先等^[7] 研究表明,根长、发芽指数和叶干重等指标可作为高粱品种萌发期耐碱性的筛选。盐碱胁迫对植物的影响是多方面的,但是在光合方面尤为突出。薛忠财等^[28] 研究表明 NaCl 胁迫会降低大豆的光合能力。其它学者也认为光合特性良好是促进植物生长的重要因素之一^[29]。前人主要把根长等形态指标、相对含水量等生理指标作为耐盐碱种质筛选的测定项目,而本试验把相对容易测量的净光合速率(*Pn*)、胞间 CO₂ 浓度(*Ci*)、蒸腾速率(*Tr*)和气孔导度(*Gs*)等光合特性作为耐盐碱性筛选指标。本研究对从东北地区收集到的 18 个大豆品种进行混合盐碱胁迫,对其反应特性进行耐盐碱的筛选和耐盐碱指标的鉴定。研究结果表明,混合盐碱严重抑制了多数大豆的光合能力,除吉育 611 的叶片蒸腾速率(*Tr*)和禾丰 35 的叶片气孔导度(*Gs*)略有上

升外,其余大豆品种叶片中净光合速率、蒸腾速率和气孔导度浓度均下降,这与 Yang 等^[30] 研究结果相一致。在盐碱胁迫处理下,大豆株高降低,根长变短,生物量和干物质积累减少,这与季平等^[5] 研究结果一致。在本试验中,耐盐碱性是通过 9 个性状综合分析而确定的结果,各形态指标之间均呈显著相关($P < 0.05$),胞间 CO₂ 浓度(*Ci*)均与净光合速率(*Pn*)、蒸腾速率(*Tr*)和气孔导度(*Gs*)呈显著负相关($P < 0.05$),而净光合速率(*Pn*)与株高、茎粗、叶面积和主根长没有直接关系,这与吴泽龙等^[31] 研究结果略有不同。对 18 份大豆品种的生长指标和光合参数等共 9 个指标的主成分分析表明,株高、主根长和净光合速率(*Pn*)3 个指标可反映原来 9 个指标 83.696% 的信息,所反映信息程度与赵俊香等^[6] 和李丰先等^[7] 研究基本一致。综上,可以用株高、主根长和净光合速率作为大豆耐盐碱评价的重要指标。通过聚类分析和模糊隶函数法筛选出杂交豆 5 号、东农 42、吉育 257 和 NMD2 号耐盐碱性较好的大豆品种,可为今后研究大豆耐碱机制及盐碱地的利用提供良好大豆资源。

本研究虽仅选用 18 个品种来进行比较,但均来自东北地区。张树文等^[32] 研究表明,东北地区盐碱地面积约为 219.31 × 10⁴ hm²,约占东北土地面积的 54.05%。选择在该地区的品种作为研究对象,更具有实际意义,但是选择的筛选指标仅是易于观察和操作的形态和光合指标,对其它指标的鉴定还有待深入研究。

同时,由于用于胁迫的混合盐仅是根据内蒙古通辽市主要盐碱地盐碱主要成分进行模拟的,并未考虑到东北地区盐碱地盐碱组成成分的差异是否会对现有筛选结果有影响,还有待进一步研究。

4 结论

本研究中选用的 18 个大豆品种按照耐盐碱性分为 3 大类:其中杂交豆 5 号、东农 42、吉育 257 和 NMD2 号 4 个品种为耐盐碱性较好的品种,吉育 611、吉育 299 和东农 69 等 11 个品种为中度耐盐碱性品种,铁豆 62、吉育 256 和东农 63 为碱敏感品种。株高、主根长和净光合速率(*Pn*)等指标参数可用于大豆品种耐盐碱性的筛选依据。

参考文献

[1] 王志春, 杨福, 陈渊, 等. 苏打盐碱胁迫下水稻体内的 Na⁺、K⁺ 响应[J]. 生态环境, 2008, 17(3): 1198-1203. (Wang Z C, Yang F, Chen Y, et al. The response of soda saline stress of Na⁺ and K⁺ on rice[J]. Ecology Environment, 2008, 17(3): 1198-1203.)

- [2] Yang Z, Wan B. Progress in techniques of improvement and utilization of saline-alkali land in China and its future trend[J]. Journal of Soil Water Conservation, 2014, 2: 1-11.
- [3] 刘玉兰, 陈殿元, 元明浩, 等. 盐胁迫对小粒大豆幼苗生长发育及光合特性的影响[J]. 大豆科学, 2017, 36(6): 913-920. (Liu Y L, Chen D Y, Yuan M H, et al. Effects of salt stress on seedling growth and photosynthetic characteristics of *Glycine gracilis* [J]. Soybean Science, 2017, 36 (6): 913-920.)
- [4] Deng X X, Zhang X Q, Song X J, et al. Response of transgenic rice at germination traits under salt and alkali stress[J]. African Journal of Agricultural Research, 2011, 6(18): 4335-4339.
- [5] 季平, 张鹏, 徐克章, 等. 不同类型盐碱胁迫对大豆植株生长性状和产量的影响[J]. 大豆科学, 2013, 32(4): 477-481. (Ji P, Zhang P, Xu K Z, et al. Effects of salt and alkaline stress on plant growth traits and yield of soybean [J]. Soybean Science, 2013, 32(4): 477-481.)
- [6] 赵俊香, 任翠梅, 吴凤芝, 等. 16 份菊芋种质苗期耐盐碱性筛选与综合鉴定[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(5): 620-627. (Zhao J X, Ren C M, Wu F Z, et al. Comprehensive identification of saline-alkaline tolerance of 16 Jerusalem artichoke accessions at seedling stage [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23 (5): 620-627.)
- [7] 李丰先, 周宇飞, 王艺陶, 等. 高粱品种萌发期耐碱性筛选与综合鉴定[J]. 中国农业科学, 2013, 46(9): 1762-1771. (Li F X, Zhou Y F, Wang Y T, et al. Screening and identification of sorghum cultivars for alkali tolerance during germination[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(9): 1762-1771.)
- [8] 沈一, 刘永惠, 陈志德, 等. 花生幼苗期耐盐品种的筛选与评价[J]. 花生学报, 2012, 41(1): 10-15. (Shen Y, Liu Y H, Chen Z D, et al. Selection and evaluation of peanut varieties based on seedling salt tolerance[J]. Journal of Peanut Science, 2012, 41(1): 10-15.)
- [9] 张春宵, 刘晓鑫, 周波, 等. 吉林省 26 份主推玉米杂交种的苗期耐盐碱性分析[J]. 作物杂志, 2010(1): 66-69. (Zhang C X, Liu X X, Zhou B, et al. The alkali analysis of Jilin 26 main maize hybrid on seedling stage. Crops, 2010(1): 66-69.)
- [10] 宁丽华, 张大勇, 刘佳, 等. 盐胁迫下苗期栽培大豆生理响应及 Na^+ 动态平衡关键基因的表达[J]. 中国农业科学, 2016, 49(24): 4714-4725. (Ning L H, Zhang D Y, Liu J, et al. Effect of salt stress on physiological responses and the expression of key genes involved in Na^+ Homeostasis of soybean seedlings[J]. Agricultural Science of China, 2016, 49 (24): 4714-4725.)
- [11] 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 H, 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.)
- [12] 胡卫静, 何丽君, 何劲莉, 等. NaCl 胁迫对野生与栽培大豆杂交后代株系生理指标的影响[J]. 大豆科学, 2013, 32(3): 349-354. (Hu W J, He L J, He J L, et al. Effects of NaCl stress on physiological characters of soybean hybrids from *Glycine max* \times *Glycine soja* [J]. Soybean Science, 2013, 32 (3): 349-354.)
- [13] 孟强, 姜奇彦, 牛凤娟, 等. 盐胁迫下不同抗性野生大豆 (*Glycine soja*) 生理生化性状比较分析[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(8): 25-32. (Meng Q, Jiang Q Y, Niu F J, et al. Comparative analysis of physiological and biochemical characters of *Glycine soja* under NaCl stress [J]. China Agricultural Science and Technology Report, 2017, 19 (8): 25-32.)
- [14] 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.)
- [15] 吴杨, 高慧纯, 张必弦, 等. 24-表油菜素内酯对盐碱胁迫下大豆生育、生理及细胞超微结构的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(5): 811-821. (Wu Y, Gao H C, Zhang B X, et al. Effects of 24-Brassinolide on the fertility, physiological characteristics and cell ultra-structure of soybean under saline-alkali stress [J]. Agricultural Science of China, 2017, 50 (5): 811-821.)
- [16] 牛陆. 盐、碱胁迫对大豆属植物的结构演化及生理特性的影响[D]. 长春: 东北师范大学, 2013. (Nui L. Effects of salt and alkali stress on the structural evolution and physiological characteristics of soybean [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2013.)
- [17] 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. (Fan F, Zhang Q G, T J C, et al. The formation and classification of saline-alkali soil in tongliao city [J]. Journal of Inner Mongolia University for Nationalities (Natural Science Edition), 2009, 24 (4): 409-413.)
- [18] 郝黎仁, 樊元, 郝哲欧. SPSS 实用统计分析[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003. (Hao L R, Fan Y, Hao Z O. Practical statistical analysis of SPSS [M]. Beijing: China Conservancy and Hydroelectric Power Press, 2003.)
- [19] 陈德明, 俞仁培, 杨劲松. 盐渍条件下小麦抗盐性的隶属函数数值法评价[J]. 土壤学报, 2002(3): 368-374. (Chen D M, Yu R P, Yang J S. The membership function value evaluation method of under the salted stress on wheat [J]. Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(3): 368-373.)
- [20] 宋江峰, 李大婧, 刘春泉, 等. 甜糯玉米软罐头主要挥发性物质主成分分析和聚类分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(10): 2122-2131. (Song J F, Li D J, Liu C Q, et al. Principal components analysis and cluster analysis of flavor compositions in waxy corn soft can [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43 (10): 2122-2131.)
- [21] 李广鲁, 王文果, 陈志新, 等. 钙对盐胁迫下冰叶日中花不同器官离子含量和根部 K^+ 、 Na^+ 吸收的影响[J]. 植物科学学报, 2018, 36(2): 282-290. (Li G L, Wang W G, Chen Z X, et al. Effect of calcium on ion contents in different organs and absorption of K^+ and Na^+ in the root tips of *Mesembryanthemum crystallinum* L. under NaCl stress [J]. Journal of Plant Science, 2018, 36(2): 282-290.)
- [22] 王聪, 刘艳华, 董永义, 等. NaCl 胁迫对菜用大豆光合作用及叶绿体抗氧化系统的影响[J]. 西南农业学报, 2016, 29(12): 2824-2829. (Wang C, Liu Y H, Dong Y Y, et al. Effects of NaCl stress on photosynthesis and chloroplast antioxidant system of vegetable soybean [J]. Southwest Agricultural Journal, 2016, 29 (12): 2824-2829.)
- [23] 刘志萍, 李琲琲, 薛海楠, 等. NaCl 胁迫对大麦籽粒抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(6): 736-741. (Liu Z P, Li B B, Xue H N, et al. Effect of NaCl stress on antioxidant system and ascorbate-glutathione cycle in barley seeds

[J]. Journal of Wheat Crops, 2016, 36 (6): 736-741.)

[24] 姜梦婷,王秋岭,周鑫,等. 不同油料作物油脂体氧化稳定性差异的研究[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(10): 63-70. (Jiang M T, Wang Q L, Zhou X, et al. Differences in oxidation stability of oil bodies from diverse oilseed crops[J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2018, 33 (10): 63-70.)

[25] 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. A review of salt tolerance in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill][J]. Soil and Crops, 2018, 7 (3): 284-292.)

[26] 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 F, Zhu-Ge Y P, Lou Y H, 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.)

[27] 孙东雷,卞能飞,陈志德,等. 花生萌发期耐盐性综合评价及耐盐种质筛选[J]. 植物遗传资源学报,2017,18(6):1079-1087. (Sun D L, Bian N F, Chen Z D, et al. Comprehensive evaluation of salt tolerance and screening for salt tolerant accessions of peanut (*Arachis hypogaea* L.) at germination stage[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18 (6): 1079-1087.)

[28] 薛忠财,高辉远,柳洁. 野生大豆和栽培大豆光合机构对 NaCl 胁迫的不同响应[J]. 生态学报,2011,31(11):3101-3109. (Xue Z C, Gao H Y, Liu J. Different response of photosynthetic apparatus between wild soybean (*Glycine soja*) and cultivated soybean (*Glycine max*) to NaCl stress [J]. Journal of Ecology, 2011, 31 (11): 3101-3109.)

[29] 郑世英,萧蓓蕾,金桂芳. NaCl 胁迫对野生大豆和栽培大豆叶绿素及光合特性的影响[J]. 大豆科学, 2013, 32(4): 486-489. (Zheng S Y, Xiao B L, Jin G F. Effect of NaCl stress on chlorophyll content and photosynthetic characteristics of *Glycine soja* and *Glycine max* [J]. Soybean Science, 2013, 32 (4): 486-489.)

[30] Yang J Y, Zheng W, Tian Y, et al. Effects of various mixed salt-alkaline stresses on growth, photosynthesis and photosynthetic pigment concentrations of *Medicago ruthenica* seedlings[J]. Photosynthetica, 2011, 49(2): 275-284.

[31] 吴泽龙,谭晓风,袁军,等. 油茶不同叶龄叶片形态与光合参数的测定[J]. 经济林研究,2016,34(2):24-29. (Wu Z L, Tan X F, Yuan J, et al. Morphology and photosynthetic parameters of *Camellia oleifera* leaves at different ages[J]. Economic Forest Research, 2016, 34 (2): 24-29.)

[32] 张树文,杨久春,李颖,等. 1950s 中期以来东北地区盐碱地时空变化及成因分析[J]. 自然资源学报,2010,25(3):435-442. (Zhang S W, Yang J C, Li Y, et al. Changes of saline-alkali land in northeast China and its causes since the Mid-1950s [J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25 (3): 435-442.)

(上接第 343 页)

[6] 陈永杰,贾强生,焦连成,等. 鲜食大豆适宜种植密度及其对农艺性状的影响[J]. 黑龙江农业科学,2007(5):41-43. (Chen Y J, Jia Q S, Jiao L C, et al. Plant densities of fresh edible soybean and its effects on agronomic traits [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences,2007(5):41-43.)

[7] 陈霞,刘丽君,赵贵兴,等. 不同播期鲜食大豆品种生育特性及品质评价[J]. 大豆科学,2008,27(6):988-992. (Chen X,Liu L J,Zhao G X,et al. Development traits and quality of vegetable soybeans under different planting date[J]. Soybean Science,2008,27 (6):988-992.)

[8] 黄天宝,吴艳,肖国滨,等. 江西红壤旱地鲜食大豆不同种植密度研究[J]. 现代农业科技,2018(8):7-8. (Huang T B, Wu Y, Xiao G B,et al. Study on planting density of vegetable soybeans in red soil upland of Jiangxi [J]. Modern Agricultural Science and Technology,2018(8):7-8.)

[9] 姜永平,吴春芳,陈惠. 12 个鲜食大豆数量性状的主成分和遗传距离分析[J]. 中国农学通报,2007,23(8):193-197. (Jiang Y P, Wu C F, Chen H. Study on the principal component and genetic distance of quantitative traits of vegetable soybean[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2007,23(8):193-197.)

[10] 王学军,郝德荣,顾国华,等. 鲜食大豆主要农艺性状的遗传变异、相关性和主成分分析[J]. 金陵科技学院学报,2008,24(3):61-64. (Wang X J, Hao D R, Gu G H, et al. Genetic variation, correlation and principal component analysis on major agronomic trait of vegetable soybean[J]. Journal of Jinling Institute of Technology,2008,24(3):61-64.)

[11] 伍新龄,张旭,莫家琪,等. 鲜食大豆农艺性状鉴定及通径分析[J]. 华北农学报,2014,29(6):106-112. (Wu X L,Zhang X,Mo J Q,et al. Agronomic trait and path analysis of agronomic traits of vegetable soybean[J]. ACTA Agriculture Boreali-sinica,2014,29 (6):106-112.)

[12] 汪自强,艾麦里,苏贤坤. 鲜食大豆食味品质的评价指标研究[J]. 中国粮油学报,2004,19(3):47-50. (Wang Z Q, Emery, Su X K. Studies on vegetable soybean quality assess factors[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association,2004,19(3): 47-50.)

[13] 王素,徐兆生,魏民. 菜用大豆产量相关性状的遗传分析[J]. 遗传,1996,18(3):36-36. (Wang S, Xu Z S,Wei M. Genetic analysis of the characters related to the yield of vegetable soybean [J]. Hereditas,1996,18(3):36.)

[14] 韩立德,盖钧镒,邱家驹,等. 菜用大豆感官品质性状遗传变异及品质育种目标性状分析[J]. 植物遗传资源学报,2003,4(1):16-21. (Han L D, Gai J Y, Qiu J X, et al. Genetic variation and breeding objective of sensory quality traits of vegetable soybean[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2003, 4 (1): 16-21.)

[15] 武天龙,赵则胜,蒋家云,等. 菜用大豆粒荚性状遗传变异及相关性的研究[J]. 上海农学院学报,1999,17(2):79-84. (Wu T L, Zhao Z S, Jiang J Y, et al. Study on genetic variation of seed pod characters in vegetable soybean and their correlation[J]. Journal of Shanghai Agricultur al College,1999,17(2):79-84.)

[16] 张辉明,姜永平,韩阳瑞. 江苏省鲜食大豆主要数量性状与产量的灰色关联度分析[J]. 江苏农业科学,2009,(1):187-189. (Zhang H M, Jiang Y P, Han Y R. Grey correlation analysis of main quantitative characters and yield of fresh soybean in Jiangsu province[J]. Jiangsu Agricultural Sciences,2009(1):187-189.)