



60 份大豆种质资源苗期耐盐性鉴定评价

韩岱¹, 时晓磊², 丁孙磊², 张金波², 严勇亮²

(1. 新疆农业大学 农学院/农业生物技术重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆农业科学院 农作物品种资源研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091)

摘要:为挖掘大豆种质资源中的耐盐种质资源, 筛选出耐盐性较强的种质资源, 为大豆耐盐性品种的选育提供优异亲本, 本研究选用于来源于黑龙江、吉林、日本等地的大豆种质资源 60 份, 采用 1.500% NaCl 溶液模拟盐胁迫环境进行苗期耐盐性鉴定评价, 测定叶长、叶宽、叶柄长度、株高、茎秆直径、茎节数、分枝数、植株鲜重、植株干重等 9 个性状指标, 应用隶属函数、主成分分析、聚类分析等方法对大豆苗期耐盐性进行综合评价。结果表明: 盐胁迫下各指标测量值与对照相比较均明显下降, 且各指标之间呈现极显著或显著相关关系。利用隶属函数法进行耐盐性综合评价, 发现不同大豆品种间的耐盐性表现出较大的差异, 60 份大豆中包括耐盐品种 12 份, 中等耐盐品种 24 份, 盐敏感品种 16 份, 不耐盐品种 8 份。9 个性状可综合为 3 个主成分, 可解释 67.430% 的表型变异, 分别代表叶片因子、伸长因子和生物量因子; 60 份材料按耐盐性强弱可分为 4 类, 第一类为耐盐品种 (12 份), 第二类为中等耐盐品种 (24 份), 第三类为敏感品种 (16 份), 第四类为不耐盐品种 (8 份)。东农 56、佳试 D、黑农 63 耐盐性较强, 叶长、分枝数、地上部分干重均可作为大豆耐盐筛选与评价的重要指标。

关键词:大豆; 苗期; 耐盐性; 隶属函数分析

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



Evaluation of Salt Tolerance in 60 Soybean Germplasm Resources at Seedling Stage

HAN Dai¹, SHI Xiaolei², DING Sunlei², ZHANG Jinbo², YAN Yongliang²

(1. Agricultural College of Xinjiang Agricultural University/Key Laboratory of Agricultural Biotechnology, Urumqi 830052, China; 2. Institute of Crop Germplasm Resources, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

Abstract: In order to explore salt-tolerant germplasm resources in soybean germplasm resources, select the germplasm resources with strong salt tolerance, and provide excellent parents for the breeding of soybean salt-tolerant varieties, in this study, 60 soybean germplasm resources from Heilongjiang, Jilin and Japan were selected. Salt tolerance at seedling stage was evaluated by using 1.500% NaCl solution to simulate salt stress environment. Nine traits including leaf length, leaf width, leaf stalk length, plant height, stem diameter, number of stem nodes, number of branches, plant fresh weight and plant dry weight were determined. Salt tolerance of soybean seedling was evaluated by membership function, principal component analysis and cluster analysis. The results showed that the measured values of each index decreased significantly under salt stress, and the correlation between each index was extremely significant or significant. Salt tolerance was evaluated by membership function method, and it was found that salt tolerance of different soybean varieties showed great differences. Among the 60 soybean varieties, 12 were salt tolerant, 24 were medium salt tolerant, 16 were salt sensitive and 8 were salt intolerant. The nine characters could be integrated into three principal components, representing leaf factor, elongation factor and biomass factor, which could explain 67.430% of phenotypic variation. According to the strength of salt tolerance, the 60 materials could be divided into 4 categories. The first category was salt-tolerant varieties (12 copies), the second category was medium salt-tolerant varieties (24 copies), the third category was sensitive varieties (16 copies), and the fourth category was intolerant varieties (8 copies). Dongnong 56, Jiashi D and Heinong 63 showed strong salt tolerance. The leaf length, branches number and aboveground dry weight could be used as important indexes for screening and evaluation of salt tolerance of soybean.

Keywords: soybean; seedling stage; salt tolerance; membership function analysis

大豆原产于中国, 是一种中度耐盐的作物, 可承受的土壤盐度阈值为 $5.000 \text{ ds} \cdot \text{m}^{-1}$ [1-2]。大豆的生长发育受盐胁迫的影响较大, 大多数大豆品种表

现为敏感^[3], 盐胁迫会导致大豆发芽率下降, 植株矮小, 最终导致减产、品质下降。近年来, 土壤盐渍化的问题越来越严重, 现有耕地土壤次生盐渍化逐

收稿日期: 2023-02-21

基金项目: 中央引导地方科技发展专项资金项目 (ZY2022C02); 新疆维吾尔自治区重大科技专项 (2022A03004); 新疆维吾尔自治区区域协同创新专项 (2020E01005); 国家现代农业产业技术体系 (CARS-04-CES31)。

第一作者: 韩岱 (1999—), 男, 硕士研究生, 主要从事大豆抗逆性研究。E-mail: 1348869125@qq.com。

通讯作者: 严勇亮 (1982—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事作物遗传育种研究。E-mails: yanliang198279@163.com。

年加重,一定程度上制约了我国大豆的发展。耐盐大豆品种的鉴定筛选及其高产栽培的研究,对于稳步提高区域大豆产品质量、合理开发和利用盐渍化土壤,保障粮食安全具有重要意义。

土壤盐渍化是一个全球性的问题,在干旱、半干旱地区更加明显^[4]。新疆是我国最大的土壤盐渍化地区,在我国耕地中,有 30.120% 的耕地受不同程度盐化危害,其中新疆的盐碱地面积为 $8.480 \times 10^6 \text{ hm}^2$,占新疆耕地面积的 $1/3$ ^[5-6]。土壤盐渍化直接影响着大豆的产量和品质,对大豆的生长发育有很大的影响。因此,作物耐盐性的提高,对盐渍化土壤的生物治理和综合治理是未来农业研究的重大课题^[7-8]。对盐渍化土壤的治理除了改良和利用外,培育耐盐新品种也是解决土壤盐渍化的有效措施之一^[7,9]。筛选耐盐性强的种质资源是培育耐盐品种的基础,对选育耐盐大豆品种具有重要意义。

现阶段国内外的科学家使用水培法、田间鉴定等方法对大豆耐盐性进行了多方面的研究^[7,10]。邵桂花等^[3]在盐碱土上对 1 716 份大豆品种进行耐盐性鉴定,筛选出 4 份耐盐品种和 2 份盐敏感品种。张翠平等^[11]对 18 份大豆材料进行盐胁迫处理,筛选出 5 份耐盐性品种、11 份中度耐盐品种和 2 份敏感品种。李娜娜等^[12]利用 NaCl 单盐胁迫进行耐盐性鉴定,筛选出耐盐品种 G80,盐害指数 18.000%。曹帅等^[13]对 18 份大豆进行耐盐性筛选与鉴定,筛选出 4 个耐盐碱品种、11 个中等耐盐碱品种和 2 个盐碱敏感品种。相对于其他作物,对大豆耐盐性的相关研究较少,目前对大豆耐盐性的研究大多数是进行萌发期耐盐性鉴定,对苗期耐盐性表型鉴定的

相关报道较少,在鉴定方法上使用水培法和田间鉴定法鉴定较多。水培法鉴定成本较高且操作繁琐,很难做到大批量的苗期耐盐鉴定;由于环境因素干扰,田间鉴定法鉴定周期长,易受到光照、温度、病虫害、碱害等因素影响,且大田盐成分复杂,很难保持不同品种之间受到的盐害种类和浓度一致。本研究使用盆栽法,成本较低,鉴定周期适中,盐浓度和种类易控,可大批量进行苗期耐盐性鉴定。虽然前人对大豆苗期耐盐性鉴定评价有一定研究,但对表型指标与大豆耐盐性的相关性以及其作为大豆耐盐性评价指标的相关报道较少。本研究主要利用表型指标进行耐盐性鉴定与评价,旨在为耐盐大豆新品种选育及利用提供理论基础,并为开展大豆耐盐性相关研究提供优质材料基础。

大豆从萌发出苗到成苗立苗的过程是盐胁迫环境限制物种分布的决定性生育阶段^[7,14]。本研究以新疆农业科学院农作物品种资源研究所国家种质资源中期库保存的 60 份大豆种质资源为研究材料,使用盆栽法进行 NaCl 胁迫,对大豆品种苗期进行耐盐性鉴定,初步探讨不同品种大豆之间的耐盐性差异,筛选出耐盐材料,为耐盐大豆新品种选育与遗传改良提供优质亲本材料。

1 材料与方法

1.1 材料

以新疆农业科学院农作物品种资源研究所国家种质资源中期库保存的 60 份大豆种质资源为材料,其中国内大豆种质资源 59 份,来源于东北大豆地区,国外大豆种质资源 1 份,来源于日本(附表 1)。

表 1 存活品种以及存活率
Table 1 Materials and survival rates of surviving varieties 单位: %

品种 Variety	存活率 Survival rate	品种 Variety	存活率 Survival rate	品种 Variety	存活率 Survival rate	品种 Variety	存活率 Survival rate
吉育 89 Giyu 89	60	绥农 10 Suinong 10	20	吉大豆 2 号 Jidadou 2	60	吉育 202 Giyu 202	40
北丰 11 Beifeng 11	20	绥农 41 Suinong 41	20	东升 101 Dongsheng 101	40	东生 25 Dongsheng 25	40
合丰 35 Hefeng 35	20	北豆 53 Beidou 53	60	东农 63 Dongnong 63	60	黑农 63 Heinong 63	40
黑生 101 Heisheng 101	20	东农 56 Dongnong 56	80	合农 92 Henong 92	80	绥农 38 Suinong 38	20
十胜长叶 Tokachi-Nagaha	80	东生 22 Dongsheng 22	20	绥小粒豆 1 号 Suixiaolidou 1	20	北豆 37 Beidou 37	20
东农 42A Dongnong 42A	100	吉育 72 Giyu 72	100	东生 5 号 Dongsheng 5	60	吉育 93 Giyu 93	40

表 1 (续)

品种 Variety	存活率 Survival rate	品种 Variety	存活率 Survival rate	品种 Variety	存活率 Survival rate	品种 Variety	存活率 Survival rate
吉育 63 Giyu 63	80	绥无腥豆 2 号 Suiwuxingdou 2	60	黑农 52 Heinong 52	40	吴疆 1 号 Haojiang 1	20
合丰 51 Hefeng 51	100	合丰 39 Hefeng 39	60	贺丰 7 号 Hefeng 7	60	东生 17 Dongsheng 17	40
吉育 109 Giyu 109	60	东生 12 Dongsheng 12	40	东农 55 Dongnong 55	60	黑河 50 Heihe 50	80
合农 70 Henong 70	40	东生 23 Dongsheng 23	20	黑农 44 Heinong 44	40	九农 26 Jiunong 26	40
北疆九 1 号 Beijiangjiu 1	20	北豆 31 Beidou 31	100	北豆 26 Beidou 26	20	东升 9 号 Dongsheng 9	20
黑农 43 Heinong 43	40	合农 67 Henong 67	100	垦鉴 35 Kenjian 35	100	东农 60 Dongnong 60	60
佳试 D Jiashi D	40	绥农 30 Suinong 30	20	东农 47 Dongnong 47	80	北豆 38 Beidou 38	60

1.2 试验设计

试验在新疆农业科学院安宁渠综合试验场进行,设置盐处理(浓度为 1.500% 的 NaCl 溶液)和清水对照,设置 3 次重复,每个重复 5 株。

将营养土与大田土按照 1:1 的比例均匀混合,装在 18 cm × 18 cm 营养钵中,每 6 个营养钵放入 1 个周转箱,每个周转箱浇足量的水,使混合土壤达到饱和,即表土有水浸出后进行播种。每个营养钵种植 10 粒种子,播深 2 ~ 4 cm,播种后覆土并插上标签。出苗前每天浇水,保证出苗率。在第一片子叶展开时进行定苗,拔除小苗、弱苗,每盆保留 5 株长势整齐一致的幼苗进行栽培。

大豆在三叶一心期进行盐胁迫处理,盐处理时将清水替换为 1.500% 浓度的 NaCl 溶液进行盐胁迫处理,胁迫后每天观察各品种生长发育情况。30 d 后记录存活品种和死亡品种(植株 2/3 以上叶片黄化、萎蔫即可视其为死亡)的编号,并将存活品种重新编号,记录各品种的性状信息,计算相对值。

1.3 测定指标及方法

存活品种中选取 3 株记录叶长、叶宽、叶柄长度、株高、茎秆直径、茎节数、分枝数、地上部分鲜重、地上部分干重等指标。室内考种标准参考《大豆种质资源描述规范和数据标准》^[15],其中叶长、叶宽、叶柄长度、株高使用直尺测定,每株取两片叶子记录叶长、叶宽、叶柄长度,并计算平均值;茎秆直

径使用游标卡尺测量;地上部分鲜重、干重使用电子天平测量;茎节数、分枝数进行目测。计算各指标的相对值:各指标相对值(%) = (盐处理指标测定值/对照指标测定值) × 100。

1.4 数据分析

使用 Excel 2013 对原始数据进行简单处理和单因素方差分析,使用 SPSS Statistics 26 进行相关性分析、主成分分析、隶属函数分析,并根据隶属函数分析求出 D 值,并基于 D 值对存活的大豆材料进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 存活品种的存活率与各指标变化值

盐胁迫 30 d 后各个品种存活状况观察结果显示,NaCl 胁迫下 60 个大豆品种中,存活品种 52 个(表 1),盐害致死品种 8 个,分别是绥农 48、北豆 40、吉小粒豆 6 号、垦丰 16、吉大豆 3 号、绥农 33、黑河 53 和合农 68。

由表 2 可知,NaCl 胁迫下 9 个指标均受不同程度的抑制,较对照均呈现下降的趋势,说明 NaCl 对大豆生长具有一定的抑制作用。NaCl 胁迫下,地上部分干重均值为 1.81 g,受抑制最严重,较对照比较下降了 13%。各指标均匀不同程度下降(表 3)。植株干重指标下降幅度最大,均值达到 40.49%;茎节数指标下降幅度最小,均值达到 12.97%。

表 2 NaCl 胁迫下大豆种质资源表型变异

Table 2 Phenotypic variation of soybean germplasm resources under NaCl stress

项目		叶长	叶宽	叶柄长度	株高	茎秆直径	茎节数	分枝数	地上部分鲜重	地上部分干重
Item		Leaf length	Width of leaf	Petiole length	Plant height	Stem diameter	Stem nodes number	Branches number	Fresh weight of above ground	Dry weight of above ground
NaCl 胁迫	最大值 Max.	8.25	4.55	12.57	34.00	0.41	9.00	6.50	88.97	4.27
NaCl stress	最小值 Min.	2.25	2.02	3.10	15.00	0.23	2.50	2.00	14.04	0.43
	均值 Mean	5.99	2.88	8.86	24.14	0.32	7.09	4.79	40.41	1.81
	标准差 SD	1.08	0.62	1.83	4.13	0.04	1.06	0.89	16.27	0.86
	变异系数 CV	0.18	0.22	0.21	0.17	0.12	0.15	0.19	0.40	0.47
对照	最大值 Max.	10.15	5.22	15.00	38.50	0.57	9.67	8.00	91.44	6.11
Control	最小值 Min.	5.15	2.40	6.87	18.83	0.24	6.33	3.33	25.84	1.22
	均值 Mean	7.03	3.51	11.27	29.47	0.39	8.15	5.90	55.68	3.08
	标准差 SD	1.02	0.77	1.89	4.41	0.07	0.87	0.93	16.27	1.05
	变异系数 CV	0.14	0.21	0.17	0.15	0.17	0.11	0.16	0.29	0.34
较对照变化	均值 Average	-1.04	-0.63	-2.41	-5.33	-0.07	-1.06	-1.11	-15.27	-1.27
Comparison with the control	变异系数 CV	0.04	0.01	0.04	0.02	-0.05	0.04	0.03	0.11	0.13

表 3 各指标下降幅度

Table 3 Declines of each index

单位: %

品种	叶长	叶宽	叶柄长度	株高	茎秆直径	茎节数	分枝数	地上部分鲜重	地上部分干重
Variety	Leaf length	Width of leaf	Petiole length	Plant height	Stem diameter	Stem nodes number	Branches number	Fresh weight of above ground	Dry weight of above ground
吉育 89 Giyu 89	23.81	27.40	18.32	30.71	35.59	4.55	5.26	48.54	45.66
北丰 11 Beifeng 11	1.98	1.92	29.69	10.67	21.62	60.53	68.42	16.88	15.41
合丰 35 Hefeng 35	0.93	6.02	6.90	12.14	10.28	4.55	10.00	12.41	23.52
黑生 101 Heisheng 101	5.69	43.34	16.74	12.03	8.54	5.26	7.69	16.50	53.47
十胜长叶 Tokachi-Nagaha	0.23	8.88	7.63	6.38	36.94	7.14	20.00	14.85	38.02
东农 42A Dongnong 42A	2.68	4.72	6.30	2.75	38.31	18.52	31.82	7.66	20.45
吉育 63 Giyu 63	8.52	12.84	27.09	1.99	27.27	17.39	5.88	13.58	29.59
合丰 51 Hefeng 51	18.30	1.08	23.60	5.30	10.89	5.26	6.25	13.11	17.37
吉育 109 Giyu 109	18.95	1.27	15.97	18.06	2.22	4.76	26.32	2.48	61.30
合农 70 Henong 70	4.94	2.30	1.75	4.42	15.06	7.14	25.00	49.33	33.61
北疆九 1 号 Beijiangjiu 1	26.65	20.78	27.08	24.88	2.70	15.38	15.00	48.10	26.24
黑农 43 Heinong 43	4.08	16.95	35.36	21.33	3.67	9.09	16.67	34.26	56.83
佳试 D Jiashi D	13.09	32.27	16.03	31.00	33.57	3.85	5.88	3.36	24.66
绥农 10 Suinong 10	18.18	9.05	10.54	22.81	27.21	28.00	42.86	44.09	66.67
绥农 41 Suinong 41	25.19	30.86	15.45	16.20	17.86	25.00	14.29	13.46	18.86
北豆 53 Beidou 53	21.88	18.59	12.53	1.92	9.73	13.64	17.65	16.61	35.60
东农 56 Dongnong 56	11.91	19.74	20.65	1.05	18.12	12.00	15.00	2.70	2.94
东生 22 Dongsheng 22	11.74	1.05	0.14	6.59	28.00	25.00	14.29	18.26	2.99
吉育 72 Giyu 72	6.80	9.50	1.08	14.01	0.00	13.64	6.25	3.86	53.36

表 3(续)

品种 Variety	叶长 Blade length	叶宽 Width of blade	叶柄长度 Petiole length	株高 Plant height	茎秆直径 Stem diameter	茎节数 Stem nodes number	分枝数 Branches number	地上部分鲜重 Fresh weight of above ground	地上部分干重 Dry weight of above ground
绥无腥豆 2 号 Suiwuxingdou 2	14.90	31.28	16.92	20.00	10.53	10.71	23.81	8.81	41.44
合丰 39 Hefeng 39	21.43	6.17	7.09	23.78	30.95	4.55	13.33	28.55	41.25
东生 12 Dongsheng 12	10.80	4.36	7.52	16.58	1.98	2.17	16.67	26.89	21.05
东生 23 Dongsheng 23	28.57	25.33	17.89	1.32	24.43	8.93	5.26	66.98	55.24
北豆 31 Beidou 31	7.55	14.51	19.88	16.33	5.15	4.55	30.00	9.51	4.61
合农 67 Henong 67	19.07	23.63	25.16	28.92	35.29	28.57	31.58	65.43	76.86
绥农 30 Suinong 30	3.76	23.86	13.56	26.29	6.72	14.29	31.82	29.04	38.75
吉大豆 2 号 Jidadou 2	8.01	13.00	17.76	10.00	7.52	4.55	6.25	23.26	44.11
东升 101 Dongsheng 101	13.43	20.30	11.55	25.00	29.29	19.64	25.00	18.13	49.00
东农 63 Dongnong 63	35.29	31.64	42.56	13.82	8.91	17.86	31.58	67.37	83.71
合农 92 Henong 92	17.31	2.89	18.73	16.98	20.54	12.00	22.22	33.18	41.41
绥小粒豆 1 号 Suixiaolidou 1	56.87	29.10	59.39	33.33	7.00	18.18	30.77	30.54	38.76
东生 5 号 Dongsheng 5	4.55	7.93	16.77	8.77	4.42	6.25	10.00	39.04	58.02
黑农 52 Heinong 52	1.98	0.67	22.45	5.62	9.72	4.00	2.50	22.10	31.23
贺丰 7 号 Hefeng 7	7.64	14.04	12.69	8.59	13.46	4.35	12.50	9.99	35.18
东农 55 Dongnong 55	5.92	11.33	15.50	29.86	26.76	19.23	22.73	1.43	30.91
黑农 44 Heinong 44	19.57	28.05	32.48	40.58	5.50	22.22	32.50	45.66	58.59
北豆 26 Beidou 26	19.46	37.14	7.44	15.52	18.85	12.50	6.25	9.16	38.08
垦鉴 35 Kenjian 35	5.54	7.84	19.76	24.68	32.87	19.23	15.79	5.77	30.73
东农 47 Dongnong 47	16.93	12.13	16.04	2.19	36.43	11.54	11.76	47.01	70.69
吉育 202 Giyu 202	8.98	3.41	37.67	19.43	2.04	4.00	14.29	29.83	5.71
东生 25 Dongsheng 25	40.79	35.40	47.69	39.38	6.60	11.36	14.29	51.39	76.00
黑农 63 Heinong 63	20.65	27.06	33.56	17.01	10.23	5.56	5.26	26.26	19.23
绥农 38 Suinong 38	5.09	6.13	13.93	15.12	38.73	11.11	21.05	27.07	45.70
北豆 37 Beidou 37	5.80	20.88	30.17	20.11	4.55	6.90	21.05	2.04	43.40
吉育 93 Giyu 93	24.59	29.59	44.13	26.96	5.60	12.50	8.33	22.94	35.71
昊疆 1 号 Haojiang 1	12.93	11.40	9.18	27.87	16.67	4.00	6.25	31.78	6.31
东生 17 Dongsheng 17	7.46	10.04	27.83	25.99	15.79	8.70	10.00	58.02	74.60
黑河 50 Heihe 50	16.82	21.90	37.08	12.14	12.15	7.69	12.50	13.78	44.35
九农 26 Jiunong 26	9.07	11.65	21.51	22.77	20.66	1.92	14.29	22.69	43.36
东升 9 号 Dongsheng 9	7.16	6.25	15.63	13.33	9.24	12.50	20.00	47.86	60.87
东农 60 Dongnong 60	34.77	48.54	49.44	24.22	4.23	32.00	15.38	61.18	75.61
北豆 38 Beidou 38	26.54	29.90	26.22	40.00	32.04	30.43	47.06	48.74	58.48
平均 Average	14.71	16.84	20.92	17.63	16.59	12.97	18.20	27.14	40.49

2.2 各农艺性状单因素方差分析

由表 4 可知,叶长、叶宽、叶柄长度、株高、茎节数、地上部分鲜重、地上部分干重等指标均存在极显著性差异,茎秆直径存在显著性差异,分枝数差

异不显著,该分析结果与直观分析结果基本一致。各性状组内平方和均小于组间平方和,说明不同大豆品种各性状的差异是由遗传因素作用主导,环境因素的影响较小。

表 4 NaCl 胁迫下大豆种质资源农艺性状简单方差分析

Table 4 Simple variance analysis of agronomic characters of soybean germplasm resources under NaCl stress

性状 Trait	项目 Item	平方和 Square sum	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	<i>F</i>	显著性 Significance
叶长 Blade length	组间 Between groups	241.6223	51	4.7377	11.8942	2.52E-36
	组内 Within group	71.6975	180	0.3983		
	总数 Total	313.3198	231			
叶宽 Width of blade	组间 Between groups	84.6938	51	1.6607	8.1869	1.30E-26
	组内 Within group	36.5117	180	0.2028		
	总数 Total	121.2055	231			
叶柄长度 Petiole length	组间 Between groups	350.7979	51	6.8784	2.5716	1.92E-04
	组内 Within group	171.1857	64	2.6748		
	总数 Total	521.9835	115			
株高 Plant height	组间 Between groups	2044.7950	51	40.0940	3.6961	5.72E-07
	组内 Within group	694.2585	64	10.8478		
	总数 Total	2739.0540	115			
茎秆直径 Stem diameter	组间 Between groups	0.1989	51	0.0039	1.6329	0.0316
	组内 Within group	0.1528	64	0.0024		
	总数 Total	0.3517	115			
茎节数 Stem nodes number	组间 Between groups	119.8136	51	2.3493	2.0268	0.0036
	组内 Within group	76.5000	66	1.1591		
	总数 Total	196.3136	117			
分枝数 Branches number	组间 Between groups	81.4407	51	1.5969	1.1394	0.3067
	组内 Within group	92.5000	66	1.4015		
	总数 Total	173.9407	117			
地上部分鲜重 Fresh weight of above ground	组间 Between groups	32973.8700	51	646.5464	24.3230	1.18E-27
	组内 Within group	1727.8140	65	26.5818		
	总数 Total	34701.6800	116			
地上部分干重 Above ground dry weight	组间 Between groups	85.5249	51	1.6770	2.7186	8.05E-05
	组内 Within group	40.0952	65	0.6168		
	总数 Total	125.6201	116			

2.3 各指标相对值间的相关性分析

各指标相对值相关性分析结果表明:叶长与叶宽、叶柄长度、株高和地上部分鲜重极显著正相关,相关系数分别为0.574,0.591,0.404 和0.442,与地上部分干重显著正相关,相关系数为0.317;叶宽与叶柄长度和株高极显著正相关,相关系数分别为0.470 和0.416,与干重显著正相关,相关系数为0.339;叶柄长度与株高极显著正相关,相关系数为0.399,与鲜重和干重显著正相关,相关系数分别为0.333 和0.277,与茎秆直径极显著负相关,相关系数为0.359;株高与干重显著正相关,相关系数为0.280;茎节数与分枝数极显著正相关,相关系数为

0.718;鲜重与干重极显著正相关,相关系数为0.611(表5)。

2.4 大豆耐盐性的主成分分析

主成分分析结果显示,前3 个主成分的贡献率分别为34.866%、19.896% 和12.667%,其累积贡献率为67.430%。在第一主成分中,叶长、叶柄长度和叶宽具有较高的因子载荷,分别为0.787,0.749 和0.691,可综合为叶片因子;在第二主成分中,分枝数和茎节数具有较高的因子载荷,分别为0.830 和0.800,可综合为伸长因子;在第三主成分中,鲜重和干重具有较高的因子载荷,分别是0.557 和0.581,可综合为生物量因子(表6)。

表 5 各指标耐盐系数间的相关性分析结果

Table 5 Correlation analysis results of salt tolerance coefficients of each index

指标 Index	各指标耐盐系数间的相关系数 Correlation coefficient between salt tolerance coefficient of each index								
	叶长	叶宽	叶柄长度	株高	茎秆直径	茎节数	分枝数	地上部分鲜重	地上部分干重
	Leaf length	Width of leaf	Petiole length	Plant height	Stem diameter	Stem nodes number	Branches number	Fresh weight of above ground	Dry weight of above ground
叶长 Blade length	1								
叶宽 Width of blade	0.574 **	1							
叶柄长度 Petiole length	0.591 **	0.470 **	1						
株高 Plant height	0.404 **	0.416 **	0.399 **	1					
茎秆直径 Stem diameter	-0.122	-0.133	-0.359 **	-0.039	1				
茎节数 Stem nodes number	0.172	0.123	0.194	0.151	0.237	1			
分枝数 Branches number	0.040	-0.080	0.112	0.226	0.140	0.718 **	1		
地上部分鲜重 Fresh weight of above ground	0.442 **	0.227	0.333 *	0.252	0.008	0.168	0.118	1	
地上部分干重 Dry weight of above ground	0.317 *	0.339 *	0.277 *	0.280 *	-0.011	0.110	0.111	0.611 **	1

表 6 3 个主成分的特征根值、贡献率及各因子载荷矩阵

Table 6 Characteristic root value, contribution rate and factor load matrix of the three principal components

主成分 Principal component	因子载荷 Factor loading		
	I	II	III
特征值 Eigenvalue	3.138	1.791	1.140
贡献率 Contribution rate/%	34.866	19.896	12.667
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	34.866	54.763	67.430
叶长 Leaf length	0.787	-0.183	-0.071
叶宽 Width of leaf	0.691	-0.277	-0.113
叶柄长度 Petiole length	0.749	-0.205	-0.350
株高 Plant height	0.642	0.033	-0.155
茎秆直径 Stem diameter	-0.166	0.554	0.463
茎节数 Stem nodes number	0.376	0.800	-0.226
分枝数 Branches number	0.280	0.830	-0.252
地上部分鲜重 Fresh weight of above ground	0.653	0.041	0.557
地上部分干重 Dry weight of above ground	0.628	0.000	0.581

2.5 隶属函数分析

根据因子载荷计算特征向量, 计算得出 D 值, 并对其排序的结果如表 7 所示: 耐盐性排前 5 的材料分别是东农 56、佳试 D、黑农 63、黑生 101 和黑农 52; 排名后 5 的材料分别是合农 67、东生 25、北丰 11、绥小粒豆 1 号和北豆 38。

表 7 各种综合指标值、隶属函数值、耐盐综合评价 D 值及排序

Table 7 Values of various comprehensive indexes,membership function values,D values of comprehensive salt tolerance evaluation and their ranking								
品种 Variety	综合指标值 Comprehensive index			隶属函数值 Subordinative function			D 值	排序
	X ₁	X ₂	X ₃	μ ₁	μ ₂	μ ₃	D value	Rank
吉育 89 Giyu 89	1.119	-0.642	-0.793	0.636	0.491	0.462	0.551	33
北丰 11 Beifeng 11	-2.432	1.168	-2.746	0.000	0.891	0.000	0.315	50
合丰 35 Hefeng 35	-0.228	0.881	0.980	0.395	0.828	0.882	0.645	10
黑生 101 Heisheng 101	1.755	-0.751	1.181	0.750	0.467	0.930	0.686	4
十胜长叶 Tokachi-Nagaha	-0.091	1.308	-0.191	0.420	0.922	0.605	0.634	12
东农 42A Dongnong 42A	-0.315	1.660	-1.019	0.379	1.000	0.409	0.604	20
吉育 63 Giyu 63	0.219	0.867	0.712	0.475	0.825	0.819	0.667	6
合丰 51 Hefeng 51	-0.426	0.734	0.896	0.359	0.795	0.862	0.613	16
吉育 109 Giyu 109	-0.765	0.081	1.167	0.299	0.651	0.927	0.548	34
合农 70 Henong 70	-1.489	0.474	1.277	0.169	0.738	0.953	0.526	37
北疆九 1 号 Beijiangjiu 1	-0.326	-0.917	0.258	0.377	0.431	0.711	0.463	41
黑农 43 Heinong 43	0.068	0.114	0.744	0.448	0.658	0.826	0.598	23
佳试 D Jiashi D	3.147	-0.037	-1.242	1.000	0.625	0.356	0.740	2
绥农 10 Suinong 10	-1.495	-0.099	-1.261	0.168	0.611	0.352	0.361	45
绥农 41 Suinong 41	0.653	-0.409	-1.133	0.553	0.543	0.382	0.515	38
北豆 53 Beidou 53	0.763	0.446	0.142	0.573	0.732	0.684	0.651	9
东农 56 Dongnong 56	1.657	1.047	-0.292	0.733	0.865	0.581	0.749	1
东生 22 Dongsheng 22	-0.160	1.503	-1.355	0.407	0.965	0.330	0.589	26
吉育 72 Giyu 72	-0.844	0.229	0.953	0.285	0.684	0.876	0.543	36
绥无腥豆 2 号 Suiwuxingdou 2	1.400	-0.370	0.053	0.687	0.551	0.663	0.634	11
合丰 39 Hefeng 39	-0.938	-0.233	0.035	0.268	0.582	0.658	0.456	42
东生 12 Dongsheng 12	-0.645	0.205	1.477	0.320	0.678	1.000	0.582	27
东生 23 Dongsheng 23	0.712	-0.048	0.032	0.563	0.623	0.658	0.603	21
北豆 31 Beidou 31	0.199	0.263	1.006	0.472	0.691	0.888	0.632	13
合农 67 Henong 67	-1.090	-0.738	-1.725	0.240	0.470	0.242	0.322	48
绥农 30 Suinong 30	0.909	0.073	-0.107	0.599	0.649	0.625	0.622	14
吉大豆 2 号 Jidadou 2	-0.261	0.309	1.218	0.389	0.701	0.939	0.609	18
东升 101 Dongsheng 101	0.562	0.246	-1.450	0.537	0.688	0.307	0.544	35
东农 63 Dongnong 63	-1.172	-2.071	0.697	0.226	0.176	0.815	0.325	46
合农 92 Henong 92	-0.362	0.619	-0.254	0.371	0.770	0.590	0.555	31
绥小粒豆 1 号 Suixiaolidou 1	-0.437	-2.500	-0.347	0.357	0.081	0.568	0.302	51
东生 5 号 Dongsheng 5	-0.756	0.449	1.409	0.300	0.732	0.984	0.589	25
黑农 52 Heinong 52	-0.264	1.260	1.108	0.389	0.912	0.913	0.677	5
贺丰 7 号 Hefeng 7	0.314	0.626	0.790	0.492	0.772	0.837	0.659	7
东农 55 Dongnong 55	-0.408	0.371	-1.088	0.363	0.715	0.393	0.493	40
黑农 44 Heinong 44	-0.263	-1.342	-0.544	0.389	0.337	0.522	0.397	44
北豆 26 Beidou 26	0.914	-0.809	0.019	0.600	0.454	0.655	0.559	30
垦鉴 35 Kenjian 35	0.119	0.964	-1.501	0.457	0.846	0.295	0.562	29
东农 47 Dongnong 47	-0.277	0.758	-0.435	0.386	0.801	0.547	0.565	28
吉育 202 Giyu 202	-0.268	0.467	1.099	0.388	0.736	0.910	0.615	15
东生 25 Dongsheng 25	-0.386	-2.865	0.463	0.367	0.000	0.760	0.315	49
黑农 63 Heinong 63	2.171	-0.072	0.064	0.825	0.617	0.665	0.720	3
绥农 38 Suinong 38	-0.007	1.197	-0.884	0.435	0.898	0.441	0.599	22
北豆 37 Beidou 37	0.328	-0.047	0.865	0.495	0.623	0.855	0.612	17
吉育 93 Giyu 93	0.965	-0.907	-0.005	0.609	0.433	0.649	0.555	32
昊疆 1 号 Haojiang 1	0.323	0.126	0.156	0.494	0.661	0.687	0.591	24
东生 17 Dongsheng 17	-0.824	-0.085	0.429	0.288	0.614	0.752	0.495	39
黑河 50 Heihe 50	0.473	-0.051	0.522	0.521	0.622	0.774	0.607	19
九农 26 Jiunong 26	0.785	0.543	0.109	0.576	0.753	0.676	0.659	8
东升 9 号 Dongsheng 9	-1.657	-0.115	1.047	0.139	0.608	0.898	0.455	43
东农 60 Dongnong 60	-0.166	-2.440	-0.482	0.406	0.094	0.536	0.322	47
北豆 38 Beidou 38	-0.805	-1.440	-2.056	0.292	0.315	0.163	0.274	52

2.6 不同大豆品种耐盐性综合评价

以隶属函数分析获得的 D 值为基础,采用组间联接法对 52 份存活材料进行聚类分析的结果如图

1 所示,并根据存活材料的 D 值,可将 52 个大豆品种划分为 3 个类群,分别为为耐盐、中等耐盐和敏感共 3 个等级。

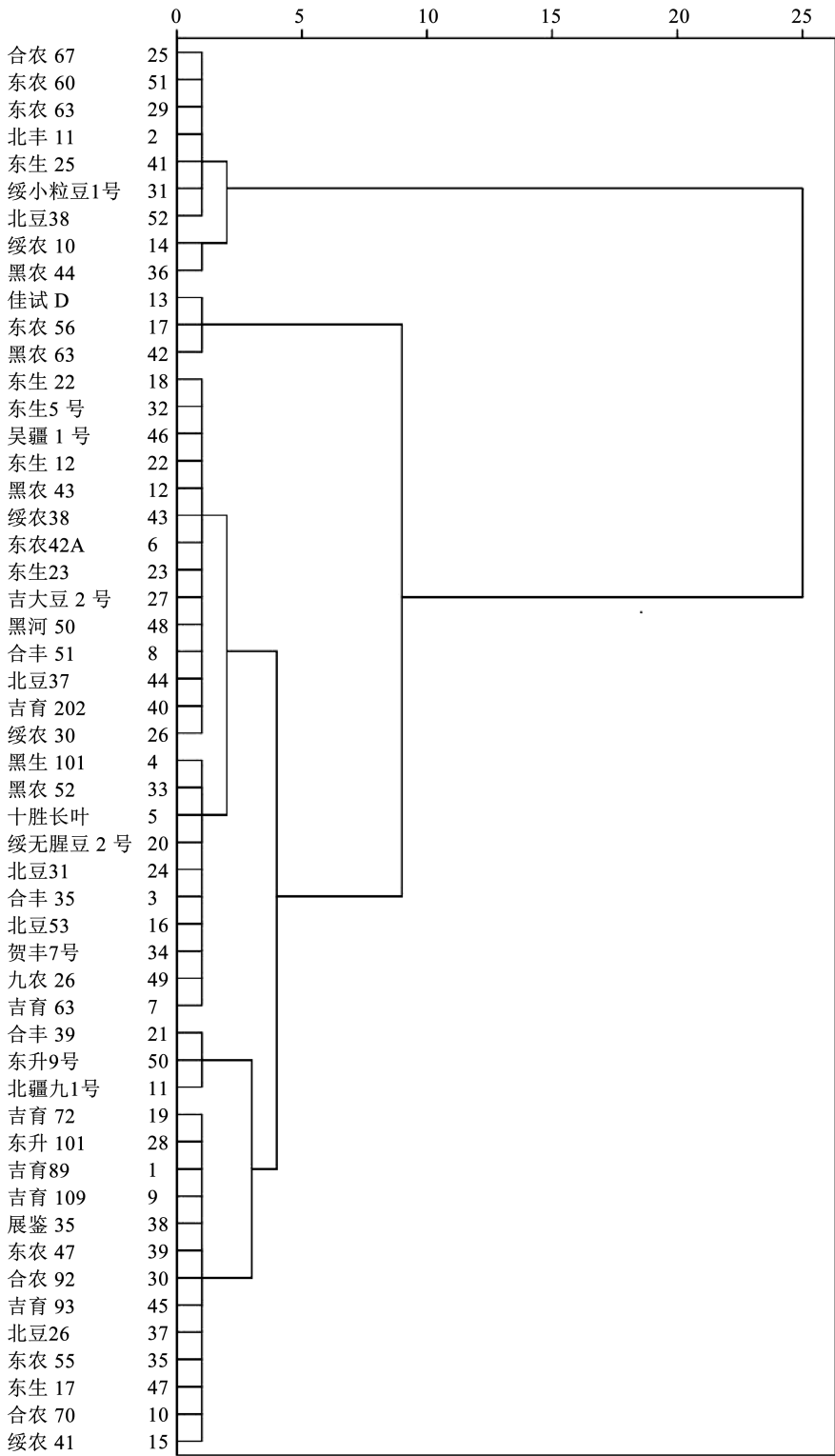


图 1 52 个存活大豆品种的耐盐性聚类分析结果

Fig.1 Results of cluster analysis on salt tolerance of 52 surviving soybean varieties

基于聚类分析和耐盐性综合度量值(D 值)可将 52 份存活大豆材料分为 3 类:第Ⅰ类群包括 12

个品种,为耐盐品种,占存活材料数的 23.077%;第Ⅱ类群包括 24 个品种,属于中等耐盐品种,占存活

材料数的 46.154% ;第Ⅲ类群包括 16 个品种 ,属于敏感品种 ,占存活材料数的 30.769%。

表 8 对 52 份存活大豆品种耐盐性分类结果
Table 8 Classification results of salt tolerance of 52 surviving soybean varieties

耐盐类型 Grade	D 值均值	全部品种 All varieties	
	D value mean	品种数 No. of varieties	频率 Frequency/%
I 耐盐 Salt tolerance	0.677	12	20.000
Ⅱ 中度耐盐 Moderate salt tolerance	0.585	24	40.000
Ⅲ 盐敏感 Salt-sensitive	0.396	16	26.667
共计 Total		52	100.000

根据以上分析,可将 60 份大豆材料可分为 4 类:第一类为耐盐品种(12 份),第二类为中等耐盐品种(24 份),第三类为敏感品种(16 份),第四类为不耐盐品种(8 份死亡品种)。

3 讨论

3.1 盐胁迫下大豆苗期性状表型变异

在盐胁迫条件下,大豆的所有表型指标均不同程度下降,其中干重下降幅度最大,达到 40.490%。对各性状进行主成分分析发现,大豆的叶长、叶宽和叶柄长度在 NaCl 胁迫下会产生明显的变化。姜静涵^[16]研究表明,大豆在受到一定浓度的盐胁迫后,盐敏感品种的叶片出现萎蔫、失绿等现象,这与本研究的结果一致,说明叶长、叶宽与叶柄长度可以作为鉴定大豆耐盐的主要指标之一。牛远等^[17]研究发现,大豆苗期盐胁迫会导致植株的株高降低,植株的地上部分和地下部分生长均受到抑制;张鹏等^[18]研究发现,苗期盐胁迫会导致叶面积不同程度下降;周秀文等^[19]研究表明,在不同盐浓度条件下,大豆的干重、鲜重及株高存在差异,在相同浓度下,不同品种也存在差异,大部分品种在盐胁迫下,干重、鲜重明显降低。本研究中植株受到盐胁迫后,株高、地上部分鲜重、干重等均不同程度下降,这与前人研究结果保持一致,表明株高、地上部分鲜重、干重的变化可作为区分大豆耐盐性强弱的指标。

主成分分析是通过降维将原来多个指标转化为较少且独立的新综合指标的统计方法,目前在不同作物多个性状的综合评价上广泛用^[20]。唐丽敏

等^[21]利用主成分分析将玉米区域试验产量性状分为果穗性状、抗性和形态性状;郭琳钰等^[22]通过主成分分析,将生菜耐盐性鉴定的 19 个指标分为 3 个一级指标、4 个二级指标和 1 个三级指标;王薇薇等^[23]通过主成分分析,将大蒜的 14 个单项指标综合为 4 个独立综合指标;武兆云等^[24]通过主成分分析,将大豆耐低磷的 11 个指标总和为 3 个因子,生物量因子中地上部分鲜重、地上部分干重贡献度较大;王燕平等^[25]通过主成分分析,将大豆抗旱的 18 个指标综合为 4 个因子,其中株型因子中株高的贡献度最大。以上研究均表明主成分分析筛选出的作物抗逆性指标具有实用性,本研究利用主成分分析将大豆苗期耐盐性鉴定指标综合为 3 个主成分,分别为叶片因子、伸长因子和生物量因子。前人通过这些因子对大豆进行抗逆性鉴定评价^[24-25],本研究表现出与前人研究一致的结果,说明这几个因子可作为反映大豆耐盐性强弱的重要指标。

3.2 大豆苗期耐盐性鉴定评价

隶属函数分析法、主成分分析法和聚类分析法是常见的分析方法,在作物抗逆性分析上均具有可行性,在玉米^[26]、苜蓿^[27]、小麦^[28]等多种作物上均有所应用。孙现军等^[29]通过主成分分析、隶属函数、聚类分析等多元分析对小麦进行耐盐性分析,筛选出高耐盐型品种 2 个、耐盐型品种 3 个。林文磊等^[30]基于综合主成分值,获得两个主成分因子。李健平等^[31]结合隶属函数法和聚类分析,综合筛选出 1 份耐旱大豆种质和 1 份较耐旱大豆种质。张海平等^[32]应用平均隶属函数法对 568 份大豆种质进行抗旱性鉴定,筛选出抗旱种质 4 份。张翠平等^[11]对 18 份大豆材料进行盐胁迫处理,通过聚类分析,筛选出 5 份耐盐品种、11 份中等耐盐品种和 2 份敏感品种。李兆南^[33]应用基于遗传距离的聚类和基于模型的聚类两种方法,综合筛选出 6 个芽期抗旱大豆品种和 11 个苗期耐盐品种。以上研究均表明隶属函数分析法、主成分分析法和聚类分析法在作物抗逆性鉴定评价上的可行性。本研究基于隶属函数分析和主成分分析取得的 D 值进行聚类分析,筛选出东农 56、佳试 D、黑农 63 等 12 份耐盐大豆品种,可用于深入研究大豆耐盐机制以及对盐碱地的开发利用。由于大豆不同生育期对盐胁迫的耐受能力不同,苗期的耐盐材料筛选与评价并不能代表整个生育期的鉴定工作,对于耐盐种质的精准鉴定工作,还需要结合其他生育期生理生化指标以及基因型鉴定,提高耐盐鉴定的精确性。

4 结论

结合主成分分析、隶属函数分析及聚类分析对60份大豆材料进行耐盐性综合评价,按耐盐性的强弱可分为4类:第一类为耐盐品种(12份),第二类为中等耐盐品种(24份),第三类为敏感品种(16份),第四类为不耐盐品种(8份)。苗期耐盐性强的材料为东农56、佳试D、黑农63、黑生101、黑农52、吉育63、贺丰7号、九农26、北豆53、合丰35、绥无腥豆2号和十胜长叶,最弱的为北丰11、绥小粒豆1号和北豆38等。叶长、分枝数、地上部分干重均可作为大豆耐盐筛选与评价的重要指标。筛选出的耐盐性强和弱的材料,可为开展大豆耐盐性相关基因QTL定位以及耐盐机制等方面的研究提供优质材料基础。

参考文献

[1] 石广成,杨万明,杜维俊,等. 大豆耐盐种质的筛选及其耐盐生理特性分析[J]. 生物技术通报, 2022(4): 174-183. (SHI G C, YANG W M, DU W J, et al. Screening of salt-tolerant soybean germplasm and analysis of physiological characteristics of salt-tolerant soybean [J]. Biotechnology Bulletin, 2022 (4): 174-183.)

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

[3] 邵桂花,闫淑荣,常汝镇,等. 大豆耐盐性遗传的研究[J]. 作物学报, 1994(6): 721-726. (SHAO G H, YAN S R, CHANG R Z, et al. Study on inheritance of salt tolerance in soybean[J]. Acta Agronomica Sinica, 1994(6): 721-726.)

[4] XU D H. Cloning, characterization, and utilization of a salt tolerance gene *Nel* in soybean[C]//The 243rd Japan Crop Society Lecture [2017-03-29]. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jcsproc/243/0/243_230/_article/-char/ja/.

[5] 库尼都孜阿依·吐尔汗,任毅,颜安,等. 新疆冬小麦品种萌芽期耐盐性综合评价及耐盐种质的筛选[J]. 新疆农业科学, 2020, 57(1): 20-31. (KUNIDUZAYI TURHAN, REN Y, YAN A, et al. Comprehensive evaluation of salt tolerance and screening of salt tolerant germplasm at germination stage of Xinjiang winter wheat varieties [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2020, 57 (1): 20-31.)

[6] 罗廷彬,任崑,谢春虹. 新疆盐碱地生物改良的必要性与可行性[J]. 干旱区研究, 2001, 18(1): 46-48. (LUO Y B, REN W, XIE C H. Necessity and feasibility of biological improvement in Xinjiang saline-alkali land[J]. Arid Zone Research, 2001, 18 (1): 46-48.)

[7] 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. (KONG L G. Identification of salt tolerance of soybean germplasm resources at seedling stage and screening of salt tolerance materials [J]. Soybean Science & Technology, 2019(5): 4-9.)

[8] 张春兰,曹帅,满丽莉,等. 不同基因型大豆耐盐性筛选与综合鉴定[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2019, 34(4): 342-349. (ZHANG C L, CAO S, MAN L L, et al. Screening and comprehensive identification of salt tolerance in different genotypes of soybean [J]. Journal of Inner Mongolia University for Nationalities (Natural Science Edition), 2019, 34 (4): 342-349.)

[9] 官文萍,李洪振,付希强,等. 部分 CIMMYT 小麦种质的耐盐性鉴定与评价[J]. 麦类作物学报,2018, 38(9):1065-1071. (GONG W P, LI H Z, FU X Q, et al. Identification and evaluation of salt tolerance of some CIMMYT wheat germplasm [J]. Journal of Wheat Crops, 2018, 38(9): 1065-1071.)

[10] 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. (PU Y Y, LI N N, GONG Y C, et al. Identification of salt tolerance in seed germination of shandong soybean cultivar[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34(16): 7-13.)

[11] 张翠平,王鹏年,张春兰,等. 18份大豆品种耐盐性筛选与综合鉴定[J]. 种子, 2020, 39(8): 21-27. (ZHANG C P, WANG P N, ZHANG C L, et al. Screening and comprehensive identification of salt tolerance of 18 soybean varieties [J]. Seed, 2020, 39(8): 21-27.)

[12] 李娜娜,蒲艳艳,宫永超,等. 大豆农家品种资源芽期耐盐性鉴定及耐盐品种筛选[J]. 中国农学通报,2018, 34(9):15-23. (LI N N, PU Y Y, GONG Y C, et al. Identification of salt tolerance of soybean cultivar resources at bud stage and selection of salt tolerance cultivar[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018,34(9):15-23.)

[13] 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. (CAO S, DU Z Y, XIANG D J, et al. Screening and comprehensive identification of salt and alkali tolerance of 18 soybean varieties [J]. Soybean Science, 2019, 38(3): 344-352.)

[14] 慈敦伟,杨吉顺,丁红,等. 盐胁迫对花生植株形态建成及物质积累的影响[J]. 花生学报,2018(1):11-18. (CI D W, YANG J S, DING H, et al. Effects of salt stress on plant morphogenesis and substance accumulation in peanut [J]. Acta Arachnologica Sinica, 2018(1):11-18.)

[15] 邱丽娟,常汝镇. 大豆种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社, 2006. (QIU L J, CHANG R Z. Description and data standard of soybean germplasm resources [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.)

[16] 姜静涵. 大豆苗期耐盐机理研究及耐盐基因定位[D]. 北京:中国农业科学院, 2013. (JIANG J H. Mechanism of salt tolerance and mapping of salt tolerance genes in soybean seedling stage [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013.)

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

[18] 张鹏,徐晨,徐克章,等. 大豆品种耐盐性的快速鉴定法及不同

时期耐盐性的研究[J]. 中国油料作物学报,2013, 35(5):572-578. (ZHANG P, XU C, XU K Z, et al. Rapid identification method for salt tolerance of soybean varieties and study on salt tolerance at different periods[J]. Chinese Journal of Oil Crops, 2013, 35(5): 572-578.)

[19] 周秀文,张晓蕊,孙贺祥,等. 大豆种质萌发期和苗期耐盐性评价[J]. 沈阳农业大学学报,2022, 53(3):257-264. (ZHOU X W, ZHANG X R, SUN H X, et al. Salt tolerance evaluation of soybean germplasm at germination and seedling stage[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2022, 53(3): 257-264.)

[20] 田艺心,曹鹏鹏,高凤菊. 基于主成分、隶属函数和聚类分析的大豆耐盐性综合评价[J]. 山东农业科学,2020, 52(4):16-22. (TIAN Y X, CAO P P, GAO F J. Comprehensive evaluation of salt tolerance of soybean based on principal component, membership function and cluster analysis [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2020, 52(4): 16-22.)

[21] 唐丽敏,钱双宏,李正润,等. 玉米品种区域试验产量及性状主成分分析[J]. 云南农业,2022(12):60-65. (TANG L M, QIAN S H, LI Z R, et al. Principal component analysis of yield and characters of maize varieties in regional trials [J]. Yunnan Agriculture, 2022(12): 60-65.)

[22] 郭琳钰,李振轮. 基于主成分分析的生菜萌发期耐盐性综合评价[J]. 分子植物育种, 2019, 31(5): 746-755. (GUO L Y, LI Z L. Comprehensive evaluation of salt tolerance of lettuce at germination stage based on principal component analysis [J]. Molecular Plant Breeding, 2019, 31(5): 746-755.)

[23] 王薇薇,吴永成,梅赓,等. 大蒜萌发期耐盐性综合评价[J]. 江苏农业科学,2021(21):143-146. (WANG W W, WU Y C, MEI Y, et al. Comprehensive evaluation of salt tolerance of garlic at germination stage [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021(21): 143-146.)

[24] 武兆云,郭娜,赵晋铭,等. 大豆苗期耐低磷主成分及隶属函数分析[J]. 大豆科学,2012, 31(1):42-46. (WU Z Y, GUO N, ZHAO J M, et al. Analysis of principal components and membership function of low phosphorus tolerance in soybean seedlings[J]. Soybean Science, 2012, 31(1): 42-46.)

[25] 王燕平,任海祥,孙晓环,等. 不同基因型大豆花荚期抗旱性综合评价[J]. 植物遗传资源学报,2015, 16(1):37-44. (WANG Y P, REN H X, SUN X H, et al. Comprehensive evaluation of drought resistance of different genotypes of soybean at flowering and pod stage[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(1): 37-44.)

[26] 段雅娟,曹士亮,于滔,等. 玉米自交系萌发期耐盐性鉴定[J]. 作物杂志,2022(1):213-219. (DUAN Y J, CAO S L, YU T, et al. Identification of salt tolerance of maize inbred lines at germination stage[J]. Crop Journal, 2022(1): 213-219.)

[27] 张则宇,李雪,王焱,等. 59 份苜蓿种质材料苗期耐盐性评价及耐盐指标筛选[J]. 草地学报, 2020, 28(1): 112-121. (ZHANG Z Y, LI X, WANG Y, et al. Salt tolerance evaluation and salt tolerance index screening of 59 alfalfa germplasm materials at seedling stage [J]. Journal of Grassland Science, 2020, 28(1): 112-121.)

[28] 王伟伟,王伟,邹景伟,等. 小麦耐盐性综合评价方法的研究进展[J]. 现代农业研究, 2022(7): 111-113. (WANG W W, WANG W, ZOU J W, et al. Research progress of comprehensive evaluation methods for salt tolerance of wheat [J]. Modern Agricultural Research, 2022(7): 111-113.)

[29] 孙现军,姜奇彦,胡正,等. 小麦种质资源苗期耐盐性鉴定评价[J]. 作物学报,2023,49(4):1132-1139. (SUN X J, JIANG Q Y, HU Z, et al. Identification and evaluation of salt tolerance of wheat germplasm resources at seedling stage[J]. Acta Agronomica Sinica, 2023,49(4): 1132-1139.)

[30] 林文磊,吕美琴,李明松,等. 39 份春大豆种质资源的主成分分析及其聚类分析[J]. 福建农业学报,2018, 33(10):1016-1022. (LIN W L, LYU M Q, LI M S, et al. Principal component analysis and cluster analysis of 39 spring soybean germplasm resources[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2018, 33(10): 1016-1022.)

[31] 李健平,谢路,韩德志,等. 早熟大豆种质资源萌发期耐旱性评价[J]. 黑龙江农业科学,2022(5):1-6. (LI J P, XIE L, HAN D Z, et al. Evaluation on drought tolerance of early maturing soybean germplasm resources at germination stage [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2022(5): 1-6.)

[32] 张海平,张俊峰,陈妍,等. 大豆种质资源萌发期耐旱性评价[J]. 植物遗传资源学报,2021, 22(1):130-138. (ZHANG H P, ZHANG J F, CHEN Y, et al. Evaluation on drought tolerance of soybean germplasm at germination stage [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22(1): 130-138.)

[33] 李兆南. 大豆抗旱、耐盐性鉴定及其与 SSR 标记的关联分析[D]. 长春: 吉林大学, 2011. (LI Z N. Identification of drought and salt tolerance of soybean and their association with SSR markers[D]. Changchun: Jilin University, 2011.)