

大豆芽期和苗期耐盐性评价指标筛选

牛 远,杨修艳,戴存凤,王博文,任高磊,吴静磊,王飞兵,陈新红

(淮阴工学院 生命科学与食品工程学院,江苏 淮安 223003)

摘 要:大豆耐盐性是决定盐碱地大豆产量的关键因素之一。为探究不同盐浓度对大豆芽期、苗期生长发育的影响,评价不同大豆品种对不同盐浓度的耐受能力,以合豆 3 号、徐豆 14、中黄 55 和临豆 10 号大豆品种为材料,在芽期,设置 50,75 和 100 mmol·L⁻¹的盐溶液处理,苗期设置 100,200 和 250 mmol·L⁻¹盐浓度处理。记录大豆芽期生长指标和苗期形态生理指标,并以各指标耐盐指数隶属函数值、总隶属函数值为依据,对 4 个大豆品种芽期和苗期耐盐性进行比较及聚类分析。结果表明:芽期主根长、下胚轴长、根干重、含水量、鲜重、根鲜重、活力指数耐盐指数的隶属函数值与总耐盐指数隶属函数值的相关性均达到极显著水平,苗期根干重、根鲜重、MDA 含量、株高的耐盐指数与总耐盐指数隶属函数值的相关性均达到显著水平。在不同时期和不同品种的盐耐受分析中,不同生育时期的大豆耐受性表现不同;芽期 4 个大豆品种耐盐程度大致相同。苗期徐豆 14、临豆 10 号耐盐性较强,中黄 55 耐盐性中等,合豆 3 号耐盐性较弱。在耐盐指标筛选分析中,下胚轴长、根干重、含水量、鲜生物量、根鲜重和主根长的耐盐指数可作为大豆芽期耐盐鉴定指标,而 MDA 含量和株高的耐盐指数则可以作为大豆苗期耐盐鉴定指标。

关键词:大豆;芽期;苗期;耐盐性;耐盐指数;隶属函数

中图分类号:S565. 1 **文献标识码:**A **DOI:**10. 11861/j. issn. 1000-9841. 2018. 02. 0215

Related Indices Selection of Soybean Salt Tolerance at Germination and Seedling Stages

NIU Yuan, YANG Xiu-yan, DAI Cun-feng, WANG Bo-wen, REN Gao-lei, WU Jing-lei, WANG Fei-bing, CHEN Xin-hong

(College of Life Science and Food Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huaian 223003, China)

Abstract: Soybean salt tolerance is one of the key factors in improving soybean yield in saline soils. In this study, four cultivars of soybean(Hedou 3, Xudou 14, Zhonghuang 55, Lindou 10) were treated with different concentrations of saline solution at the germination stage(50, 75 and 100 mmol·L⁻¹) and the seedling stage (100, 200 and 250 mmol·L⁻¹). We examined some morphological and physiological indicators at three concentration levels in two stages and transfered these measurement indicators to the subjection values of salt tolerance index and the sum subjection value. Then we studied the salt tolerance of the 4 cultivars by comparing the differences of salt toxicity coefficients of subjection values at the stage of germination and seedling respectively. Finally, the cluster analysis of salt toxicity coefficients of multi-indices was carried out. The results showed that the subjection values of salt tolerance index of root length, hypocotyl length, dry weight of root, water content, fresh biomass, fresh weight of root and vigor index were significantly correlated with SUM subjection values at germination stage. And the subjection values of salt tolerance index of MDA content, plant height, dry weight of root and fresh weight of root were significantly correlated with SUM subjection values at seedling stage. Clustering analysis showed different salt tolerance among different cultivars and growth stages. No similarity soybean varieties were clustered at germination stage using the eight subjection values of salt tolerance index among the four soybean varieties, which indicated similar level of salt tolerance. At seedling stage, the cluster analysis grouped the varieties into three clusters. The first group of salt-resistant soybean varieties were Xudou 14 and Lindou 10, the second was moderately salt-tolerant cultivar Zhonghuang 55 and the third group was salt-sensitive cultivar Hedou 3. In selection of salt tolerance index, hypocotyl length, dry weight of root, water content, fresh biomass, fresh weight of root and root length could be served as the indicators to assess the salt tolerance of the cultivars at germination stage, while plant height and MDA content could be used to evaluate the salt tolerance at seedling stage.

Keywords: Soybean; Germination stage; Seedling stage; Salt tolerance; Salt tolerance index; Subjection values

土壤盐渍化是影响农作物产量的重要非生物因子。全世界约有 3. 8 × 10⁸ hm²的土地有不同程度的盐渍化,占耕地面积的 10%。而且,由于不合理

的灌溉和对植被的乱砍乱伐等原因,盐碱地面积有逐年扩大的趋势,目前,全世界每年因盐碱造成的经济损失高达数百亿美元^[1]。在我国,盐碱地面积

已经高达 $3.3 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 。大豆不仅是植物营养蛋白和油料的主要来源,还富含多种活性成分,如大豆异黄酮、大豆低聚糖、皂苷、大豆膳食纤维等^[2-4],具有重要的营养和保健价值。然而,我国大豆的主产区东北地区和黄淮海产区均面临严重的土壤盐渍化问题,会降低大豆的产量、品质,甚至绝产^[5]。因此,大豆耐盐性的鉴定和耐盐指标的筛选能为大豆耐盐机理的研究和耐盐品种的培育提供耐盐的参数指标和抗盐的理论基础,且对盐渍土的开发和利用意义重大。

不同大豆栽培品种的耐盐性有差异。关于大豆耐盐种质的鉴定,国内外已有大量报道。邵桂花等^[6-8]对 3 230 份中国大豆和 257 份国外引进大豆进行耐盐性鉴定,检测到苗期耐盐品种 296 个(8.49%),筛选出文丰 7 号、铁丰 8 号、锦豆 33、丹豆 2 号、Mansoy 和 Morse 等耐盐品种,85-140、早熟 6 号、Hark、Union 等盐敏感品种。特别地,文丰 7 号和铁丰 8 号经多年、多种盐处理方式和多种指标测评被鉴定为耐盐品种。另外,大豆不同生育时期的耐盐性也存在差异。姜奇彦等^[9]对 793 份大豆种质资源进行耐盐性鉴定,分别检测出芽期、苗期及全生育期耐盐品种 117,41 和 35 份。其中 WDD1812、晋豆 23 和晋遗 38 在芽期和苗期均表现高耐盐性,尤其是晋豆 23,在 3 个时期都表现高耐盐性。大量研究表明,芽期、苗期和鼓粒期是对盐胁迫较为敏感的时期,开花期和结荚期耐盐性较强^[10]。大豆品种的早期鉴定方便快捷,能有效缩短鉴定周期,因此对大豆大规模的耐盐性鉴定通常采用芽期和苗期的室内鉴定法,综合这 2 个时期对大豆进行耐盐性鉴定能较好地体现大豆的真实耐盐水平。再者,大豆的耐盐性是多种因素综合作用的结果,单一或者少量指标仅能从一定程度上反映大豆的耐盐性。不同大豆品种的耐盐机制不尽相同,对不同指标的侧重度也不同;为全面准确地反映大豆耐盐性的强弱,必须选用与耐盐性相关的多项指标来进行综合鉴定。

本研究对 4 个江苏省普遍种植的大豆品种进行芽期和苗期耐盐性鉴定,利用隶属函数值法和聚类分析法对供试品种的耐盐性进行评价,并对耐盐指标进行筛选,旨在为大豆耐盐鉴定、耐盐机理研究和耐盐育种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种:合豆 3 号、徐豆 14、中黄 55、临豆 10 号。合豆 3 号是高产、高抗倒伏夏大豆品种,来源

于安徽省农科院作物研究所,由蒙 84-20、荷 84-5 和泗豆 11 杂交后经多代选育而成。徐豆 14 是江苏徐淮地区徐州农业科学研究培育的高产、高抗夏大豆品种,由徐豆 8 号和徐豆 9 号杂交选育而成。中黄 55 是中国农业科学院研究所培育的高产、高感胞囊线虫病夏大豆品种,由 T200 和早熟 18 杂交选育而成。临豆 10 号是山东临沂市农业科学院选育的高产夏大豆品种,由中作 975 和荷 95-1 杂交选育而成。

1.2 试验设计

1.2.1 大豆芽期盐处理 芽期大豆耐盐试验采取砂培法。将砂子在清水中洗净,130℃ 高温灭菌 2 h,定量称重,装于塑料盆中。挑选籽粒饱满、均匀一致的大豆种子播种于盛有细砂的容器中。将供试大豆置于 14 h 光照/10 h 黑暗、25℃ 培养箱内培养 7 d。同时每天观察沙子的干湿程度,保证大豆始终处在湿润的环境中。试验共设置 3 种浓度梯度的 NaCl 溶液,其浓度分别为 50,75 和 100 mmol·L⁻¹,以蒸馏水为对照。每个浓度下各品种培育 30 粒,各品种每个浓度设置 3 次重复。在芽期测定芽苗的发芽率、活力指数、鲜生物量、干生物量、根鲜重、根干重、含水量、主根长、下胚轴长。

1.2.2 大豆芽期盐处理

苗期大豆耐盐试验在玻璃温室内进行。将 4 个品种播种于口径 15 cm×高 15 cm、盛有营养土的花盆中,每盆播 12 粒,再覆盖 2 cm 基质。试验设置 3 个重复,即每品种每种盐浓度处理 3 盆。培养至子叶完全展开后间苗,每盆定植为 6 株。待真叶完全展开后分别用 100,200 和 250 mmol·L⁻¹ NaCl 溶液进行处理。每隔 2 d 于晚上处理一次,水处理作对照。处理 14 d 测定苗期根鲜重、根干重、株高和丙二醛(MDA)含量。

1.2.3 不同品种表型性状耐盐性比较 首先对各性状耐盐指数进行表型分析,在此基础上,以各指标耐盐指数隶属函数值、总隶属函数值为依据,分别对 4 个大豆品种芽期和苗期耐盐性进行比较及聚类分析,对此 4 个品种大豆进行耐盐性评价。并结合相关性分析结果,对耐盐指标进行筛选。

1.2.4 不同品种不同发育阶段的耐盐性隶属函数值聚类分析 为分析耐盐指数的隶属函数值对品系归类判别的效果,以各性状耐盐指数的隶属函数值为指标,对 4 个大豆品种所有样本进行聚类分析。每个品种 3 个处理浓度,3 次重复,每个品种共 9 组数据参与聚类。4 个品种,共 36 组数据参与聚类。苗期聚类分析为 4 个品种,每个品种 15 组数据,共 60 组数据。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 芽期表型性状测定 鲜重:将试验材料表面水分吸干,用 AR1530 电子天平称量其重量(g)。干重:将称量过鲜重的材料用信封包装,于 120℃ 中杀青 15 min,再经 80℃ 烘干至恒重,然后用 AR1530 电子天平称量其重量(g)。用直尺测量大豆种子主根的长度和下胚轴的长度(cm)。

其它性状计算公式:

种子发芽率(%) = 7 d 发芽的种子数/供试种子数 × 100;

活力指数 = 第 7 天幼苗总鲜重/种子发芽数;

含水量(%) = (幼苗鲜重 - 幼苗干重)/幼苗鲜重 × 100。

1.3.2 苗期表型性状的测定 在苗期用电子天平称量根鲜重和根干重。用直尺测定株高。丙二醛含量(MDA)测定参照李合生^[11]的方法。

1.4 数据分析

耐盐指数计算公式为:耐盐指数(%) = (对照值 - 处理值)/对照值 × 100。

耐盐指数的隶属函数值 $X_{(ij)}$:用模糊数学隶属函数值的方法计算,公式为:

$$X_{(ij)} = \frac{X_{ij} - X_{jmin}}{X_{jmax} - X_{jmin}}$$

式中: $X_{(ij)}$ 表示第*i*个大豆品种第*j*指标的隶属值; X_{ij} 表示第*i*个品种大豆第*j*指标的耐盐指数;

X_{jmax} 、 X_{jmin} 为指标的最大值和最小值。本研究中,各品种指标耐盐指数的隶属函数值越大,耐盐性越小。

不同品种、不同浓度耐盐性的比较采用 SPSS 进行方差分析,Duncan 法进行多重比较($\alpha = 0.05$),判断各处理之间差异的显著性。不同测定指标之间的相关性和聚类分析采用 R 语言自行编写小脚本完成,并采取模糊数学隶属函数值法对 4 个大豆品种的耐盐性进行评价及确定耐盐指标。

2 结果与分析

2.1 大豆各表型性状耐盐指数分析

2.1.1 大豆芽期耐盐指数分析 芽期生长指标可以从不同角度体现大豆芽期耐盐性强弱;对芽期各指标耐盐指数进行分析,除 50 mmol·L⁻¹盐处理下芽期根干重耐盐指数外,盐分胁迫导致干生物量、鲜生物量、根干重、根鲜重、下胚轴长、含水量、萌发率和活力指数的耐盐指数升高,且基本上随着浓度增大,各性状耐盐指数值增加。在 50 mmol·L⁻¹ NaCl 处理下上述各指标耐盐指数为 -12.25% ~ 33.13%,在 75 mmol·L⁻¹ NaCl 处理下上述各指标耐盐指数为 9.79% ~ 58.08%,100 mmol·L⁻¹ NaCl 处理下上述各指标耐盐指数为 11.11% ~ 59.73%(表 1),在低盐浓度时(50 mmol·L⁻¹),可能在一定程度上促进了某些品种根干重和活力指数的增加。

表 1 大豆芽期各性状耐盐指数表型统计汇总
Table 1 Phenotypic summarization in salt toxicity coefficients of indices at soybean germination stage

性状 Trait	处理水平 Treatment level														
	50 mmol·L ⁻¹					75 mmol·L ⁻¹					100 mmol·L ⁻¹				
	Mean	SD	Min.	Max.	DV/%	Mean	SD	Min.	Max.	DV/%	Mean	SD	Min.	Max.	DV/%
干生物量 Dry biomass	11.73	5.68	4.20	23.09	48.42	17.33	6.87	3.58	23.92	39.64	24.57	12.38	-0.18	37.85	50.39
鲜生物量 Fresh biomass	26.70	8.44	9.82	35.83	31.61	39.05	9.06	27.83	52.79	23.20	46.50	5.91	40.30	55.68	12.71
根干重 Dry weight of root	-12.25	16.76	-43.88	16.39	136.82	21.58	11.01	0.22	33.08	51.02	20.18	15.38	-1.32	37.89	76.21
根鲜重 Fresh weight of root	33.13	9.73	13.67	44.95	29.37	49.33	9.85	33.00	60.66	19.97	59.73	6.78	47.13	70.64	11.35
根长 Root length	23.35	9.46	9.60	33.38	40.51	27.60	14.15	5.11	44.34	51.27	36.76	13.81	19.39	55.13	37.57
下胚轴长 Hypocotyl length	30.35	14.16	9.58	52.45	46.66	58.08	7.35	49.29	66.62	12.65	57.13	6.00	48.91	64.86	10.50
含水量 Water content	5.82	3.10	-0.38	8.88	53.26	9.79	3.88	5.45	17.55	39.63	11.11	7.08	4.33	25.27	63.73
发芽率 Germination rate	11.76	11.97	0.00	35.69	101.79	11.59	8.76	0.00	22.67	75.58	14.42	8.75	5.67	23.67	60.68
活力指数 Vigor index	11.02	18.84	-26.67	32.86	170.96	38.68	10.60	19.27	52.84	27.40	39.04	8.87	29.01	51.35	22.72

由于不同耐盐指数性状在不同浓度的变异程度不同,如鲜生物量、根干重、根鲜重、下胚轴长、发芽率和活力指数的耐盐指数性状在 50 mmol·L⁻¹ 盐浓度下变异系数最大,分别为 31.61%、136.82%、29.38%、46.67%、101.80%和 171.06%。主根长性状则在 75 mmol·L⁻¹盐浓度下变异系数最大,为 51.27%。干生物量和芽期含水量在 100 mmol·L⁻¹ 盐浓度下变异系数最大,分别为 50.37% 和 63.74%。因此,在对大豆耐盐指标筛选时,应综合分析 50、75 和 100 mmol·L⁻¹盐浓度耐盐性。将各指标耐盐指数在 3 个盐浓度下的平均值进行排序,由大到小依次为下胚轴长(48.52)、根鲜重(47.40)、鲜生物量(37.42)、活力指数(29.58)、主根长(29.24)、干生物量(17.87)、萌发率(12.59)、根干重(9.84)和含水量(8.91)。结果表明:下胚轴长、根鲜重和鲜生物量较易受盐胁迫抑制。

表 2 大豆苗期各性状耐盐指数表型统计汇总
Table 2 Phenotypic summarization in salt tolerance index at soybean seedling stage

性状 Trait	处理水平 Treatment level														
	100 mmol·L ⁻¹					200 mmol·L ⁻¹					250 mmol·L ⁻¹				
	Mean	SD	Min.	Max.	DV/%	Mean	SD	Min.	Max.	DV/%	Mean	SD	Min.	Max.	DV/%
株高 Plant height	12.13	2.63	8.24	16.59	21.68	16.50	7.60	7.97	29.06	46.06	18.80	2.24	16.35	23.29	11.91
MDA 含量 MDA content	-26.53	19.38	-65.28	-12.36	73.05	-24.25	10.79	-45.83	-9.02	44.49	-78.69	36.00	-150.69	-42.32	45.75
根干重 Root dry weight	26.08	7.20	15.50	40.48	27.61	30.67	5.54	23.33	41.00	18.06	41.27	2.96	37.62	47.14	7.17
根鲜重 Root fresh weight	14.83	12.64	2.13	40.11	85.23	24.20	14.34	6.38	43.74	59.26	33.25	15.23	16.67	63.70	45.80

2.2 大豆各表型性状耐盐指数相关性分析

然而上述单个指标的耐盐指数结果具有相对片面性,仅用单个指标难以准确界定大豆耐盐能力。为了克服这种弊端,引入各个指标耐盐指数的隶属函数值和总隶属函数值来对大豆的耐盐性进行综合评价。

2.2.1 大豆芽期各表型性状耐盐指数相关性分析

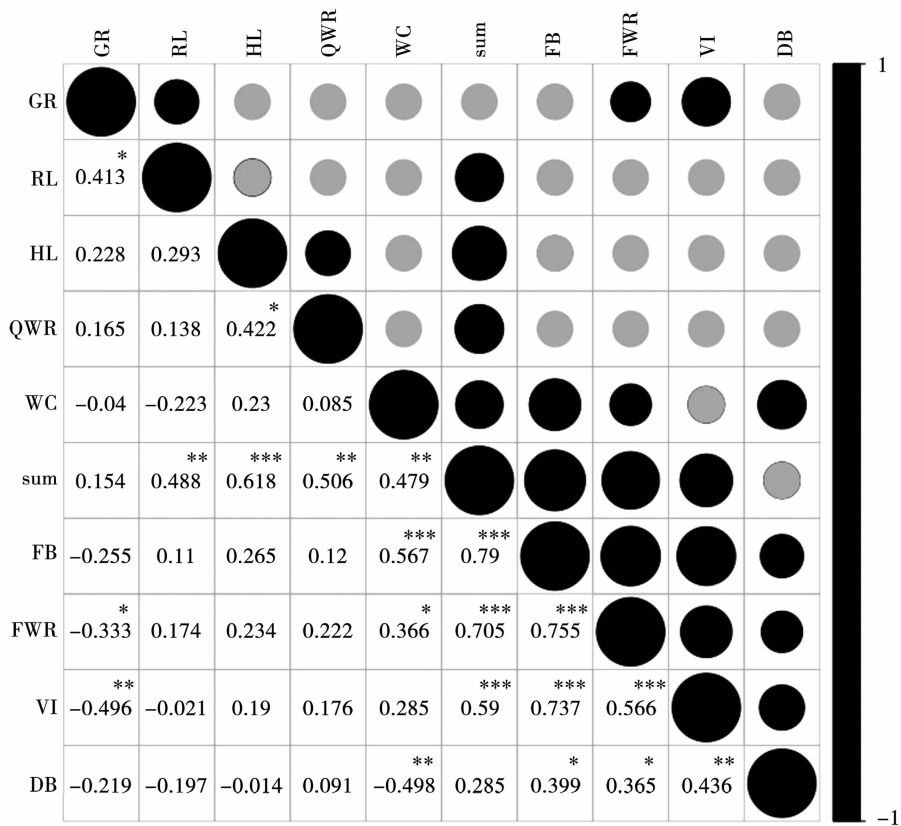
由图 1 可知,芽期总耐盐指数的隶属函数值除了与发芽率、干生物量的耐盐指数的隶属函数值相关性不显著外,与根长、下胚轴长、根干重、含水量、鲜生物量、根鲜重、活力指数的耐盐指数的隶属函数值相关性均达到极显著水平,其中相关系数最高的为鲜生物量(0.790),最低的为含水量(0.479)。鲜生物量与根鲜重、含水量、活力指数的耐盐指数的隶属函数值极显著相关,与干生物量的耐盐指数的

2.1.2 大豆苗期耐盐指数分析 对苗期各指标耐盐指数进行分析,盐分胁迫导致苗期株高、根干重、根鲜重和 MDA 含量的耐盐指数升高。随着浓度增大,各性状耐盐指数值基本呈增加趋势(表 2)。在 100、200 和 250 mmol·L⁻¹ NaCl 处理下上述各盐害指标耐盐指数分别为 12.13%~26.53%、16.50%~30.67%和 18.80%~78.69%。不同性状在 3 个浓度上的变异范围不同,如 MDA 含量、根干重和根鲜重耐盐指数在 100 mmol·L⁻¹变异系数最大,为 73.04%、27.61%和 85.23%。株高在 200 mmol·L⁻¹变异系数最大,为 46.05%。各指标耐盐指数平均值由大到小依次为 MDA 含量(43.15%)、根干重(32.68%)、根鲜重(24.09%)和株高(15.81%)。结果表明,MDA 含量最易受盐胁迫影响,根干重较易受盐胁迫抑制。

隶属函数值显著相关,与其它指标相关不显著。下胚轴长与根干重的耐盐指数的隶属函数值相关性达到显著水平。发芽率除与活力指数、根鲜重的耐盐指数的隶属函数值显著负相关外,其它指标间相关性均不显著。

2.2.2 大豆芽期各表型性状耐盐指数相关性分析

由图 2 可知,苗期总耐盐指数的隶属函数值与根干重、根鲜重、MDA 含量、株高的耐盐指数的隶属函数值相关性均达到极显著水平,相关系数较高的为 MDA 含量(0.785)和株高(0.696),较低的为根鲜重(0.373)。MDA 含量与株高的耐盐指数的隶属函数值相关性达到极显著水平,与其它指标相关性较差。根鲜重与其它指标的耐盐指数的隶属函数值相关性均不显著。

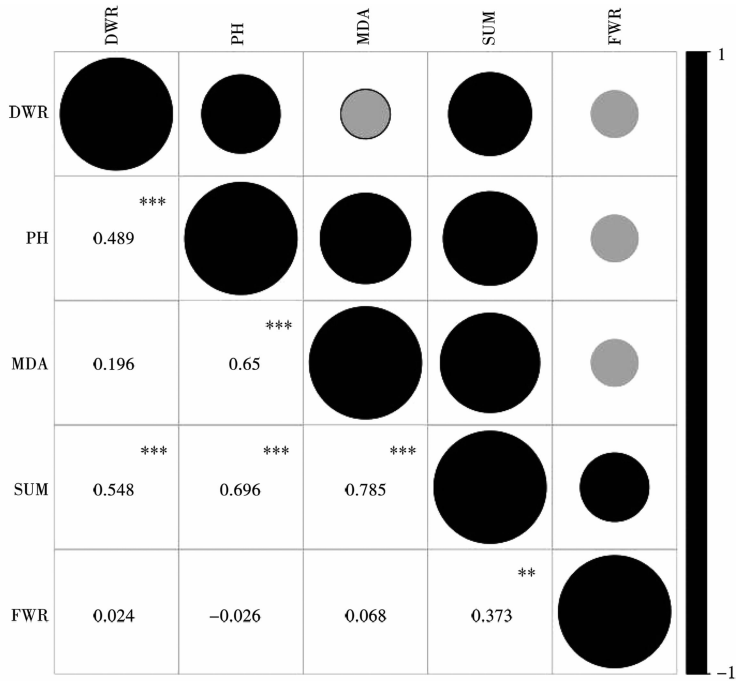


GR:发芽率; VI: 活力指数; WC:含水量; HL: 下胚轴长; RL: 根长; FB:鲜生物量;DB: 干生物量;FWR: 根鲜重; DWR: 根干重。SUM: 总隶属函数值。下同。

GR:Germination rate; VI:Vigor index; WC: Water content; HL: Hypocotyl length; RL:Root length; FB: Fresh Biomass; DB: Dry Biomass; FWR: Fresh weight of root; DWR: Dry weight of root. SUM: Total subjection value. The same as below.

图1 NaCl胁迫下大豆芽期各指标耐盐指数隶属函数值的相关性

Fig.1 Correlation between different subjection values of salt tolerance index at soybean germination stage



MDA:MDA 含量。下同。

MDA: MDA content. The same as below.

图2 NaCl胁迫下大豆苗期各指标耐盐指数隶属函数值的相关性

Fig. 2 Correlation between different subjection values of salt tolerance index at soybean seedling stage

2.3 大豆品种各表型性状耐盐性比较

2.3.1 大豆品种芽期各表型性状耐盐性比较 在芽期,对4个大豆品种间总隶属函数值进行方差分析,结果表明4个供试品种无显著差异(表3)。在4个品种各耐盐指标的比较中,除根干重、下胚轴长、含水量的耐盐指数隶属函数值差异不显著外,其它指标的耐盐指数均有显著差异。对于干生物量和活

力指数的耐盐指数隶属函数值进行分析,合豆3号的耐盐性显著强于其它品种。而对主根长和发芽率的耐盐指数隶属函数值分析发现,合豆3号和徐豆14的耐盐性均弱于临豆10号和中黄55。对鲜生物量和根鲜重的耐盐指数隶属函数进行分析,合豆3号和临豆10号有显著差异,其它品种间差异不显著。

表3 NaCl胁迫对大豆芽期各指标耐盐指数的影响

Table 3 Effects of NaCl on the subjection values of salt tolerance index at soybean germination stage

Cultivar 品种	隶属函数值 SV									
	DB	FB	DWR	FWR	RL	HL	WC	GR	VI	SUM
合豆3号 Hedou 3	0.152 b	0.515 b	0.765 a	0.486 b	0.787 a	0.828 a	0.493 a	0.600 a	0.540 b	5.165 a
临豆10号 Lindou 10	0.433 a	0.777 a	0.830 a	0.768 a	0.448 b	0.780 a	0.525 a	0.149 b	0.824 a	5.533 a
徐豆14 Xudou 14	0.432 a	0.676 ab	0.754 a	0.662 ab	0.727 a	0.717 a	0.357 a	0.470 a	0.771 a	5.565 a
中黄55 Zhonghuang 55	0.514 a	0.632 ab	0.725 a	0.585 ab	0.378 b	0.669 a	0.322 a	0.185 b	0.807 a	4.817 a

不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。
Different lowercase indicate significant difference ($P<0.05$). The same as below.

2.3.2 大豆品种苗期各表型性状耐盐性比较 在苗期,对总隶属函数值进行方差分析(表4),发现合豆3号与其它品种显著性差异均显著,其它品种间没有显著差异。其中合豆3号隶属函数值最大,表现为不耐盐品种。对株高的耐盐指数隶属函数值进行方差分析,合豆3号与其它品种均存在显著性差异,中黄55与临豆10号、徐豆14差异性显著。临豆10号和徐豆14差异不显著。表明徐豆14和临豆10号最耐盐,中黄55耐盐性中等,合豆3号耐

盐性最弱。从表4可知,对株高、MDA含量分析,均得到与总隶属函数显著性分析较为一致的结果。对根干重进行分析,合豆3号与中黄55、徐豆14不存在显著差异,临豆10号与中黄55存在显著差异;与总隶属函数分析结果有一定差异。而对根鲜重进行分析,合豆3号、临豆10号、徐豆14间不存在显著性差异,与中黄55有显著差异,与总隶属函数分析结果差异较大。

表4 NaCl胁迫对大豆苗期各指标耐盐指数的影响

Table 4 Effects of NaCl on the subjection values of salt tolerance index at soybean seedling stage

Clutivar 品种	隶属函数值 SV				
	pH	DWR	FWR	MDA	SUM
合豆3号 Hedou 3	0.635 a	0.754 a	0.925 a	0.939 a	3.223 a
临豆10号 Lindou 10	0.136 c	0.447 b	0.816 a	0.323 b	1.723 b
徐豆14 Xudou 14	0.165 c	0.515 ab	0.841 a	0.200 c	1.721 b
中黄55 Zhonghuang 55	0.395 b	0.693 a	0.344 b	0.365 b	1.797 b

2.4 不同大豆品种芽期和苗期耐盐性的聚类分析

以芽期的根干重、下胚轴长、活力指数、鲜重、根鲜重、主根长、含水量、干重、发芽率的耐盐指数的隶属函数值为指标对不同品种大豆耐盐性进行聚类分析,各品种内和品种间均聚类不明显(图3),表明4个大豆品种在芽期的耐盐性没有明显差异。同样,以根干重、根鲜重、MDA含量、株高的耐盐指数的隶属函数值为指标对苗期不同品种大豆耐盐性进行聚类分析(图4),可将供试大豆材料分为3

个类群:第1类群为耐盐性强的大豆品种徐豆14、临豆10号;第2类群为中等耐盐的大豆品种中黄55;第3类群为不耐盐的品种合豆3号。另外,由耐盐性的总隶属函数指标可知,徐豆14和临豆10号的总隶属函数值分别为1.721和1.723,耐盐性较强;中黄55的耐盐指数总隶属函数值为1.797,耐盐性中等;而合豆3号的耐盐指数总隶属函数值为3.223,耐盐性最弱。所得的各性状耐盐指数隶属函数值聚类结果与总隶属函数指标判定的结果一致。

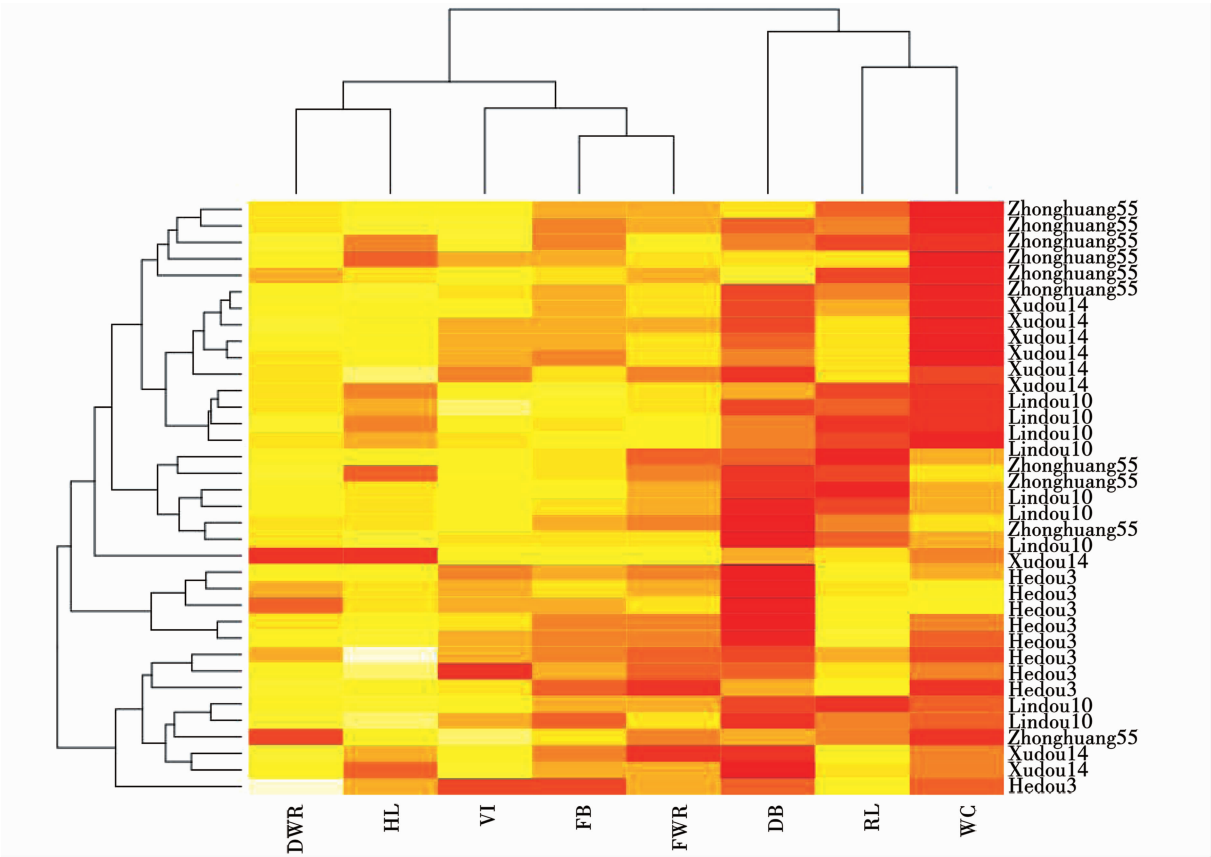


图 3 NaCl 胁迫下大豆芽期聚类分析图

Fig. 3 Cluster analysis of salt tolerance of soybean at germination stage

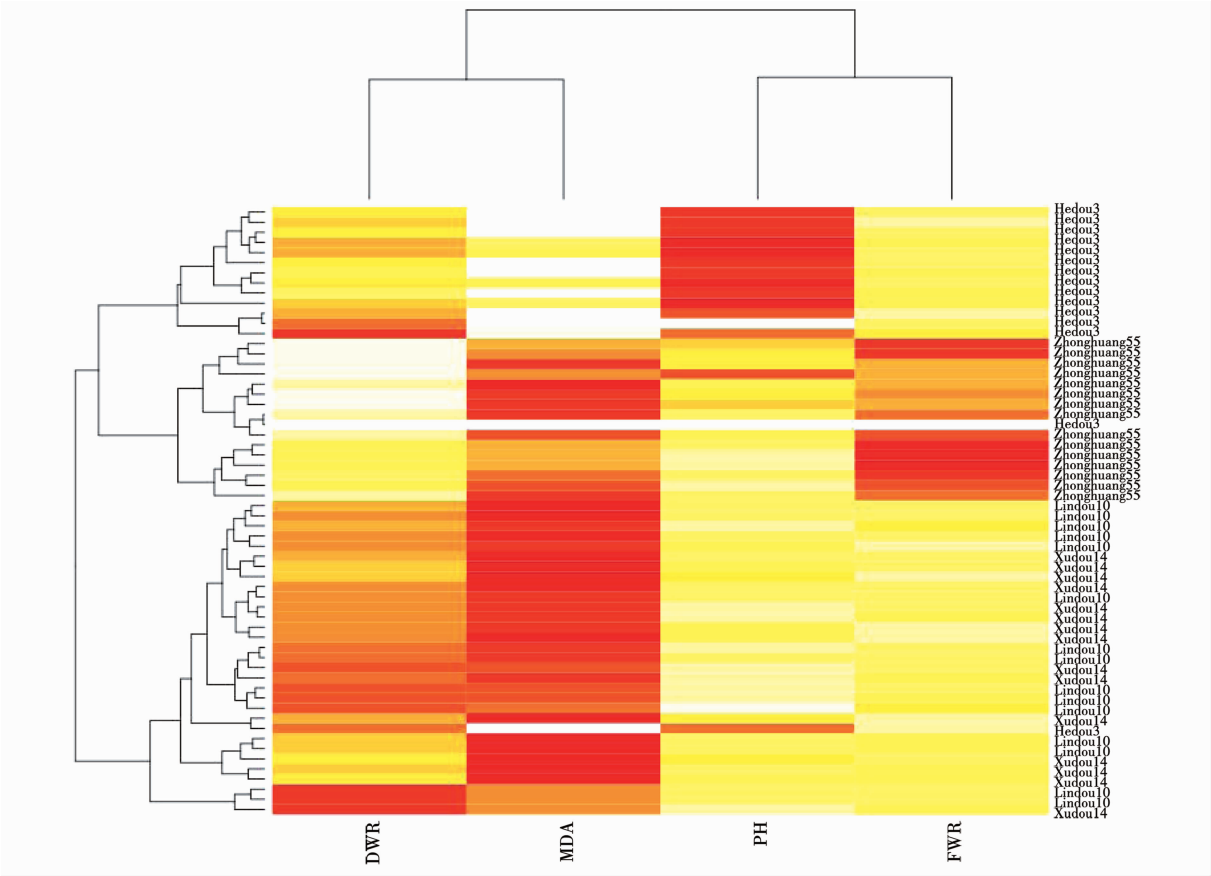


图 4 NaCl 胁迫下大豆苗期聚类分析图

Fig. 4 Cluster analysis of salt tolerance of soybean at seedling stage

3 讨论

3.1 大豆芽期耐盐指标性的评价

通过对大豆芽期不同耐盐指标进行分析,得出盐处理抑制了大豆的发芽率、含水量和活力指数。其中含水量、活力指数的耐盐指数隶属函数值与总隶属函数值变化趋势较一致,达到极显著相关水平。在种子萌发初期,需要充足的水分。而高盐分造成了渗透势的变化,诱导种子休眠,各组织器官代谢活动降低。继而导致发芽时间延长,发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数等发芽指标降低。盐胁迫对其它生长指标亦产生了抑制作用。其中,下胚轴长、主根长、根干重、根鲜重、鲜生物量的耐盐指数的隶属函数值与总隶属函数值相关性均达到极显著水平。下胚轴长、根鲜重和鲜生物量较易受盐胁迫抑制。其受抑制程度大小依次排列为:下胚轴长>根鲜重>鲜生物量>主根长>干生物量>根干重。这与董志刚等^[12]及 Chachar 等^[13]的研究结果一致。下胚轴长、根干重和含水量的显著性分析结果与总隶属函数值的显著性结果完全一致(4个品种间耐盐性两两比较,共6组,6组比较结果均一致),且与各盐害指标的隶属函数值聚类结果相同。鲜生物量、根鲜重和主根长的耐盐指数隶属函数显著性分析结果与总隶属函数显著性分析结果和各指标隶属函数值聚类结果基本一致(5组比较结果一致)。虽然活力指数的耐盐指数隶属函数值与总隶属函数值极显著相关,但是其显著性分析结果与总隶属函数值分析和聚类结果差异较大(3组比较结果一致),因此该性状不建议作为耐盐指标。同时,干生物量、发芽率的耐盐指数隶属函数显著性分析结果与总隶属函数和各指标隶属函数值聚类结果相差较大(2组比较结果一致),不能作为芽期耐盐性鉴定指标。综上,可将下胚轴长、根干重、含水量、鲜生物量、根鲜重和主根长的耐盐指数作为大豆芽期耐盐鉴定的指标。

3.2 大豆苗期耐盐指标性的评价

通过对大豆苗期各指标耐盐指数隶属函数值进行聚类分析和显著性分析,得出耐盐性强的品种徐豆14和临豆10号,中等强度耐盐品种中黄55,及弱耐盐性的品种合豆3号。在大豆苗期进行盐胁迫,盐分通过渗透胁迫、离子毒害和同化物累积反馈抑制降低了光合作用的效率^[14-15],进而植株的地上部分和地下部分生长均受到抑制。在本研究中,地上部分的抑制作用表现为株高的降低,地下部分表现在根干重和根鲜重的积累减少。且盐胁迫对根干重和根鲜重的抑制作用大于株高。株

高的显著性分析结果与各耐盐指标隶属函数值聚类结果完全相同,与总隶属函数值显著性分析结果基本一致(4组比较结果一致)。MDA含量耐盐指数隶属函数显著性分析结果与各指标隶属函数值聚类结果、总隶属函数显著性结果基本一致(4组比较结果一致)。另外,尽管根干重耐盐指数隶属函数值与总隶属函数值极显著相关,但是其显著性分析结果与各耐盐指数隶属函数值聚类结果、总隶属函数值显著性分析结果有一定差异,不建议作为耐盐指标。同时,根鲜重耐盐指数隶属函数显著性分析结果与各指标隶属函数值聚类结果、总隶属函数显著性分析结果相差较大,也不作为苗期耐盐性鉴定指标。综上,可将株高和MDA耐盐指数作为大豆苗期耐盐鉴定指标。

3.3 不同大豆品种芽期、苗期耐盐性的差异分析

本研究发现,不同大豆品种在芽期和苗期的耐盐性存在差异。在苗期表现耐盐性强的品种徐豆14和临豆10号在芽期并没有表现出耐盐优势。而苗期耐盐性弱的品种合豆3号在芽期也没有表现出盐敏感。表明大豆芽期和苗期耐盐性不相关,在相关研究中也得到了类似的结论^[6,16]。同一品种在不同的生育时期耐盐性不同,可能与不同的耐盐机理有关。芽期耐盐性主要体现的是生物组织抵抗渗透胁迫、种子吸水膨胀的能力^[17]。具备较强的芽期耐盐能力是保证种子在盐渍土壤中发芽和出苗的前提。苗期耐盐性主要体现在同化产物的累积能力。此时,生物机体不仅要抵抗渗透胁迫,还要抵抗离子毒害^[18-20]。大豆苗期耐盐性对大豆的生长发育有明显的影 响,耐盐性高可保证田间幼苗齐整、健壮。因此,在大豆耐盐种质的筛选上,仅以一个时期作为依据可能存在片面性。由于盐渍土对大豆各生育时期都存在盐胁迫作用,对各主要阶段进行耐盐性鉴定是必要的,只有这样才能体现大豆的真实耐盐状况。另外,大豆耐盐性强弱对产量和品质的影响有待进一步研究^[21]。

4 结论

大豆芽期和苗期耐盐性表现不同。芽期4个大豆品种耐盐程度大致相同。苗期徐豆14、临豆10号耐盐性较强,中黄55耐盐性中等,合豆3号耐盐性较弱。下胚轴长、根干重、含水量、鲜生物量、根鲜重和主根长耐盐指数可作为大豆芽期耐盐鉴定指标,而MDA含量和株高的耐盐指数则可作为大豆苗期耐盐鉴定指标。

参考文献

[1] 赵福庚,何龙飞,罗庆云.植物逆境生理生态学[M].北京:

化学工业出版社, 2004: 55-60. (Zhao F G, He L F, Luo Q Y. Plant stress physiological ecology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 55-60.)

[2] 权静, 卢定强, 张筱, 等. 大豆功能性成分的研究现状[J]. 大豆通报, 2004(3): 27-29. (Quan J, Lu D Q, Zhang X, et al. The present condition of research on soybean functional component[J]. Soybean Bulletin, 2004(3): 27-29.)

[3] 闫祥华, 顾景范, 孙存普, 等. 大豆异黄酮抗脂质过氧化作用及其机制初探[J]. 解放军预防医学杂志, 2000(18): 14-17. (Yan X H, Gu J F, Sun C P, et al. Anti-lipid peroxidative actions of soybean isoflavones and their mechanism [J]. Journal of Preventive Medicine of Chinese Peoples Liberation Army, 2000(18): 14-17.)

[4] 华聘聘, 刘忠萍. 可溶性大豆纤维部分生理功能的研究 [J]. 中国油脂, 2004, 29(5): 34-36. (Hua P P, Liu Z P. Study on physiological function of soluble soybean dietary fiber [J]. China Oils And Fats, 2004, 29(5): 34-36.)

[5] 林汉明, 常汝镇, 邵桂花, 等. 中国大豆耐逆研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009, 66-70. (Lin H M, Chang R Z, Shao G H, et al. Research on tolerance to stresses in Chinese soybean[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2009: 66-70.)

[6] 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(6): 30-35. (Shao G H, Song J Z, Liu H L. Preliminary studies on the evaluation of salt tolerance in soybean varieties [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1986, 19(6): 30-35.)

[7] 邵桂花. 耐盐大豆品种的分布与盐渍土的关系 [J]. 作物杂志, 1988(2): 34-36. (Shao G H. Relationship between the distribution of salt-tolerance soybean and salinity [J]. Crops, 1988(2): 34-36.)

[8] 邵桂花, 常汝镇, 陈一舞, 等. 大豆耐盐性遗传研究 [J]. 作物学报, 1994, 20(6): 721-726. (Shao G H, Chang R Z, Chen Y W, et al. Study on inheritance of salt tolerance in soybean [J]. ACTA Agronomica Sinica, 1994, 20(6): 721-726.)

[9] 姜奇彦, 胡正, 张辉, 等. 大豆种质资源耐盐性鉴定与研究 [J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(5): 726-732. (Jiang Q Y, Hu Z, Zhang H, et al. Evaluation for salt tolerance in soybean cultivars [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2012, 13(5): 726-732.)

[10] 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. Fast identification method of salt-tolerance and research on salt-tolerance at different stages of soybean cultivars [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2013, 35(5): 572-578.)

[11] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. (Li H S. Principles and techniques of plant physiological and biochemical experiment [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.)

[12] 董志刚, 程智慧. 番茄品种资源芽苗期和幼苗期的耐盐性及耐盐指标评价 [J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1348-1355. (Dong Z G, Cheng Z H. Salt tolerance and assessment of salt tolerance indices of tomato varieties in sprout stage and seedling stage [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1348-1355.)

[13] Chachar Q, Solangi A, Verhoef A. Influence of sodium chloride on seed germination and seedling root growth of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Pakistan Journal of Botany, 2008, 40(1): 183-197.

[14] Ahmad S, Khan N, Iqbal M Z. Salt tolerance of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Asian Journal of Plant Sciences, 2002, 1: 715-719.

[15] Ashraf M. Salt tolerance of cotton: Some new advances [J]. Critical Review in Plant Science, 2002, 21: 1-30.

[16] Able G H, Makanzie A J. Salt tolerance of soybean varieties (*Glycine max* L. Merr.) during germination and late growth [J]. Crop Science, 1964(4): 157-161.

[17] Dkhil B B, Denden M. Salt stress induced changes in germination, sugars, starch and enzyme of carbohydrate metabolism in *Abelmoschus esculentus* L. (Moench) seeds [J]. African Journal of Agricultural Research, 2010, 5: 1412-1418.

[18] Tunturk M, Tunturk R, Yasar F. Changes in micronutrients, dry weight and plant growth of soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivars under salt stress [J]. African Journal Biotechnology, 2008, 7(11): 1650-1654.

[19] 柏新富, 朱建军, 卜庆梅, 等. 盐胁迫对大豆根系木质部压力和 Na⁺ 吸收的影响 [J]. 生态学报, 2009, 29(12): 6506-6511. (Bai X F, Zhu J J, Bu Q M, et al. Xylem pressure and Na⁺ uptake in roots of soybean under saline stresses [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(12): 6506-6511.)

[20] Bandoeglu E, Eyidogan F, Yücel M, et al. Anti oxidant responses of shoots and roots of lentil to NaCl-salinity [J]. Plant Growth Regulation, 2004, 42(1): 69-77.

[21] Essa T A. Effect of salinity stress on growth and nutrient composition of three soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivars [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2002, 188: 86-93.