

16 份玉米自交系的耐盐性评价

赵小强, 彭云玲, 李健英, 任续伟

(甘肃省干旱生境作物学重点实验室 甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 选用 16 份玉米自交系, 采用 NaCl 胁迫处理, 测定萌发期和幼苗期的相关生长与生理指标, 对盐害指数进行聚类分析和耐盐性综合评价。结果表明, 盐胁迫下, 不同玉米自交系萌发期的发芽势、发芽率、胚根长、胚芽长、胚芽鲜重、胚根鲜重均呈下降趋势, 幼苗期的 MDA 含量和相对电导率上升, 相对含水量下降。87-1、8723 和 78599-1 属于高耐盐性自交系; LX9801、TS141、A413、137、81162 等属于中等耐盐自交系; 郎黄、昌 7-2、478 和成 687 属于耐盐性自交系; 9046 和 65232 属于敏感性自交系; 543 和 136 属于高敏感自交系。

关键词: 玉米自交系; 萌发期; 幼苗期; 耐盐性; 综合评价

中图分类号: S332.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)05-0040-06

Comprehensive evaluation of salt tolerance in 16 Maize Inbred Lines

ZHAO Xiao-qiang, PENG Yun-ling, LI Jian-ying, REN Xu-wei

(Gansu Provincial Key Laboratory of Aridland Crop Science; Gansu Key Lab of Crop Improvement and Germplasm Enhancement; College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: In this study, 16 maize inbred lines were employed to determine growth parameters at germination and seedling stage under stress. The results indicated that germination potential, germination rate, root length, shoot length, root fresh weight, shoot fresh weight decreased at germination stage, and the relative conductivity, malondialdehyde (MDA) increased, but relative water content decreased at seedling stage in different maize inbred lines under 180 mmol · L⁻¹ NaCl stress. Finally, we screened high salt-tolerant inbred line 87-1, 8723 and 78599-1, medium salt-tolerant lines LX9801, TS141, A413, 137 and 81162, salt-tolerant inbred lines Langhuang, Chang7-2, 478 and Cheng687, salt-sensitive inbred line 9046 and 65232, and high salt-sensitive inbred line 543 and 136.

Keywords: maize inbred line; germination stage; seedlings stage; salt tolerance; comprehensive evaluation

世界盐渍土的面积目前超过 8.0×10^9 hm², 占全部土地面积的 6%^[1]。我国盐碱地主要分布在西北、华北及东北等粮食主产区^[2]。盐渍土壤往往延迟出苗, 降低发芽率, 使作物产量、品质和效益受到严重影响。利用盐渍土壤有多种途径, 其中以培育耐盐作物品种最为经济有效。

玉米作为主要的粮饲兼用作物, 对盐分极为敏感, 培育较高耐盐能力的玉米品种, 可以使其在盐碱地上生长并形成较高的产量^[3]。玉米耐盐性鉴定是种质资源鉴定评价、耐盐品种选育以及耐盐机理研究的基础性研究。目前在玉米耐盐品种鉴定与筛选方面已有大量报道。孟义江等^[4]对 36 份玉米杂交种进行了耐盐性研究, 筛选出耐盐性强的玉米品种 3 份。徐立华等^[5]以自交系齐 319, 鲁原 341,

Lx9801, 8112 的幼胚为外植体, 通过组培筛选, 获得了耐盐突变体。付艳等^[6]以苗情、株高及干重变化率为分级指标, 从 96 份材料中筛选出耐盐自交系 8 份。汤华和柳晓磊^[7]报道出苗时间、苗高、地上鲜重、根系鲜重、脯氨酸含量都可作为玉米耐盐性鉴定的依据。这些研究多选取单个时期进行耐盐性鉴定, 而以多个品种多个时期综合进行玉米的耐盐性鉴定鲜见报道^[8]。本研究测定了 180 mmol · L⁻¹ NaCl 处理下对萌发期的发芽势、发芽率等 6 个指标, 苗期的 MDA 含量、相对电导率、相对含水量 3 个指标, 计算各指标的耐盐指数。同时, 依据各指标的耐盐指数分别采用欧氏距离的最短距离法对 16 个玉米自交系进行聚类分析和耐盐性综合评价, 为玉米耐盐遗传机理研究提供依据。

收稿日期: 2013-11-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(31260330、31301333); 教育部博士点基金(20126202120001); 甘肃省科技支撑计划项目(1011NKCA076); 甘肃省干旱生境作物学重点实验室开放课题(GSCS-2010-10)

作者简介: 赵小强(1990—), 男, 甘肃定西人, 在读硕士, 研究方向为生物技术育种。E-mail: zhaoxiaoqiang0416@163.com。

通信作者: 彭云玲(1978—), 女, 河南南阳人, 副教授, 博士, 研究方向为玉米抗逆生理及分子生物学研究。E-mail: pengyunlingpyl@163.com。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选用的材料为主要玉米骨干自交系,由甘肃农业大学农学院提供。如表1所示。

1.2 试验方法

种子清选:每个自交系中均选择饱满、无破损的种子,分别用0.5%的次氯酸钠消毒10 min,用蒸馏水冲洗3次,然后用滤纸吸干附着水。将消毒种子分别浸泡在0、180 mmol·L⁻¹的NaCl溶液中12 h,得

到盐胁迫种子。

种子萌发试验:将16份玉米自交系盐胁迫种子分别置于直径为12 cm的培养皿中,双层滤纸作发芽床,每皿30粒;分别加入0、180 mmol·L⁻¹的NaCl溶液,实验设3次重复,使其在培养箱中25℃暗发芽,期间每隔3 d补一次15 mL对应浓度的盐溶液,待种子萌发处理4 d后,统计每个自交系发芽种子数;7 d后,统计种子发芽率、胚芽长、胚根长、芽鲜重、根鲜重。

表1 16份玉米自交系的系谱来源

Table 1 Pedigrees of the 16 maize inbred lines used in the study

编号 Code	自交系 Line	系谱来源 Origin/Pedigree	编号 Code	自交系 Line	系谱来源 Origin/Pedigree
1	沈 137 Shen137	美国杂交种 6JK11 Recycled from hybrid 6JK11	9	TS141	不详 Unclear
2	N87-1	美国杂交种 87001 Recycled from hybrid 87001	10	廊黄 Langhuang	塘四平头系 Derived from Tangsipingtou
3	LX9801	掖 502 × H21 Ye502xH21	11	8723	U8112 × 掖 107 U8112 × Ye107
4	昌 7-2 Chang7-2	(黄早 4 × 潍 95) × S901 (Huangzao4xWei95)xS90	12	沈 136 Shen136	美国杂交种 78599 Recycled from hybrid 78599
5	吉 81162 Ji81162	525 × 掖 107 525 × Ye107	13	9046	铁 7922 × 沈 503 Tie7922 × Shen503
6	78599-1	美国杂交种 78599 Recycled from hybrid 78599	14	成 687 Cheng687	美国杂交种 87001 Recycled from hybrid 87001
7	65232	6237 × 沈 5003 6237 × Shen5003	15	478	U8112 × 沈 503 U8112 × Shen503
8	543	不详 Unclear	16	A413	不详 Unclear

幼苗生长试验:将0、180 mmol·L⁻¹的NaCl溶液各100 mL分别与500 g已灭菌的蛭石搅拌均匀,而后分装于15 cm × 13 cm的营养钵中;16份玉米自交系的盐胁迫种子分别播在各对应盐浓度的消毒蛭石中,每钵30粒,进行胁迫处理,实验设3次重复。播种后置于人工培养室中培养,每隔1 d补加1次50 mL的去离子水,每3 d补加一次对应浓度的NaCl溶液50 mL,胁迫处理大约10 d后,待对照叶片生长到三叶一心时,进行指标的测定。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 发芽指标测定 发芽率和发芽势:种子发芽率(%)=(发芽的种子粒数/供试种子粒数)×100;种子发芽势(%)=(第4天发芽种子数/供试种子粒数)×100。

胚根长和胚芽长测定:直接用尺子测定各玉米自交系的胚芽长和胚根长,每品种每处理选10粒,取其平均值。

胚根鲜重和胚芽鲜重的测定:将处理和对照的

玉米萌发期幼苗从培养皿中取出,测定胚芽鲜重和胚根鲜重。

按下列公式计算耐盐指数^[9]:公式(1):耐盐指数=(对照测定值-胁迫测定值)/对照测定值×100%;公式(2):耐盐指数=(胁迫测定值-对照测定值)/对照测定值×100%;实验均设3次重复,取其平均值。

1.3.2 苗期生理生化指标测定 生理生化指标测定均取幼苗第2片叶鲜样。参照张宪政等^[11]的方法测定丙二醛、相对电导率和相对含水量。

1.4 统计分析

试验数据采用Excel 2007和SPSS 19.0软件进行统计分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对不同玉米自交系萌发的影响

由表2可知,在180 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫下16份玉米自交系的发芽势、发芽率、胚芽长、胚根长、胚

芽鲜重和胚根鲜重相对于对照处理均不同程度下降。在正常条件下,玉米自交系 65232、TS141、8723、A413 发芽率均在 80% 以上;盐胁迫下,65232 的发芽率在 20% 以下,受害程度大,而自交系 TS141、8723、A413 发芽率较高,均在 80% 左右,受盐胁迫影响较小。NaCl 胁迫后,胚芽长和胚根长也均受到明显抑

制,胚芽鲜重和胚根鲜重均有所下降,各材料间差异明显。与对照相比,盐胁迫下玉米自交系 87-1、LX9801 的胚芽长和胚根长变化较小,胚根鲜重和胚芽鲜重变化不是很明显;而玉米自交系 65232、136 受到的抑制作用较为明显,尤其是根长,抑制作用大于芽长。胚根鲜重和胚芽鲜重的降低也较明显。

表 2 盐胁迫对 16 份玉米自交系萌发期相关生长指标的影响

Table 2 The effect of NaCl stress on correlated indexes of 16 maize inbred lines at germinating stage

自交系 Line	发芽势/% Germination potential		发芽率/% Germination rate		胚芽长/cm Sprout length		胚根长/cm Radical length		胚芽鲜重/g Sprout fresh weight		胚根鲜重/g Radical fresh weight	
	正常	胁迫	正常	胁迫	正常	胁迫	正常	胁迫	正常	胁迫	正常	胁迫
	Control	NaCl stress	Control	NaCl stress	Control	NaCl stress	Control	NaCl stress	Control	NaCl stress	Control	NaCl stress
137	51.67	36.00	90.32	68.67	3.35	1.52	8.52	1.60	0.156	0.012	0.068	0.042
N87-1	65.00	43.33	65.00	50.65	3.54	2.96	4.45	3.61	0.213	0.188	0.348	0.223
LX9801	70.33	58.00	88.40	78.33	1.42	0.80	3.12	2.20	0.03	0.03	0.038	0.034
昌 7-2 Chang7-2	80.00	36.67	96.67	41.67	8.36	1.68	16.42	3.90	0.299	0.086	0.205	0.078
吉 81162 Ji81162	80.00	60.00	85.00	66.67	4.12	2.60	2.55	1.80	0.241	0.181	0.349	0.233
78599-1	60.00	43.33	76.67	56.67	6.36	5.22	17.90	6.70	0.395	0.297	0.634	0.423
65232	88.33	20.00	92.65	20.00	7.35	2.00	20.30	2.84	0.319	0.083	0.302	0.142
543	32.00	5.00	38.33	5.00	3.64	0.30	5.36	0.12	0.115	0.092	0.113	0.033
TS141	100.00	90.00	100.00	95.00	11.00	5.30	31.00	20.65	0.439	0.272	0.462	0.261
廊黄 Langhuang	46.67	20.00	80.00	38.33	3.36	0.90	5.81	1.25	0.137	0.026	0.129	0.035
8723	100.00	96.67	100.00	100.00	5.53	2.62	8.40	2.95	0.369	0.227	0.286	0.153
沈 136 Shen136	48.33	6.67	98.33	6.67	5.56	1.18	11.60	1.52	0.338	0.068	0.287	0.089
9046	70.13	23.33	78.33	25.00	14.20	3.40	26.60	3.75	0.358	0.103	0.222	0.135
成 687 Cheng687	66.67	38.33	88.33	50.00	7.28	1.56	6.56	0.65	0.255	0.058	0.331	0.124
478	56.67	5.00	65.00	31.67	8.44	4.85	10.66	3.21	0.365	0.098	0.226	0.085
A413	70.00	66.67	83.33	81.67	7.20	2.30	16.50	9.60	0.315	0.094	0.093	0.055

2.2 盐胁迫对不同玉米自交系幼苗生理生化特性的影响

由表 3 可知,180 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫下,16 份玉米自交系的 MDA、相对电导率均有所上升,而相对含水量下降。但因材料不同变化的幅度不同。对照处理下,玉米自交系 TS141、廊黄和 78599-1 的 MDA 含量较低,78599-1 含量最低。180 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫下,各自交系的 MDA 含量呈上升趋势,其中 78599-1 的 MDA 含量上升较为缓慢,而 TS141 和廊黄上升明显。

如表 3 所示,180 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫下,16 份玉米自交系的相对电导率均呈上升趋势,自交系 TS141、8723、543 和 A413 上升较为缓慢,而自交系 478、9046、136 电导率上升较快。180 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫下,不同玉米自交系的相对含水量也均呈下降趋势,其中自交系 65232、78599-1、LX9801、81162、478 下降幅度较大;自交系 87-1、A413、TS141、137、8723 下降较为缓慢。A413、TS141 基本没有下降。

2.3 各指标的方差分析

表 4 所示的方差分析结果表明,9 个性状中,除了胚根长和 MDA 含量在品种间的差异不显著以外,其他 7 个性状都达到了极显著水平,说明在正常或盐胁迫条件下,胚根长和 MDA 含量在品种间的变化不大,而其他性状的变化较大。9 个性状在处理间的差异都达到了极显著水平,显示玉米对盐胁迫比较敏感。9 个性状在品种与处理间的交互作用达极显著水平,说明不同自交系对盐胁迫的敏感程度不同。

2.4 玉米自交系各个指标的耐盐指数

发芽势、发芽率、胚芽长、胚根长、胚芽鲜重、胚根鲜重和叶片的相对含水量与胁迫程度成负相关,耐盐指数计算用公式(1)。一定范围的胁迫使 MDA 含量、相对电导率指标值增大,破坏细胞膜的选择透性,抗逆能力降低,与胁迫强度成正相关,其变化幅度反映材料受伤害程度,耐盐指数用公式(2)。由表 5 可知,同一指标的不同材料间均存在明显差异。玉米自交系 TS141、8723、A413、137 在各个指标下的

耐盐指数较低,但 TS141 在 MDA 下的耐盐指数很高;自交系 136、543、65232 等盐害指数较高,耐盐性较差,但 136 在 MDA 含量和相对含水量下的盐害指

数表现不明显,543 在胚芽鲜重和相对电导率下的盐害指数不明显。说明不同指标耐盐性评价标准不同,单个指标不能很好地反映自交系的耐盐性。

表3 盐胁迫对16份玉米自交系苗期相关指标的影响

Table 3 The effect of NaCl stress on growth parameters of 16 maize inbred lines at seedling stage

自交系 Line	MDA 含量 MDA content/(nmol·g ⁻¹)		相对电导率 Relative conductivity/%		相对含水量 Relative water content/%	
	正常 Control	胁迫 NaCl stress	正常 Control	胁迫 NaCl stress	正常 Control	胁迫 NaCl stress
137	2.46 ± 0.04	2.51 ± 0.06	21.85 ± 0.47	25.06 ± 1.03	94.34 ± 1.02	94.55 ± 2.45
N87-1	0.70 ± 0.03	0.80 ± 0.01	25.14 ± 0.20	29.92 ± 0.55	94.30 ± 0.24	94.09 ± 0.89
LX9801	1.17 ± 0.06	1.26 ± 0.04	21.85 ± 0.67	32.79 ± 0.56	92.82 ± 0.66	89.89 ± 2.19
昌7-2 Chang7-2	8.05 ± 0.01	9.35 ± 0.01	20.33 ± 1.99	25.15 ± 1.01	93.85 ± 0.55	90.04 ± 1.09
吉81162 Ji81162	0.74 ± 0.08	0.90 ± 0.03	21.85 ± 0.32	25.88 ± 0.16	96.61 ± 0.41	90.60 ± 0.86
78599-1	0.56 ± 0.01	0.55 ± 0.04	21.85 ± 0.66	25.87 ± 3.26	90.26 ± 0.11	89.48 ± 0.73
65232	0.81 ± 0.01	1.20 ± 0.07	28.34 ± 0.40	38.36 ± 0.79	95.82 ± 0.59	93.21 ± 0.27
543	2.61 ± 0.02	3.35 ± 0.01	21.85 ± 0.79	22.81 ± 0.46	91.64 ± 0.66	86.61 ± 0.96
TS141	0.73 ± 0.08	1.40 ± 0.1	22.14 ± 0.57	24.13 ± 0.09	92.10 ± 1.18	92.06 ± 0.25
廊黄 Langhuang	0.86 ± 0.04	1.30 ± 0.04	26.04 ± 0.35	32.79 ± 0.25	94.21 ± 0.13	93.38 ± 0.64
8723	2.59 ± 0.08	2.65 ± 0.04	21.85 ± 1.37	23.95 ± 0.84	96.90 ± 0.30	96.85 ± 0.58
沈136 Shen136	1.08 ± 0.01	1.36 ± 0.02	23.64 ± 0.79	35.63 ± 1.01	94.89 ± 0.23	94.78 ± 0.26
9046	0.79 ± 0.03	1.15 ± 0.05	17.24 ± 0.45	27.59 ± 0.21	95.93 ± 0.13	90.23 ± 0.52
成687 Cheng687	1.82 ± 0.02	2.75 ± 0.04	19.8 ± 0.87	25.87 ± 1.17	94.71 ± 0.20	93.56 ± 0.96
478	9.5 ± 0.01	10.3 ± 0.05	21.85 ± 0.68	37.47 ± 1.06	94.13 ± 1.54	92.06 ± 1.79
A413	1.06 ± 0.01	1.43 ± 0.08	16.68 ± 2.19	18.91 ± 1.28	94.09 ± 0.28	94.06 ± 0.34

表4 9个性状品种间与不同处理的方差分析

Table 4 Variance analysis of 9 indexes among different varieties and treatments

变异来源 Variance source	发芽势 Germination potential	发芽率 Germination rate	胚芽长 Sprout length	胚根长 Radical length	胚芽鲜重 Sprout fresh weight	胚根鲜重 Radical fresh weight	MDA 含量 MDA content	相对电导率 Relative conductivity	相对含水量 Relative water content
品种间 Variety	3.18**	2.98**	4.51**	1.67	4.91**	3.97**	1.97	5.56**	3.17**
处理间 Treatment	7.59**	39.17**	24.87**	2.78*	16.13**	10.04**	9.63**	6.78**	17.45**
品种×处理间 Variety × Treatment	3.25**	3.67**	5.46**	2.79*	6.56**	5.38**	2.98*	4.97**	5.12**

注: **表示 $P < 0.01$, *表示 $P < 0.05$ 。Note: ** or * is $P < 0.01$ or $P < 0.05$ 。

2.5 萌发期和苗期的耐盐性聚类分析

对发芽势、发芽率、胚芽长、胚根长、胚芽鲜重、胚根鲜重、MDA 含量、相对电导率、相对含水量 9 指标的测定结果进行分析处理,并计算各个指标的耐盐指数。根据各个指标耐盐指数的大小分别对 16 份玉米自交系进行萌发期和苗期耐盐性类型的聚类分析。根据萌发期发芽势、发芽率、胚芽长、胚根长、胚芽鲜重和胚根鲜重的盐害指数聚类分析结果如图 1,16 份玉米自交系分为 A 和 B 两组,A 分为两个亚组 A1 和 A2,A1 又可以分为 A1-1 和 A1-2,其中 A1-1 包括 137、昌7-2、廊黄、成687,属于中耐系,A1-2 包括 65232、136、9046、478,属于敏感系,A2 包

括 543,属于高敏系;B 组又分为 B1 和 B2 两个亚组,B1 包括 TS141、8723、A413,属于耐盐系,B2 包括 87-1、LX9801、81162、78599-1,为高耐盐系。

苗期 MDA 含量、相对电导率、相对含水量的盐害指数聚类分析结果如图 2 所示,16 份玉米自交系分为 A 和 B 两个组,A 组分为 A1 和 A2 两个亚组,其中 A1 包括 65232、廊黄、9046、成687,属于高敏感系,A2(TS141),属于盐敏感系;B 组分为 B1 和 B2 两个亚组,其中 B1 又分为 B1-1 和 B1-2,B1-1 包括 543、A413,为耐盐系,B1-2 包括 137、87-1、昌7-2、81162、78599-1、8723,为高耐盐系;B2 包括 LX9801、136、478,为中等耐盐系。

表 5 16 份玉米自交系各个指标的耐盐指数

Table 5 Salt-tolerant index of each indicator in 16 maize inbred lines

自交系 Line	发芽势/% Germination potential	发芽率/% Germination rate	胚芽长/% Sprout length	胚根长/% Radical length	胚芽鲜 重/% Sprout fresh weight	胚根鲜 重/% Radical fresh weight	MDA 含量/% MDA content	相对电 导率/% Relative conductivity	相对含 水量/% Relative water content
137	30.33	23.97	54.63	81.22	92.31	38.24	2.03	14.70	-0.22
N87-1	33.34	22.08	16.38	18.88	11.74	35.92	14.29	19.03	0.22
LX9801	17.53	11.39	43.66	29.49	0.00	10.53	7.69	50.07	3.16
昌 7-2 Chang7-2	54.16	56.89	79.90	76.25	71.24	61.95	16.15	23.71	4.06
吉 81162 Ji81162	25.00	21.56	36.89	29.41	24.90	33.24	21.62	18.44	6.22
78599-1	27.78	26.09	17.92	62.57	24.81	33.28	-1.79	18.40	0.86
65232	77.36	78.41	72.79	86.01	73.98	52.98	48.15	35.35	2.72
543	84.38	86.96	91.76	97.76	20.00	70.80	28.35	4.39	5.49
TS141	10.00	5.00	51.82	33.39	38.04	43.51	91.78	8.99	0.04
廊黄 Langhuang	57.15	52.09	73.21	78.49	81.02	72.87	51.16	25.91	0.88
8723	3.33	0.00	52.62	64.88	38.48	46.50	2.32	9.61	0.05
沈 136 Shen136	86.20	93.22	78.78	86.90	79.88	68.99	25.93	50.72	0.12
9046	66.73	68.08	76.06	85.90	71.23	39.19	45.57	60.03	5.94
成 687 Cheng687	42.51	43.39	78.57	90.09	77.25	62.54	51.10	30.66	1.21
478	91.18	51.28	42.54	69.89	73.15	62.39	8.42	71.49	2.20
A413	4.76	1.99	68.06	41.82	70.16	40.86	34.91	13.37	0.03

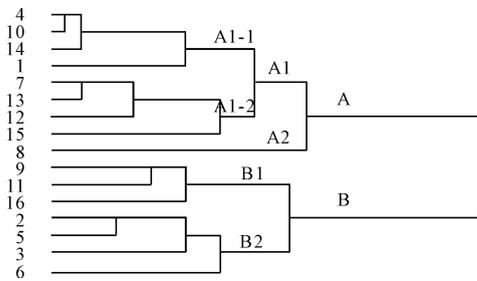


图 1 16 份玉米自交系萌发期耐盐性聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis of salt tolerance of the 16 maize inbred lines at germinating stage

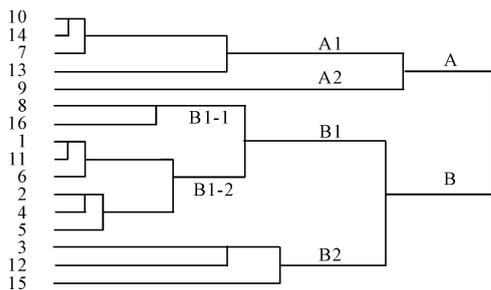


图 2 16 份玉米自交系苗期耐盐性聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of salt tolerance of the 16 maize inbred lines at seedling stage

2.6 玉米自交系耐盐性的综合评价

根据各个指标的耐盐指数分别对 16 份玉米自交系运用欧氏距离的最短距离法进行耐盐性聚类分

析。将耐盐性划分为 5 级,根据实际结果将高耐、耐、中耐、敏感、高感分别用 1, 2, 3, 4, 5 表示,对各自交系盐耐性进行排序。总分高的耐盐性弱,总分低的耐盐性强。综合评价结果表明(表 6),玉米对盐胁迫十分敏感,其综合评价平均值的范围由 1.8 至 4.2,故此将 16 份玉米自交系盐耐性由强到弱分为高耐(1.8-2.0),耐(2.1-2.4),中耐(3.0-3.4),敏感(3.7-3.9),高感(4.0-4.2)5 个级别,其中高耐盐自交系 3 份,中等耐盐自交系 5 份,耐盐自交系 4 份,盐敏感自交系 2 份,高敏感自交系 2 份。

3 讨论

不同作物品种在不同发育阶段的耐盐能力有所不同,其根本原因是耐盐机理不同,萌发期耐盐性体现的是种子吸水膨胀的能力,盐胁迫条件下种子发芽率高表明其吸水膨胀和萌动生根的综合能力强;而苗期耐盐体现的是植株抗逆能力和渗透胁迫,耐盐多为拒 Na^+ 机制^[11-15]。本研究中,16 份玉米自交系在萌发期和苗期的耐盐性有差异,在苗期表现耐盐性高的材料,在萌发期则不一定表现出高耐盐性,如 TS141 在萌发期的耐盐性分析中属于耐盐系,而在苗期的聚类分析中属于盐敏感系;543 在萌发期中属于高敏系,而在苗期属于耐盐系。该研究结果与小麦^[16]和棉花^[11,17]的耐盐性结果相一致。

表6 玉米自交系的耐盐性综合评价

Table 6 Comprehensive evaluation of salt tolerance for the 16 inbred lines

自交系 Line	发芽势 Germination potential	发芽率 Germination rate	胚芽长 Sprout length	胚根长 Radical length	胚芽鲜重 Sprout fresh weight	胚根鲜重 Radical fresh weight	MDA MDA content	相对电导率 Relative conductivity	相对含水量 Relative water content	平均值 Means	综合评价 Comprehensive evaluation
137	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1.8	高耐 High tolerance
N87-1	1	1	3	3	3	3	1	1	1	1.9	高耐 High tolerance
LX9801	2	2	1	3	2	2	1	2	3	2	高耐 High tolerance
昌7-2 Chang7-2	1	1	2	4	1	1	1	4	4	2.1	中耐 Medium tolerance
吉81162 Ji81162	1	1	3	2	3	2	5	1	1	2.1	中耐 Mmedium tolerance
78599-1	1	1	4	2	4	2	3	2	1	2.2	中耐 Medium tolerance
65232	2	2	3	3	5	2	1	2	1	2.3	中耐 Medium tolerance
543	2	2	2	2	2	2	3	2	5	2.4	中耐 Medium tolerance
TS141	3	3	4	4	5	5	1	3	3	3.4	耐 Tolerance
廊黄 Langhuang	3	3	4	4	4	4	2	3	4	3.4	耐 Tolerance
8723	5	3	2	3	4	4	1	5	4	3.4	耐 Tolerance
136	3	3	4	5	5	4	1	3	3	3.4	耐 Tolerance
9046	4	4	4	5	4	2	1	4	5	3.7	敏感 Sensitive
成687 Cheng687	4	4	4	5	4	3	4	3	4	3.9	敏感 Sensitive
478	5	5	5	5	2	5	3	1	5	4	高敏 Sensitive
A413	5	5	4	5	5	5	3	4	2	4.2	高敏 High sensitive

构建玉米耐盐筛选技术体系时筛选浓度很关键。汤华等^[18]通过对各个性状的深入统计分析发现,100~120 mmol·L⁻¹的NaCl浓度是玉米耐盐性筛选的临界下限值,200~220 mmol·L⁻¹是玉米耐盐性筛选的临界上限值。本课题组在前期研究工作中发现,耐盐自交系和盐敏感自交系在NaCl浓度140 mmol·L⁻¹以下时受害现象不明显,而盐浓度220 mmol·L⁻¹时,盐敏感自交系受害严重,耐盐自交系表现出很好的耐盐性^[19]。因此,本研究确定180 mmol·L⁻¹ NaCl浓度为区分耐盐自交系和盐敏感自交系的最适浓度。

发芽率、发芽势、胚芽长、胚根长、胚芽鲜重和胚根鲜重可以从不同角度反映种子萌发期耐盐性的强弱^[11];MDA含量、相对电导率和相对含水量可以反映幼苗耐盐性的强弱^[20-23]。由于单个指标具有一定的片面性,单纯从发芽期或苗期的某个指标很难确定品种耐盐性的强弱^[24]。盐胁迫对玉米生长发育的影响极其复杂,采用单一指标评价玉米自交系的耐盐性时,由于不同材料在胁迫条件下的相应机

制不同,有时各指标的耐盐性排序偶有不同,如本研究中,玉米自交系TS141发芽率的耐盐指数仅为5%,单从这一指标来看,该自交系呈现出较强的耐盐性,而MDA含量的耐盐指数为91.78%,表现出该材料不耐盐。因此,为了提高玉米耐盐性鉴定的准确性,应该选用多个时期多个不同指标进行综合分析。

综上所述,各个玉米自交系之间的耐盐性存在较大的差异,萌发期、苗期和综合评价结果都表现较稳定的耐盐自交系为87-1、8723、78599-1和81162,在盐渍化土壤上具有一定的推广价值。其中8723和81162已在前期的研究中证实为耐盐自交系^[19]。

参考文献:

- [1] Munns R. Genes and salt tolerance: Bringing them together[J]. New Phytologist, 2005, 167: 645-663.
- [2] 丁海荣,洪立州,王茂文,等.星星草耐盐生理机制及改良盐碱土壤研究进展[J].安徽农学通报,2007,13(16):58-59.
- [3] 郑世英,商学芳,王丽燕.盐胁迫对不同基因型玉米生理特性和产量的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(2):109-112.

- 561.
- [5] 山 仑. 挖掘植物自身抗旱节水潜力的探讨[J]. 河南大学学报, 2012, 42(5): 587-592.
- [6] 杨春杰, 程 勇, 邹崇顺. 模拟干旱胁迫下不同甘蓝型油菜品种发芽能力的配合力与遗传效应分析[J]. 作物学报, 2008, 34(10): 1744-1749.
- [7] 李 真, 梅淑芳, 梅 忠, 等. 甘蓝型油菜 DH 群体苗期抗旱性的评价[J]. 作物学报, 2012, 38(11): 2108-2114.
- [8] 胡承伟, 张学昆, 邹锡玲, 等. PEG 模拟干旱胁迫下甘蓝型油菜的根系特性与抗旱性[J]. 中国油料作物学报, 2013, 35(1): 048-053.
- [9] 谢小玉, 张 霞, 张 兵. 油菜苗期抗旱性评价及抗旱相关指标变化分析[J]. 中国农业科学, 2013, 46(3): 476-485.
- [10] Norouzi M, Toorchi M, Salekdeh GH, et al. Effect of water deficit on growth, grain yield and osmotic adjustment in rapeseed[J]. Journal of Food, Agriculture & Environment, 2008, 6(2): 132-138.
- [11] Wright P R, Morgan J M, Robins J. Turgor maintenance by osmoregulation in Brassica napus and B. juncea under field conditions[J]. Annals of Botany, 1997, 80: 313-319.
- [12] 张 霞, 谢小玉. PEG 胁迫下甘蓝型油菜种子萌发期抗旱鉴定指标的研究[J]. 西北农业学报, 2012, 21(2): 72-77.
- [13] 罗明亮. 甘蓝型油菜苗期耐旱相关性状的配合力和遗传效应分析[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
- [14] 王士强, 胡银岗, 余奎军, 等. 小麦抗旱相关农艺性状和生理生化性状的灰色关联度分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(11): 2452-2459.
- [15] 宋凤斌, 徐世昌. 玉米抗旱性鉴定指标的研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(1): 127-129.
- [16] 李贵全, 张海燕, 季 兰, 等. 不同大豆品种抗旱性综合评价[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2408-2412.
- [17] 孟庆立, 关周博, 冯佰利, 等. 谷子抗旱相关性状的主成分与模糊聚类分析[J]. 中国农业科学, 2009, 42(8): 2667-2675.
- [18] 鲁雪林, 王秀萍, 张国新. 旱稻抗旱性评价指标研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22(1): 124-126.
- [19] 朱宗河, 郑文寅, 张学昆. 甘蓝型油菜耐旱相关性状的主成分分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2011, 44(9): 1775-1787.
- [20] Margreet W, Franka M, Hans L, et al. Genetic and physiological architecture of early vigor in *Aegilops tauschii*, the D-genome donor of hexaploid wheat. a quantitative trait loci analysis[J]. Plant Physiology, 2005, 139: 1078-1094.
- [21] Rebetzke G J, Richards R A. Genetic improvement of early vigor in wheat[J]. Aust J Agric Res, 1999, 50: 291-301.
- [22] Richards R A, Lukacs Z. Seedling vigor in wheat—sources of variation for genetic and agronomic improvement[J]. Aust J Agric Res, 2002, 53: 41-50.
- [23] Lu X L, Niu A L, Cai H Y, et al. Genetic dissection of seeding and early vigor in a recombinant inbred line population of rice[J]. Plant Science, 2007, 172: 212-220.
- [24] Messmer S T P, Stamp N, Ruta A. QTLs for early vigor of tropical maize[J]. Mol Breeding, 2010, 25: 91-103.

(上接第 45 页)

- [4] 孟义江, 宋占权, 魏俊杰, 等. 玉米耐盐基因型的筛选[J]. 河南农业科学, 2004, (4): 25-28.
- [5] 徐立华, 阴卫军, 周柱华, 等. 细胞工程技术培育玉米耐盐自交系[J]. 作物杂志, 2006, (4): 26-28.
- [6] 付 艳, 高树仁, 王振华. 玉米种质苗期耐盐性的评价[J]. 玉米科学, 2009, 17(1): 36-39, 50.
- [7] 汤 华, 柳晓磊. 盐胁迫下玉米苗期农艺性状和脯氨酸含量变化的研究[J]. 中国农学通报, 2007, 23(3): 244-249.
- [8] 柳斌辉, 张文英, 栗雨勤. 玉米耐盐性的鉴定评价[J]. 华北农学报, 2012, 27(Z1): 101-105.
- [9] 杨书华, 张春宵, 朴明鑫, 等. 69 份玉米自交系的苗期耐盐碱性分析[J]. 种子, 2011, 30(3): 1-6.
- [10] 张宪政, 陈凤玉, 王荣富. 植物生理学试验技术[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1994.
- [11] 张国伟, 路海玲, 张雷陈, 等. 棉花萌发期和苗期耐盐指标的筛选[J]. 应用生态学报, 2011, 22(8): 2045-2053.
- [12] 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.
- [13] Epstein E. In better crops for food[J]. Ciba Foundation Symposium, 1983, 97: 61-82.
- [14] 王宝山, 赵可夫, 邹 琦. 作物耐盐机理研究进展及提高作物抗盐性的对策[J]. 植物学通报, 1997, (14): 25-30.
- [15] 杨洪斌, 邱念伟, 陈 敏. 小麦耐盐机理及培育抗盐品种研究进展[J]. 山东师范大学学报, 2001, 16(1): 79-82.
- [16] 马雅琴, 翁跃进. 引进春小麦种质耐盐性的鉴定评价[J]. 作物学报, 2005, 31(1): 58-64.
- [17] Ashraf M. Salt tolerance of cotton: Some new advances[J]. Critical Review in Plant Science, 2002, 21(1): 1-30.
- [18] 汤 华, 柳晓磊, 罗秋芸. 玉米耐盐早期筛选体系的初步研究[J]. 海南大学学报(自然科学版), 2007, 25(2): 169-172, 176.
- [19] 彭云玲, 李伟丽, 王坤泽, 等. NaCl 胁迫对玉米耐盐系与盐敏感系萌发和幼苗生长的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(4): 62-71.
- [20] 张培培, 杜 锦, 向春阳, 等. NaCl 胁迫对玉米种子活力及幼苗性状的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(30): 35-38.
- [21] 刘 芳, 付 艳, 高树仁, 等. 玉米幼苗的盐胁迫反应及玉米耐盐性的鉴定[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2007, 19(6): 22-26.
- [22] 付 艳, 高树仁, 杨克军, 等. 盐胁迫对玉米耐盐系与盐敏感系苗期几个生理生化指标的影响[J]. 植物生理学报, 2011, 47(5): 459-462.
- [23] 付 艳, 高树仁, 杨克军, 等. 盐胁迫对玉米耐盐系与盐敏感系苗期生长影响的比较研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2011, 23(1): 13-15.
- [24] Casenave E C, Degano C A, Toselli M E, et al. Statistical studies on anatomical modifications in the radicle and hypocotyl of cotton induced by NaCl[J]. Biological Research, 1999, 32: 289-295.