

玉米耐盐碱生理特性的杂种优势及遗传分析

李 乔, 李 明, 晏君瑶, 高 祺, 朴 琳, 肖佳雷

(东北农业大学农学院, 哈尔滨 150030)

摘 要: 利用7个自交系进行4×3不完全双列杂交, 获得12个杂交组合, 在盐碱土和黑土条件下进行盆栽试验, 调查苗期植株形态(株高、叶面积)与生理特性(SOD、POD活性), 并进行杂种优势及遗传分析。结果表明, 4个指标可以用于鉴定玉米的耐盐碱性, 盐碱胁迫下玉米幼苗株高和叶面积降低, SOD、POD活性升高。不同自交系耐盐碱能力差异显著, 根据4个指标及减少比例进行动态聚类, 筛选出郑58是耐盐碱能力较强的自交系, Mo17对盐碱最敏感, 5个中耐品种中昌7-2、444和B73偏敏感。杂交种间耐盐碱能力差异显著, 郑单958、郑58×178、郑58×Mo17和黄C×178是耐盐碱性较高的杂交组合, 444×Mo17是敏感组合。杂交种的耐盐碱性能与性状的杂种优势无关, 与亲本的耐盐碱程度有关。4个指标的广义遗传力较高, 非加性遗传的作用较突出。因此, 筛选耐盐碱的自交系时既要考虑有关性状, 又要考虑其性状对比非逆境条件下的变化率。

关键词: 玉米; 耐盐碱; 生理; 杂种优势

中图分类号: S513.034

文献标识码: A

Heterosis and Genetic Analysis of Physiological Characteristics of Salt and Alkali Tolerance in Maize

LI Qiao, LI Ming, YAN Jun-yao, GAO Qi, PIAO Lin, XIAO Jia-lei

(College of Agriculture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Using seven elite inbred lines, we prepared 12 hybrids by 4×3 incomplete diallel cross, then pot experiment were carried out for both parental inbred lines and hybrids with saline alkali soil and black soil. We investigated plant morphological feature and physiological characteristics at maize seedling stage, and then analyzed the heterosis and genetic parameter of each trait. The main results are that the investigated four traits can be used as index of evaluating maize salt tolerance. Under saline alkali stress, the plant height and leaf area of maize seedlings were both decreased, while the activities of SOD and POD were both increased. There are significant difference in salt and alkali resistance among inbred lines. Zheng 58 shows strong resistance to salt and alkali, while Mo17 is the most sensitive inbred line to salinity. Chang 7-2, 444 and B73 were medium sensitive materials. There were significant difference in salt and alkali tolerance among hybrids. Zhengdan958, Zheng 58×178, Zheng 58×Mo17 and Huang C×178 were hybrids with high salt and alkaline resistance, while 444×Mo17 was a sensitive combination. Salt and alkali resistance was not related with heterosis, but related with the salinity tolerance ability of parents. The broad-sense heritabilities of the investigated four traits are all higher, especially non-additive effect is significant. Therefore, during breeding inbred line with high saline-alkali tolerance, both related trait and the change rate of associated trait under different conditions should be considered.

Key words: Maize; Saline-alkali tolerance; Physiology; Heterosis

录用日期: 2018-07-30

基金项目: 黑龙江省科技厅科技部重大项目“东北北部春玉米、粳稻水热优化配置丰产增效关键技术研究及模式构建”(2017YFD03005006-2)

作者简介: 李 乔(1993-), 女, 哈尔滨人, 硕士, 研究方向为作物逆境生理方面。

李 明为本文通讯作者。E-mail: liming@neau.edu.cn

土地盐碱化已成为日益严重的环境问题之一, 且有继续扩大的趋势, 给农业生产造成巨大损失^[1-4]。目前, 全世界约有20%的耕地和近50%的灌溉地遭受盐害^[5]。我国盐碱地主要分布在西北、华北及东北等粮食主产区, 严重影响粮食生产效益和品质的提高^[6]。土壤盐碱化已逐渐成为限制我国农业生产的重要因素之一^[7,8]。改良作物的耐盐性和

选育耐盐品种是提高广大盐碱地区作物产量的最经济 and 有效途径。植物耐盐性的遗传研究表明,多数植物的耐盐性是一种受多基因控制的复杂的数量性状^[9-11]。玉米在苗期对盐分中度敏感,耐盐能力比较低^[12]。保证苗齐苗壮是获得玉米高产的基础^[13],因此在苗期对玉米进行耐盐碱筛选是十分必要的。王萍认为,苗高是幼苗对 NaCl 胁迫反应最强烈的部位,且株高以加性效应为主,遗传力较高,该性状受环境影响较小,因此在实际育种工作中可以在早代进行选择^[13-16]。另外,盐胁迫使植物叶面积扩张速率降低,随着含盐量的升高,叶面积不再增加。因此叶面积也选作玉米耐盐碱的指标。王欢^[17]等认为,SOD 酶活性与盐碱胁迫浓度显著相关,因 SOD 活性高低与植物的抗逆性高低有一定的相关性,在一定的逆境胁迫下,SOD 活性升高增强了植物的适应能力。POD 是活性较强的适应性酶能够体现对外部环境的适应性、体内代谢状况以及植物生长发育的特性,因此二者可作为玉米耐盐碱性指标。本研究

利用7个玉米自交系及其12个组合包括已经推广的玉米品种,分析在苏打盐碱条件下的生理响应、杂种优势和遗传基础,为探索玉米的耐盐碱能力提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料的选取与处理

选择7个自交系(郑58、黄C、B73、444、昌7-2、178、Mo17)按4×3 NCII 不完全杂交配制12个杂交组合,包括郑单958、农大108、SC704、四单19共19份材料(表1)。每个材料分别在碱土条件(碱土取自哈尔滨市道里区立权村的碱斑,碱土与黑土以4:1的配比充分混匀,pH值为9.95)和黑土条件(pH值为7.50)下盆栽,每盆土重3 kg,每盆播种10粒,5次重复。于东北农业大学园艺站温室进行培养,每两天浇水1次(水量100~200 mL)。于苗期(3叶1心)进行取样称重并保存在-80℃冰箱中以待调查测定各项指标。

表1 7个自交系的NCII设计及组合编号

Table 1 NC II design and the code of 7 inbred lines and 12 cross combinations

品种 Variety	昌7-2(z5)	178(z6)	Mo17(z7)
郑58(z1)	郑单958(1)	郑58×178(2)	郑58×Mo17(3)
黄C(z2)	黄C×昌7-2(4)	农大108(5)	黄C×Mo17(6)
B73(z3)	B73×昌7-2(7)	B73×178(8)	SC704(9)
444(z4)	444×昌7-2(10)	444×178(11)	四单19(12)

1.2 试验方法

实验室内的鉴定方法通常用于作物发芽期和幼苗前期的耐盐碱性鉴定,具有操作性强、周期短、操作简便、效率高等优点,3叶1心期是玉米对盐最敏感的时期,在此时期对其耐盐性进行鉴定具有高度的代表性^[18]。本试验中玉米幼苗的株高测定以苗地上部分最高点的拉直高度为准,进行3次重复。取样时均剪下第3叶中间鲜活部分,称重后分装在自封袋中保存于-80℃冰箱中用于生理指标测定。SOD活性用氮蓝四唑(NBT)法测定,POD用愈创木酚法^[19]。

1.3 数据处理

数据处理采用Excel软件,统计分析采用DPS软件和SPSS软件,用Duncan's 进行处理间差异性检验($P=0.05$)。聚类分析数据经过标准化后,采用动态聚类法。杂种优势的计算采用中亲优势法计算,公式为 $\frac{F_1 - (P1 + P2)/2}{(P1 + P2)/2} \times 100$ 。

配合力方差估计公式为:

$$\sigma_{gi}^2(\sigma_{p1}^2) = \frac{V_{gi} - V_{sj}}{bn_2};$$

$$\sigma_{gi}^2(\sigma_{p2}^2) = \frac{V_{gi} - V_{sj}}{b_{n1}};$$

$$\sigma_{sj}^2(\sigma_{p1 \times p2}^2) = \frac{V_{sj} - V_e}{b}。$$

$$\text{一般配合力方差 } V_g = \frac{\sigma_{gi}^2 + \sigma_{gj}^2}{\sigma_{gi}^2 + \sigma_{gj}^2 + \sigma_{sj}^2} \times 100\%;$$

$$\text{特殊配合力方差 } V_s = \frac{\sigma_{sj}^2}{\sigma_{gi}^2 + \sigma_{gj}^2 + \sigma_{sj}^2} \times 100\%。$$

2 结果与分析

2.1 玉米自交系对盐碱胁迫的响应

7个自交系间的株高存在显著差异,最高的178比昌7-2高40.2%。盐碱胁迫使得玉米自交系苗高整体降低了37.7%,其中,昌7-2降低幅度最小,为29.9%;Mo17降低幅度最大,为46.8%。碱土条件下

178比Mo17株高增加41.9%(表2)。利用碱土条件下株高和株高降低幅度2个指标,经过标准化后进行动态聚类,将7个自交系分为3类:1类是长势差但株高降低幅度小的昌7-2;2类是长势差且株高降低幅度最大的Mo17;其他5个自交系归为第3类,即长势好且株高降低幅度中等。

7个自交系间的叶面积也存在显著差异,B73比昌7-2高68.8%。盐碱条件下玉米自交系的叶面积均有不同程度的降低,平均降低61.5%,其中,昌7-2降低幅度最小,为53.4%;Mo17降低幅度最大,为71.2%。盐碱条件下黄C的叶面积最大,Mo17的叶面积最小,黄C比Mo17高出63.2%。经过标准化后根据自交系碱土下叶面积以及叶面积降低幅度2个指标进行动态聚类,将7个自交系分为3类,1类是长势差但叶面积降低幅度小的昌7-2;2类是长势差且叶面积降低幅度大的Mo17和444;其余品种为长势好且叶面积降低幅度中等的第3类。

7个玉米自交系的SOD活性间存在显著差异,最高的昌7-2比B73高19.8%。在盐碱条件下各自交系均有不同程度的升高,差级由2级增加到4级,显示品种间对盐碱胁迫的反应加大,平均增加12.4%,其中,444增加最大,为24.9%;郑58增加最

小,为2.6%。碱土条件下Mo17比郑58高出26.5%。经过标准化后根据自交系碱土下SOD活性以及升高幅度2个指标进行动态聚类,将7个自交系分为3类,1类是SOD活性较小且增加幅度小的郑58和B73;2类是活性较高但增加幅度小的黄C和昌7-2;3类是活性高且增加幅度大的444、178和Mo17。

玉米自交系间的POD活性存在显著差异,最高的黄C比郑58高100.2%。在盐碱条件下各自交系均有不同程度的提高,差级由3级增加到5级,显示品种间对盐碱胁迫的反应加大,平均增加19.1%,其中178和444增加最大,均为33.6%;B73增加最小,为1.3%。碱土条件下黄C比郑58高出73.6%。经过标准化后根据自交系碱土下POD活性以及升高幅度2个指标进行动态聚类,将7个自交系分为3类,1类是POD活性中等但降低幅度最小的B73和Mo17;2类是降低幅度中等的郑58、黄C和昌7-2;3类是活性中等但降低幅度最大444和178。

根据4个指标和其变化幅度经过标准化后做动态聚类,将7个亲本分为3类,1类是相对敏感的Mo17;2类是中耐的黄C、178、444、昌7-2和B73;3类是相对耐盐碱的郑58。

表2 两种土壤条件下自交系的株高、叶面积、SOD活性和POD活性

Table 2 Plant height, leaf area, SOD and POD activities of the 7 inbred lines under two soil conditions

品 种 Variety	株高(cm) Plant height		叶面积(cm ²) Leaf area		SOD活性(U/mg) SOD activity		POD活性(U/mg·min) POD activity	
	黑 土	碱 土	黑 土	碱 土	黑 土	碱 土	黑 土	碱 土
	Black soil	Alkaline soil	Black soil	Alkaline soil	Black soil	Alkaline soil	Black soil	Alkaline soil
郑58	44.6 abc	27.9 ab	94.1 ab	40.3 ab	126.4 ab	129.7 d	96.3 c	123.6 d
黄C	46.2 ab	29.4 a	98.6 ab	44.5 a	132.8 ab	148.5 c	192.8 a	214.6 a
B73	48.0 ab	29.7 a	114.7 a	40.4 ab	120.9 b	131.0 d	148.6 ab	150.5c
444	43.8 bc	27.0 ab	91.7 b	31.9 bc	121.4 b	151.7 bc	158.2 ab	211.4 a
昌7-2	34.8 d	24.4 bc	68.0 c	31.6 bc	144.7 a	148.7 c	168.6 ab	209.2 a
178	48.8 a	30.8 a	111.1 ab	39.9 ab	130.5 ab	156.5 b	141.2 b	188.7 b
Mo17	40.8 b	21.7 c	94.6 ab	27.2 c	140.8 ab	164.0 a	188.9 a	191.6 e

注:表中不同小写字母为 $P<0.05$ 水平下差异显著。下表同。

Note: Means followed by different letters were significantly different at $P<0.05$. The same below.

2.2 耐盐碱胁迫下玉米杂交种的表现

杂交种间的株高存在显著差异,444×Mo17最高,B73×178最低。盐碱胁迫使玉米杂交种株高平均降低37.4%,盐碱条件下B73×178的株高最高(降低幅度为21.30%),黄C×178的株高最低(降低幅度为54.23%),前者比后者高出66.4%(表3)。利用碱土条件下株高和株高降低幅度2个指标,经过标准化

后进行动态聚类,将12个杂交种分为3类,1类是株高较高且降低幅度较小的黄C×Mo17、B73×昌7-2、B73×178、B73×Mo17和444×昌7-2;2类是株高较矮且降低幅度较大的郑58×昌7-2、郑58×178、郑58×Mo17、黄C×昌7-2、黄C×178和444×178;3类是株高较高降低幅度也较大的444×Mo17。

杂交种间的叶面积存在显著差异,最大和最小

的仍然是444×Mo17和B73×178。盐碱胁迫使得玉米杂交种的叶面积大幅度降低,平均降低55.9%,碱土下B73×昌7-2的叶面积最大(与黑土下相比降低幅度为51.0%),黄C×178的叶面积最小(降低幅度为66.9%),前者比后者多出86.4%。利用碱土下玉米苗叶面积和降低幅度2个指标,经过标准化后进行

动态聚类,将12个杂交种分为3类,1类是叶面积较大且降低幅度较小的黄C×Mo17、B73×178、444×昌7-2和444×178;2类是叶面积较小且降低幅度较大的郑58×昌7-2、郑58×178、郑58×Mo17、黄C×昌7-2、黄C×178和B73×Mo17;3类是叶面积最大降低幅度中等的B73×昌7-2和444×Mo17。

表3 两种土壤条件下杂交种株高、叶面积、SOD和POD活性

Table 3 Plant height, leaf area, SOD and POD activity of maize hybrids under two soil conditions

品种 Variety	株高(cm) Plant height		叶面积(cm ²) Leaf area		SOD活性(U/mg) SOD activity		POD活性(U/mg·min) POD activity	
	黑土 Black soil	碱土 Alkaline soil	黑土 Black soil	碱土 Alkaline soil	碱土 Alkaline soil	黑土 Black soil	碱土 Alkaline soil	黑土 Black soil
	郑58×昌7-2	52.0 b	28.8 b	113.8 bed	36.5 d	131.8 d	147.6 c	158.4 ab
郑58×178	44.7 d	28.6 b	102.9 cde	38.2 d	135.3 cd	151.8 bc	152.8 ab	155.3 c
郑58×Mo17	50.8 bc	24.8 c	111.5 bed	34.1 d	130.4 d	150.4 bc	101.9 c	118.5 d
黄C×昌7-2	48.3 bed	28.6 b	115.47 bc	43.6 d	143.7 bc	149.0 c	144.3 b	199.8 a
黄C×178	46.1 cd	21.1 d	102.6 cde	34.0 d	143.2 bc	160.8 a	161.5 ab	197.8 a
黄C×Mo17	48.0 bed	34.1 a	104.9 cde	56.9 ab	157.9 a	158.1 ab	186.2 ab	187.0 ab
B73×昌7-2	50.7 bc	35.0 a	129.3 b	63.4 a	137.1 cd	150.6 bc	181.3 ab	183.9 ab
B73×178	44.6 d	35.1 a	86.8 e	51.5 bc	129.3 d	138.9 d	157.3 ab	157.3 c
B73×Mo17	43.8 d	30.0 b	86.5 e	38.5 d	138.3 bed	143.5 cd	151.5 ab	155.4 c
444×昌7-2	44.4 d	32.0 ab	94.8 cde	55.7 ab	147.6 b	147.8 d	179.5 ab	199.1 a
444×178	46.2 cd	28.6 b	92.7 de	48.7 bc	144.4 bc	145.7 cd	155.3 ab	177.1 abc
444×Mo17	61.5 a	35.0 a	152.1 a	61.8 a	143.8 bc	144.3 cd	190.6 a	176.0 abc

玉米杂交种的SOD活性在盐碱条件下增高,并且各杂交种间增加幅度不同,平均增加6.5%,黄C×178的SOD活性最高(与黑土下相比增加了12.3%),B73×178的最低(增加了7.4%),黄C×178比B73×178的SOD活性高出15.8%。将碱土下玉米SOD活性和升高幅度2个指标,经过标准化后进行动态聚类,将12个杂交种分为3类,1类是活性较高且升高幅度较大的黄C×昌7-2、黄C×Mo17、B73×Mo17、444×昌7-2、444×178和444×Mo17;2类是活性较低且升高幅度较大的郑单958、B73×昌7-2和B73×178;3类是活性较低且升高幅度较小的郑58×178、郑58×Mo17和黄C×178。

盐碱胁迫使得POD活性有不同程度的升高(除了444×Mo17),平均升高9%,品种间存在显著差异。黄C×昌7-2(比黑土下升高38.47%)的POD活性最高,郑58×Mo17(升高16.35%)的POD活性最低,前者比后者的POD活性高出68.61%。同样用碱土下玉米POD活性和升高幅度2个指标,经过标准化后进行动态聚类,将12个杂交种分为3类,1类是活性最小且升高幅度较高的郑58×Mo17;2类是活性中

等升高幅度较小的郑58×昌7-2等9个杂交种;3类是活性较高且升高幅度最大的黄C×昌7-2和黄C×178。

用4个指标及其变化幅度做动态聚类,将12个杂交种分为3类,分别敏感型444×Mo17;中耐品种444×178、444×昌7-2、B73×Mo17、黄C×Mo17、B73×昌7-2、B73×178和黄C×昌7-2;耐盐碱品种郑单958、郑58×178、郑58×Mo17和黄C×178。

2.3 玉米杂交种的杂种优势

盐碱条件下,12个杂交种的株高杂种优势均高于黑土下杂种优势,444×178的株高在黑土和碱土下的杂种优势都是最高的,黑土下B73×Mo17的杂种优势最低,碱土下黄C×178的杂种优势最低(表4)。

盐碱条件下玉米叶面积的杂种优势普遍增加,其中,黄C×178在黑土和碱土下杂种优势均为最低,黑土下444×178的杂种优势最高,碱土下444×昌7-2的杂种优势最高,其中,黄C×178的杂种优势增加幅度最高,为873.14%;郑58×昌7-2的增加幅度最小,为16.25%。

表4 玉米苗期形态及生理指标的杂种优势

Table 4 Heterosis of the four investigated indexes at maize seedling stage

品 种 Variety	株高(cm) Plant height		叶面积(cm ²) Leaf area		SOD活性(U/mg) SOD activity		POD活性[U/(mg·min)] POD activity	
	黑 土	碱 土	黑 土	碱 土	碱 土	黑 土	碱 土	黑 土
	Black soil	Alkaline soil	Black soil	Alkaline soil	Alkaline soil	Black soil	Alkaline soil	Black soil
郑58×昌7-2	24.54	36.49	39.45	45.86	-2.80	6.02	19.60	1.64
郑58×178	6.67	33.49	13.67	30.30	5.27	6.07	28.69	-0.55
郑58×Mo17	6.12	21.23	14.06	28.15	-2.37	2.44	-28.57	-24.82
黄C×昌7-2	22.06	22.24	41.79	72.53	3.54	0.26	-20.16	-5.70
黄C×178	4.35	9.54	2.83	27.54	8.76	5.47	-3.34	-1.91
黄C×Mo17	13.04	13.78	26.90	32.42	15.41	1.20	-2.47	-7.95
B73×昌7-2	29.55	36.00	25.33	44.09	3.27	7.68	14.27	2.25
B73×178	4.26	32.13	23.44	46.01	2.87	-3.38	8.49	-7.23
B73×Mo17	0.55	20.66	7.01	39.16	5.68	-2.75	-10.25	-9.15
444×昌7-2	33.60	50.52	50.31	96.42	10.95	-1.58	9.80	-5.32
444×178	43.88	68.03	57.21	96.06	14.61	-5.44	3.70	-11.46
444×Mo17	30.86	42.74	33.11	66.38	9.73	-8.55	9.75	-12.69

黑土下 SOD 活性的杂种优势最高的是黄 C×Mo17, 为 15.4; 杂种优势最低的是郑单 958, 为 -2.8。盐碱条件下 B73×昌 7-2 是 SOD 活性杂种优势最高的品种, 杂种优势为 7.7; 444×Mo17 为杂种优势最低的品种, 为 -8.6。盐碱条件下郑 58×昌 7-2 的杂种优势升高幅度最大, 为 315.0%; B73×178 的杂种优势降低幅度最大, 为 217.8%。盐碱胁迫使玉米 SOD 活性的杂种优势普遍降低。

郑 58×Mo17 为两种土壤下 POD 活性杂种优势均最低的品种。黑土下郑 58×178 的杂种优势最高, 为 28.7; 碱土下郑 58×昌 7-2 的杂种优势最高, 为 1.6。盐碱条件下杂交种黄 C×昌 7-2 的杂种优势的升高幅度最高, 为 71.7%; 444×178 的杂种优势在盐碱条件下降低幅度最高, 为 409.7%。盐碱条件使玉米 POD 活性的杂种优势普遍降低。

盐碱条件使玉米全部杂交种株高和叶面积的杂种优势均有升高, 其中, 444×178 和 444×昌 7-2 的杂

种优势较高, 黄 C×178 和 B73×Mo17 的杂种优势较低。盐碱胁迫使玉米 SOD、POD 活性的杂种优势降低。

2.4 杂交种的耐盐碱遗传分析

对 12 个杂交种各指标的遗传分析显示, 玉米苗的叶面积和 POD 活性的环境方差较大, 株高和 SOD 活性的较小(表 5)。POD 活性的一般配合力方差较大, 但是特殊配合力的最小。株高和叶面积的特殊配合力方差较大, 一般配合力方差较小, 他们的非加性效应大于加性效应。SOD 活性的特殊配合力略大于一般配合力。4 个性状的广义遗传力都在 70% 以上, 遗传力较高, 可在早代进行选择, 且狭义遗传力普遍低于广义遗传力, 说明这些性状的非加性遗传的作用较突出。

母本中 B73 和 444 株高的一般配合力较大, 父本中昌 7-2 和 Mo17 的一般配合力较大(表 6), 这两个形态性状上 4 个亲本 B73、444、昌 7-2 和 Mo17 的一

表5 不完双列杂交配合力分析

Table 5 Combing ability analysis for the investigated index

%

指 标 Index	株 高 Plant height	叶面积 Leaf area	SOD	POD
环境方差	5.80	51.1	16.5	194.8
一般配合力方差	11.50	30.5	45.5	93.1
特殊配合力方差	88.60	69.5	54.5	6.9
广义遗传力	77.50	70.6	70.4	76.1
狭义遗传力	8.87	21.6	32.0	70.9

般配合力较为一致。母本中黄C的SOD活性的一般配合力较好,父本的一般配合力均表现不好。母本中黄C和444及父本中昌7-2的POD活性一般配合力较高,这两个生理性状上黄C的一般配合力表现较为一致。

黄C×Mo17、B73×178、郑58×178和444×Mo17株高的特殊配合力表现较好,黄C×178、B73×Mo17和郑58×Mo17株高的特殊配合力较差。黄C×Mo17和

B73×昌7-2叶面积的特殊配合力表现最好,郑58×178、444×Mo17和B73×178的特殊配合力也表现较好,B73×Mo17和黄C×178的特殊配合力最差。B73×昌7-2和黄C×178SOD的SOD特殊配合力较高,黄C×昌7-2和B73×178的特殊配合力最差。郑58×178、郑58×昌7-2、黄C×Mo17和444×Mo17的POD活性特殊配合力最好,郑58×Mo17和黄C×昌7-2的特殊配合力最差(表7)。

表6 亲本4个性状的一般配合力相对平均值
Table 6 Relative average of GCA of each parent line

亲本 Parent		株高 Plant height	叶面积 Leaf area	SOD	POD
父本	昌7-2	3.2	6.2	-0.2	8.6
	178	-5.9	-8.1	0.2	-0.7
	Mo17	2.8	1.9	0.1	-8.0
母本	郑58	-9.1	-22.7	0.6	-14.7
	黄C	-7.3	-4.4	4.6	12.6
	B73	10.7	9.0	-3.2	-4.3
	444	5.7	18.1	-2.1	6.4

表7 各组合4个性状SCA的相对平均值
Table 7 Relative average of SCA of each combination

品种 Variety	株高 Plant height	叶面积 Leaf area	SOD	POD
郑58×昌7-2	1.40	-5.6	-1.4	3.8
黄C×昌7-2	-0.95	-8.8	-4.5	-5.8
B73×昌7-2	2.30	20.0	4.4	2.0
444×昌7-2	-2.80	-5.6	1.5	0.1
郑58×178	10.00	12.2	1.1	5.1
黄C×178	-16.70	-14.9	3.1	2.4
B73×178	11.70	8.9	-3.8	-4.1
444×178	-4.90	-6.1	-0.3	-3.3
郑58×Mo17	-11.40	-6.6	0.3	-8.9
黄C×Mo17	17.70	23.7	1.4	3.4
B73×Mo17	-14.00	-28.9	-0.6	2.1
444×Mo17	7.70	11.7	-1.1	3.3

3 结论与讨论

盐碱胁迫是地球上生物进化期间所遭遇到的第一个化学胁迫因子。盐碱土面积约占陆地表面6%,全球气候变化和人为活动造成盐生生境的扩大化,对这类土地上植物特殊的适应机制以及围绕着提高盐生生态系统的生产力等内容开展研究,长期以来一直是植物生理生态研究的热点问题^[20-22]。筛选耐盐碱材料和培育耐盐碱品种是解决盐碱胁迫的一

个重要途径,特别是结合生理指标进行遗传分析十分必要。

本试验发现,盐碱条件下以玉米幼苗株高为指标各品种间差异显著,说明株高适合作为玉米耐盐碱性的评价鉴定指标,与杨书华^[23]和高树仁^[24]等研究结果一致。付艳等认为,以株高变化率作为评价指标,可以排除玉米不同基因型在正常生长条件下本身所存在的差异对盐胁迫试验结果的影响,更能客观地反映玉米品种间的苗期耐盐性差异。本研究

表明,用单个指标存在弊端,用株高以及株高的变化率这两个指标来评价玉米品种的耐盐碱性更为准确客观。本试验对玉米耐盐碱性的分类采用株高、叶面积、SOD、POD活性及他们的变化率这几个指标。

毛建昌等提出,盐碱胁迫使植物失水,叶面积变小等一系列变化是玉米的自我调节作用,并可根据叶片卷曲程度来判断植物耐盐碱性强弱^[25]。盐碱胁迫降低了玉米叶面积,若进一步准确判断玉米耐盐碱性强弱试验可以增加叶片卷曲度这一指标。SOD、POD是植物对膜脂过氧化的酶促防御体系中抵抗逆境伤害重要的抗氧化酶^[26]。前人研究表明,在盐胁迫下,玉米细胞内抗氧化系统与耐盐性密切相关,耐盐性强则SOD、POD等抗氧化酶活性高,清除损伤能力强,抗逆性强,能够保持较好长势^[27],SOD活性可以作为鉴定玉米耐盐性的生理指标^[28]。本试验盐碱条件下玉米幼苗启动防御机制,SOD和POD的活性升高,并且品种间差异显著,因此用SOD和POD活性作为评价玉米耐盐碱性的指标。

本试验在7个自交系中筛选出耐盐碱性较高的品种为郑58,对盐碱较敏感的品种为Mo17,5个中耐品种中黄C和178更耐些,昌7-2、444和B73偏敏感。杨书华^[29]等以69份玉米自交系的苗期耐盐碱性分析研究认为,178和B73为中耐品种,昌7-2和郑58为敏感品种,444和Mo17为高感品种。与本试验略有出入,因本试验所选品种较少以及耐盐碱性鉴定指标的不同以及耐盐碱的评价体系不同,杨书华采用耐盐碱系数法评价玉米耐盐碱性,本试验采用指标及其变化率对玉米耐盐碱性进行评价,因此导致对品种的耐盐碱性鉴定存在差异。根据这个标准将12个杂交种分为3类,分别为敏感型品种四单19;中耐品种444×178、444×昌7-2、B73×Mo17、黄C×Mo17、B73×昌7-2、B73×178和黄C×昌7-2;耐盐碱品种郑单958、郑58×178、郑58×Mo17和农大108。这个结果与自交系的划分较为一致,郑58最耐,以它为母本的3个组合都是耐盐碱的;Mo17为盐碱敏感,它作父本的四单19为敏感,其他组合中除了两个中耐组成的农大108超亲为耐盐碱外,其他组合均为中耐。

本研究表明,玉米耐盐碱性状的杂种优势与其耐盐碱之间并无直接的关系。本研究中444×Mo17的株高和叶面积杂种优势最高,但是缺少敏感品种,这与其亲本分别是中耐偏敏感和敏感有关。另外,B73×昌7-2的SOD、POD活性的杂种优势最高,但也不是耐盐碱品种,与其亲本也是中耐偏敏感有关。

在作物育种中,选准综合性状优良的亲本十分

重要。对亲本各农艺性状进行配合力与遗传效应分析,深入了解亲本各数量性状的遗传规律,对于正确选择亲本,尽早确定优良组合和提高育种效率都具有重要意义^[30]。关于植物耐盐性遗传研究结论并不一致,Sajjad Ali Rao等^[31]表明,玉米苗期耐盐性受加性基因和显性基因共同作用。前人^[32-34]研究认为,株高受加性效应为主。本研究发现,玉米幼苗除POD活性外,其余3个耐盐碱指标的特殊配合力方差均大于一般配合力方差,说明玉米耐盐碱性主要受非加性效应作用,且4个指标的广义遗传力均高于狭义遗传力,表明这些性状非加性遗传的作用较突出,这一结果与高树仁、崔美燕的研究结果相一致。本试验由于选取的亲本数较少,有可能导致一定的误差^[35]。

盐碱胁迫对玉米生长发育的影响极其复杂,涉及到一系列的生理生化反应,使玉米耐盐碱性的鉴定具有难度。为了提高鉴定的准确性,本研究利用几个著名的自交系和杂交种,尝试把玉米苗期的形态指标和生理指标相结合来综合评价玉米自交系和杂交种的耐盐碱性,研究结果可为玉米的耐盐碱性的进一步研究提供参考。

参考文献:

- [1] 贾庚祥,朱至清,李银心.甜菜碱与植物耐盐基因工程[J].植物学通报,2002,19(3):272-279.
Jia G X, Zhu Z Q, Li Y X. Betaine and plant salt tolerance gene engineering[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2002, 19(3): 272-279. (in Chinese)
- [2] Luna D F, Aguirre A. Nutrient deficiency and hypoxia as constraints to *Panicum coloratum* growth in alkaline soils[J]. Grass and Forage Science, 2017, 72(4): 640-653.
- [3] Li C J, Liu R. Growth and sustainability of *suaeda salsa* in the Lop Nur, China[J]. Journal of Arid Land, 2018, 10(3): 429-440.
- [4] Wu D, Han Y J. enhanced duckweed alkali tolerance by overexpression of serine: glyoxylate aminotransferase(ATAGT1)[J]. Pakistan Journal of Botany, 2017, 49(4): 1263-1268.
- [5] Zhu J K. Plant salt tolerance[J]. Trends in Plant Science, 2001(6): 835-840.
- [6] 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,2007,14(16):58-59.
Ding H R, Hong L Z, Wang M W, et al. Research progress on physiological mechanism of salt tolerance and improvement of saline alkali soil[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2007, 14(16): 58-59. (in Chinese)
- [7] 王遵亲.中国盐渍土[M].北京:科学出版社,1993.
- [8] 何婷.空间诱变大麦的耐盐性筛选及大田鉴定[J].中国农学通报,2009,25(23):105-107.
He T. Screening of salt tolerance in barley materials of space mutation and identification in fields[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(23): 105-107. (in Chinese)

- [9] 汪 斌. 水稻耐盐性和叶绿素含量的遗传分析[D]. 福建农林大学, 2002.
- [10] Yoshiro M. Mapping quantitative trait loci for salt tolerance at germination and the seedling stage in barley(*Hordeum vulgare* L.)[J]. *Euphytica*, 1997, 94(3): 263-272.
- [11] Takehisa H, Shimodate T, Fukuta Y, et al. Identification of quantitative trait loci for plant growth of rice in paddy field flooded with salt water[J]. *Field Crops Res.*, 2004, 89: 85-95.
- [12] 张春宵, 袁 英, 刘文国, 等. 玉米杂交种苗期耐盐碱筛选与大田鉴定的比较分析[J]. *玉米科学*, 2010, 18(5): 14-18.
Zhang C X, Yuan Y, Liu W G, et al. Comparative analysis between salt-alkali tolerance in seedling stage and production in the field of maize hybrid[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2010, 18(5): 14-18. (in Chinese)
- [13] 孙 浩, 张保望, 李宗新, 等. 夏玉米品种盐碱胁迫耐受能力评价[J]. *玉米科学*, 2016, 24(1): 81-87.
Sun H, Zhang B W, Li Z X, et al. Evaluation of salt and alkali tolerance of summer maize varieties[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2016, 24(1): 81-87. (in Chinese)
- [14] 王 萍, 焦 阵, 杨春桥, 等. NaCl 胁迫对玉米种子萌发与幼苗生长的影响[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(4): 1767-1768, 1868.
Wang P, Jiao Z, Yang C Q, et al. Effect of NaCl stress on seed germination and seedling growth of maize[J]. *Journal of Anhui Agri. Sci.*, 2010, 38(4): 1767-1768, 1868. (in Chinese)
- [15] 邹少奎, 殷贵鸿, 唐建卫. 黄淮主推小麦品种主要农艺性状配合力及遗传效应分析[J]. *麦类作物学报*, 2017, 37(6): 730-738.
Zou S K, Yin G H, Tang J W. Analysis of combining ability and genetic effect of main agronomic characters of Huang Huai main wheat varieties[J]. *Journal of Wheat Crop*, 2017, 37(6): 730-738. (in Chinese)
- [16] 袁克录, 李继强, 谢新学, 等. 6个新育玉米自交系配合力测定[J]. *分子植物育种*, 2016, 14(1): 216-222.
Yuan K L, Li J Q, Xie X X, et al. Combining ability measurement of six newly bred maize inbred lines[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2016, 14(1): 216-222. (in Chinese)
- [17] 王 欢, 张春宵, 李淑芳, 等. 玉米杂交种四单 19 及其双亲耐盐碱性差异分析[J]. *玉米科学*, 2018, 2(13): 1-7.
Wang H, Zhang C X, Li S F, et al. Analysis of salt and alkaline tolerance differences between maize hybrid sidan19 and its parents [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2018, 2(13): 1-7. (in Chinese)
- [18] 付 艳, 高树仁. 玉米种质苗期耐盐性的评价[J]. *玉米科学*, 2009, 17(1): 36-39.
Fu Y, Gao S R. Evaluation of salt tolerance in maize germplasm at seedling stage[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2009, 17(1): 36-39. (in Chinese)
- [19] 郝再彬, 苍 晶, 徐 仲. 植物生理实验技术[M]. 哈尔滨出版社, 2002.
- [20] Li L H, Chen Z Z. Changes in soil carbon storate due to over-grazing in *Leymus chinensis* steppe in the Xilin River Basin of Inner Mongolia[J]. *Journal of Environ Mental Sciences*, 1997, 9(4): 486-490.
- [21] Kuhbauch W, Thom E U. Nonstructural carbohydrates of wheat stems as influenced by sink-source manipulation[J]. *Plant Pltysiol*, 1989, 134: 243-250.
- [22] 颜 宏, 赵 伟, 秦峰梅, 等. 盐碱胁迫对碱地肤、地肤种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *东北师大学报(自然科学版)*, 2006, 38(4): 100-105.
Yan H, Zhao W, Qin F M, et al. Effect of saline alkali stress on *ks-coparia* and *kochia* seed germination and seedling growth[J]. *Journal of Northeastern Normal University: Natural Science Edition*, 2006, 38(4): 100-105. (in Chinese)
- [23] 杨书华, 张春宵, 朴明鑫, 等. 大田苗期耐盐碱鉴定指标筛选及玉米自交系盐碱耐性分析[J]. *种子*, 2012, 31(1): 9-13.
Yang S H, Zhang C X, Piao M X, et al. Identification of salt and alkali tolerance in seedling stage and salt tolerance analysis of maize inbred lines[J]. *Seed*, 2012, 31(1): 9-13. (in Chinese)
- [24] 高树仁, 崔美燕. 玉米苗期耐盐性的遗传分析[J]. *黑龙江八一农垦大学学报*, 2009, 2(6): 1-3.
Gao S R, Cui M Y. Genetic analysis of salt tolerance in maize at seedling stage[J]. *Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University*, 2009, 21(6): 1-3. (in Chinese)
- [25] 毛建昌, 李向拓, 李发民, 等. 玉米苗期抗旱性评价方法研究[C]. 2004年全国玉米种质扩增、改良、创新与分子育种学术会议论文集, 2004.
- [26] 于康珂. 高温胁迫对不同热敏型玉米品种雌雄穗生理特性的影响[J]. *玉米科学*, 2017, 25(4): 84-91.
Yu K K. Effects of high temperature stress on the physiological characteristics of male and female ears of different thermal sensitive maize varieties[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2017, 25(4): 84-91. (in Chinese)
- [27] Dolores B. Reductions in maize root-tip elongation by salt and osmotic stress do not correlate with apoplastic[J]. *Ann Bot*, 2008, 102(4): 551-559.
- [28] 张 毅. NaCl 胁迫对玉米幼苗几项生理指标的影响[J]. *吉林农业科学*, 2012, 37(1): 12-14.
Zhang T. Effects of NaCl stress on several physiological indexes of maize seedlings[J]. *Jilin Agricultural Science*, 2012, 37(1): 12-14. (in Chinese)
- [29] 杨书华, 张春宵. 69份玉米自交系的苗期耐盐碱性分析[J]. *种子*, 2011, 30(3): 1-6.
Yang S H, Zhang C X. Salt tolerance analysis of 69 maize inbred lines at seedling stage[J]. *Seed*, 2011, 30(3): 1-6. (in Chinese)
- [30] 孙东升, 刘成启. 7个玉米自交系主要数量性状的配合力及遗传参数分析[J]. *江苏农业科学*, 2008(2): 40-42.
Sun D S, Liu C Q. Combining ability and genetic parameter analysis of quantitative characters of seven selfing lines in maize[J]. *Journal of Jiangsu Agricultural sciences*, 2008(2): 40-42. (in Chinese)
- [31] Rao S A. Genetic basis of variation for salt tolerance in maize(*Zea mays* L.)[J]. *Euphytica*, 1999, 108(3): 145-150. (in Chinese)
- [32] 欧俊梅, 李生荣, 杜小英, 等. 5个矮秆小麦品种(系)主要农艺性状的配合力和遗传力分析[J]. *绵阳经济技术高等专科学校学报*, 2000(2): 1-4.
Ou J M, Li S R, Du X Y, et al. Analysis on the combining ability and heritability of the main agronomic characters of 5 dwarf wheat varieties(lines) [J]. *Journal of Mianyang Economic and Technical College*, 2000(2): 1-4. (in Chinese)

- sphaeria turcica*[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2010, 25(6): 118-121. (in Chinese)
- [18] Hao Z M, Tong Y M, Han Y, et al. Molecular characterization of *StpkaC2* and expression patterns of both PKA-c isoforms during the invasive growth of *Setosphaeria turcica*[J]. Tropical Plant Pathology, 2015, 40(4): 244-250.
- [19] Zhang X C, Wang W D, Wang J S, et al. PPIase independent chaperone-like function of recombinant human Cyclophilin A during arginine kinase refolding[J]. Febs Letters, 2013, 587(6): 666-672.
- [20] Walsh C T, Zydowsky L D, Mckee F D. Cyclosporin A, the cyclophilin class of peptidylprolyl isomerases, and blockade of T cell signal transduction[J]. Journal of Biological Chemistry, 1992, 267(19): 13115-13118.
- [21] Liu J, Jr F J, Lane W S, et al. Calcineurin is a common target of cyclophilin-cyclosporin A and FKBP-FK506 complexes[J]. Cell, 1991, 66(4): 807-815.
- [22] Lee Y K, Hong C B, Suh Y, et al. A cDNA clone for cyclophilin from *Griffithsia japonica* and phylogenetic analysis of cyclophilins[J]. Molecules & Cells, 2002, 13(1): 12-20.

(责任编辑:朴红梅)

(上接第20页)

- Han Y T, Jiang L, Fan Y L, et al. Research progress on folate biofortification[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2009, 11(4): 23-28. (in Chinese)
- [17] 邵丽华,王莉,白文文,等.山西谷子资源叶酸含量分析及评价[J].中国农业科学,2014,47(7):1265-1272.
- Shao L H, Wang L, Bai W W, et al. Evaluation and analysis of folic acid content in millet from different ecological regions in Shanxi province[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(7): 1265-1272. (in Chinese)
- [18] 齐敏.菠菜品种间品质评价及其叶酸含量测定方法的研究[D].南京农业大学,2009.
- [19] 梁颖,张毅,李艺,等.烹饪及贮藏对八种常见叶菜中叶酸含量的影响[J].现代食品科技,2018(3):1-5.
- Liang Y, Zhang Y, Li Y, et al. Effects of cooking methods and storage on folates in leafy vegetables[J]. Modern Food Science and Technology, 2018(3): 1-5. (in Chinese)

(责任编辑:朴红梅)

(上接第28页)

- [33] 庞红喜,亢福仁,王成社,等.大穗型小麦主要农艺性状配合力分析[J].西北农业学报,2000,9(2):78-81.
- Pang H X, Kang F R, Wang C S, et al. Analysis on the combining ability of major agronomic characters of large spike wheat[J]. Northwest Agricultural Journal, 2000, 9(2): 78-81. (in Chinese)
- [34] 李伟,郑有良,兰秀锦,等.小麦新品种(系)配合力和遗传力分析[J].四川农业大学学报,2003,21(3):201-204.
- Li W, Zheng Y L, Lan X J, et al. Analysis of combining ability and heritability of new wheat varieties(lines)[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2003, 21(3): 201-204. (in Chinese)
- [35] 张向群.关于不完全双列杂交法估算配合力的研究[J].玉米科学,2002,10(增刊):10-13.
- Zhang X Q. A study on the estimation of the combining ability of incomplete diallel hybridization[J]. Journal of Maize Sciences, 2002, 10(S): 10-13. (in Chinese)

(责任编辑:朴红梅)