

不同夏玉米品种耐盐性综合评价与耐盐品种筛选

高英波, 张 慧, 薛艳芳, 匡 朴, 钱 欣, 代红翠,
李源方, 王 竹, 韩小伟, 李宗新

(山东省农业科学院玉米研究所/小麦玉米国家工程实验室/农业部黄淮海北部玉米生物学与遗传育种重点实验室, 济南 250100)

摘 要: 综合运用室内水培耐盐萌发测试与田间原位耐盐性鉴定, 以黄淮海夏玉米区 30 个主推玉米品种发芽率、发芽势、胚芽长和胚芽重的相对值及盐碱地条件下产量表现作为耐盐性评价依据, 采用加权隶属函数法和聚类分析对不同玉米品种耐盐性进行综合评价。结果表明, NaCl 浓度 ≥ 160 mmol/L 时, 不同玉米品种萌发均受到显著抑制, 萌发期盐胁迫指标敏感程度表现为相对发芽势 $>$ 相对胚芽长 $>$ 相对胚芽重 $>$ 相对发芽率; 子粒产量、发芽率、穗数和胚芽重与玉米品种耐盐性最为密切。根据加权隶属函数值和系统聚类分析, 可将 30 个玉米品种分为耐盐性不同的 4 个类群, 其中强耐盐品种 4 个、中等耐盐品种 9 个、盐敏感型 9 个、盐极敏感型 8 个。160 mmol/L NaCl 可作为玉米萌发期耐盐性鉴定的适宜盐浓度, 子粒产量、发芽率、穗数和胚芽重可用于玉米品种耐盐鉴定的主要指标。邦玉 339、鲁单 818、登海 605 和青农 105 可用于盐碱地玉米栽培。

关键词: 夏玉米; 萌发期; 产量; 耐盐性; 聚类分析

中图分类号: S513.037

文献标识码: A

Comprehensive Evaluation of Salt Tolerance and Screening for Salt Tolerance Accessions of Different Summer Maize Varieties

GAO Ying-bo, ZHANG Hui, XUE Yan-fang, KUANG Pu, QIAN Xin, DAI Hong-cui,

LI Yuan-fang, WANG Zhu, HAN Xiao-wei, LI Zong-xin

(Maize Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences/National Engineering Laboratory of Wheat and Maize/Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Maize in Northern Yellow-huai River Plain, Ministry of Agriculture, P.R. China, Jinan 250100, China)

Abstract: The salt tolerant ability of 30 popularized maize varieties was evaluated by conducting a field experiment, combined with germination test using solution culture. Comprehensive evaluation was based on germination rate, germination potential, shoot length, shoot weight, and its grain yield in field condition. The results showed that the germination of the maize was inhibited when the concentration of NaCl was over 160 mmol/L. The sensitive degree of these indicators for evaluating salt tolerant ability was in the order of RGP $>$ RSL $>$ RSW $>$ RGR. Grain yield, germination percentage, plants per unit, and shoot weight were closely related to salt tolerant ability of the varieties. With the weight membership function method and cluster analysis, these 30 maize varieties can be divided into four groups: high salt-tolerant maize, salt tolerant varieties, salt-sensitive varieties, high salt-sensitive varieties. Thus, 160 mmol/L could be regarded as the suitable concentration for salt tolerant evaluation, and the grain yield, germination percentage, plant per unit and shoot weight could be as the indicator for salt tolerant detection. Bangyu339, Ludan818, Denghai605, and Qingnong105 were four salt tolerant varieties, which could be used for the saline-alkali soil.

Key words: Summer maize; Germination stage; Yield; Salt tolerance; Cluster analysis

录用日期: 2019-04-11

基金项目: 山东省重点研发计划项目(2017CXGC0307, 2016GGC02003)、山东省现代农业产业技术体系创新团队项目(SDAIT-02-07)

作者简介: 高英波(1986-), 博士, 主要从事玉米栽培生理研究。Tel: 15288851318 E-mail: yingboandy@163.com

李宗新为本文通讯作者。E-mail: sdauciff@sina.com

土壤盐碱化是一个世界性的资源和生态问题,是农业生产主要的非生物胁迫因子之一。我国有盐碱地面积为 $3.6\times 10^7\text{ hm}^2$,其中,具有农业利用潜力的盐渍土面积约 $1.3\times 10^7\text{ hm}^2$,约占总耕地面积的10%^[1-3],是我国中低产田利用的主要对象。山东省共有盐碱地 $5.93\times 10^5\text{ hm}^2$,约有 $5.81\times 10^5\text{ hm}^2$ 的盐碱耕地和盐碱荒地需要持续进行改良和利用^[4]。玉米是对土壤盐渍化中度敏感的作物。近年来,在轻度盐碱地上玉米种植面积呈明显增长趋势,但玉米单产水平一直偏低,仅为山东玉米单产的70%左右,且不同区域、不同地块间单产水平参差不齐。缺乏耐盐碱的高产玉米品种,制约盐碱地玉米单产水平的均衡提高^[5-7]。在加强盐碱地土壤改良的同时,挖掘作物本身的耐盐能力,筛选耐盐品种是加快利用盐碱土壤最为经济有效的途径^[8-10]。因此,开展玉米品种的耐盐性综合评价和耐盐品种筛选,对于盐碱地高产栽培及抗性品种选育具有重要意义。

前人研究表明,种子萌发期是作物对盐分最敏感的时期^[11-13],苗期对盐分中度敏感^[14,15],耐盐能力较低。萌发期和苗期耐盐性是后期耐盐生长的基础,保证出苗质量是实现玉米高产稳产的关键^[16,17]。国内外研究学者针对不同玉米品种耐盐性鉴定与评价都集中在玉米萌发期和苗期^[18-21],鉴定时间短,且结合田间产量表现评价玉米耐盐性的研究相对较少,不能综合评价玉米整个生育期的耐盐差异。要实现盐碱地土壤的有效利用和玉米高产稳产,选用品种应同时具有较好的萌发特性和田间产量表现。鉴于此,本研究对30个玉米品种在不同浓度NaCl溶液胁迫下萌发期性状和盐碱地原位种植条件下产量表现两类指标综合评价和分析,以明确玉米耐盐性鉴定的适宜浓度和主要评价指标,并筛选耐盐品种,为玉米品种耐盐性综合评价、耐盐品种选育和应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

室内水培实验于2015年5~6月在山东省农业科学院小麦玉米国家工程实验室进行。大田鉴定试验于2015年5月至2016年10月在山东省农业科学院黄河三角洲汇邦博士科研工作站进行。试验地土壤含盐量2.49‰,0~40 cm土层基础养分状况为有机质含量18.4 g/kg、全氮1.1 g/kg、速效氮24.8 mg/kg、速效磷10.1 mg/kg、速效钾168.5 mg/kg,pH值为8.0。

1.2 试验设计

供试材料:选用黄淮海夏玉米区30个主推玉米

品种(表1)。

室内种子萌发耐盐实验:精选不同玉米品种种子200粒,先用0.1%~0.2% HgCl₂溶液浸泡8~10 min,然后用蒸馏水冲洗3~5次。设置7个NaCl溶液浓度水平处理:0(CK)、80、120、160、200、240、280 mmol/L,每处理重复4次。将50粒种子均匀摆放在底部覆有纱布的水平盘(水平盘和纱布均经过70%的酒精消毒)内,分别用不同浓度的NaCl溶液培养(以溶液浸没过种子1/3为标准),每天定时定量添加一定质量的蒸馏水,保持种子发芽所必需的水分。置于20℃~25℃温度条件下培养,暗光发芽。

田间原位鉴定试验:采用完全随机设计,小区长15 m,行距65 cm,每个品种种植12行,种植密度为60 000株/hm²,重复3次。前茬小麦秸秆覆盖还田,免耕机械播种,施氮240 kg/hm²,P₂O₅ 60 kg/hm²,K₂O 180 kg/hm²。其他栽培管理按普通大田高产要求进行。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 发芽势测定

处理的第4天以胚根突破种皮2 mm为标准统计发芽数,计算各品种的发芽势。发芽势=规定日数内发芽种子数量/检测种子总数×100%。

1.3.2 发芽率测定

处理的第7天以胚根突破种皮2 mm为标准统计发芽数,计算各品种的发芽率。发芽率=发芽终期全部正常发芽的种子数量/检测种子总数×100%。

1.3.3 胚芽长和胚芽重的测定

处理第7天测量各品种的胚芽长及胚芽重,每个处理取长势均匀的10株分别进行测量,低于10株的全部测量并记录。

1.3.4 盐害指数

盐害指数=(对照发芽率-胁迫下发芽率)/对照发芽率×100%。

1.3.5 变异系数(CV)

变异系数CV=(标准偏差SD/平均值Mean)×100%。

1.3.6 田间产量测定

去除边行,每小区收获玉米4行(每行5 m),称所有果穗总鲜重,按平均鲜穗重从所收果穗中随机选取20穗,室内考种,考察穗粗、穗长、秃尖长、穗行数、行粒数和千粒重,同时测定子粒含水率,计算实际产量(按14%折算含水率)。

1.3.7 耐盐性综合评价

所有数据采用均值处理,为减少各品种间固有差异,统计时依据公式(鉴定指标相对值=胁迫下指标值/对照指标值)计算相对发芽势(RGR)、相对发芽

率(RGP)、相对胚芽长(RSL)和相对胚芽重(RSW)。以供试品种各鉴定指标为依据,耐盐性评价应用模糊数学中的加权隶属函数法对30个玉米品种进行综合评价,并根据加权隶属函数值(D值)进行系统聚类分析。计算公式^[22]如下:

$\mu(X_{ij})=(X_{ij}-X_{jmin})/(X_{jmax}-X_{jmin})$,如(指标与评价性质)为负相关,则用反隶属函数进行转换,计算公式为:

$$\mu(X_{ij})=1-(X_{ij}-X_{jmin})/(X_{jmax}-X_{jmin})$$

(1)

$$W_j=CV_j/\sum_i CV_j$$

(2)

$$D=\sum_i[\mu(X_{ij})W_j]$$

(3)

式中, X_{ij} 中为各*i*材料基于鉴定指标*j*的隶属值; X_{jmax} 、 X_{jmin} 分别为供试材料中指标最大值和最小值; X_{ij} 表示为*i*种类*j*指标的测定值,为各供试材料 $\mu(X_{ij})$ 的变异系数; W_j 表示 CV_j 在总变异中所占比率;D表示玉米品种耐盐性综合评价值。

1.4 数据分析

数据采用 Microsoft Excel 2010 录入,SPSS 18.0 进行数据统计分析,Sigmaplot 12.5 作图。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫下不同玉米品种种子萌发特性

表1 盐胁迫下不同玉米品种种子萌发特性的影响
Table 1 The effect of salt stress on the seed germination for different maize varieties

品 种	相对发芽率	变异系数(%)	相对发芽势	变异系数(%)	相对胚芽长	变异系数(%)	相对胚芽重	变异系数(%)
Variety	RGR	CV	RGP	CV	RSL	CV	RSW	CV
青农 105	0.73	30.41	0.67	57.49	0.42	45.22	0.39	55.42
天泰 58	0.71	37.38	0.43	75.49	0.44	36.33	0.44	57.86
鲁单 818	0.70	32.04	0.63	45.32	0.37	49.99	0.50	47.80
天泰 55	0.68	37.77	0.53	71.88	0.44	35.62	0.42	58.68
屯玉 808	0.67	37.94	0.42	78.71	0.59	32.95	0.40	53.95
东玉 3 号	0.67	43.27	0.39	73.24	0.37	33.38	0.45	44.49
登海 605	0.66	42.04	0.50	69.97	0.45	51.26	0.44	48.45
齐单 1 号	0.65	42.02	0.42	75.22	0.49	42.83	0.47	44.25
邦玉 339	0.65	43.12	0.47	71.11	0.51	30.98	0.43	49.71
鲁单 981	0.64	44.97	0.34	93.02	0.40	35.85	0.42	31.64
登海 6702	0.63	48.32	0.49	85.22	0.34	51.15	0.40	48.38
鲁单 1108	0.62	40.91	0.42	70.92	0.59	32.69	0.36	56.93
连胜 188	0.62	42.80	0.35	68.41	0.37	36.66	0.41	59.32
郑单 958	0.61	40.62	0.47	80.90	0.52	35.14	0.41	49.57
鲁单 9088	0.61	41.76	0.29	72.20	0.48	35.82	0.42	59.54
济玉 1 号	0.61	47.45	0.59	62.71	0.39	41.03	0.46	62.12
浚单 20	0.61	43.89	0.40	68.27	0.38	45.70	0.45	45.14
伟科 702	0.61	48.09	0.34	85.48	0.47	40.81	0.42	59.11
登海 3622	0.60	48.48	0.56	62.98	0.35	58.08	0.41	51.81
浚单 29	0.60	43.27	0.49	56.76	0.42	53.80	0.43	48.02
金海 5 号	0.60	40.54	0.35	84.37	0.38	54.66	0.44	53.08
中单 909	0.59	47.64	0.43	77.65	0.33	55.54	0.45	56.03
农大 108	0.58	47.72	0.37	74.17	0.48	45.15	0.36	62.36
农华 101	0.58	43.84	0.24	68.12	0.48	36.87	0.37	74.79
德利农 988	0.57	60.40	0.40	82.05	0.28	57.84	0.37	54.81
鲁单 9066	0.57	50.26	0.42	75.29	0.51	40.82	0.45	65.87
连胜 15	0.55	57.61	0.40	76.51	0.42	55.30	0.37	52.74
蠡玉 37	0.51	51.07	0.36	73.69	0.37	51.64	0.36	58.06
先玉 335	0.49	68.93	0.34	80.52	0.28	41.20	0.39	68.61
天泰 33	0.49	66.28	0.31	85.89	0.34	53.24	0.32	64.76
最大值	0.73	68.93	0.67	93.02	0.59	58.08	0.5	74.79
最小值	0.49	30.41	0.24	45.32	0.28	30.98	0.32	31.64
平均值	0.61	45.69	0.43	73.45	0.42	43.92	0.41	54.78
标准差	0.06	8.64	0.10	9.90	0.08	8.64	0.04	8.55
CV(%)	9.60	18.92	23.08	13.48	18.93	19.68	9.66	15.61

由表1可见,与对照(CK)相比,盐胁迫下不同玉米品种玉米发芽势、发芽率、胚芽长和胚芽重均有不同程度下降。不同浓度盐胁迫下各品种相对胚芽重(RSW)和相对发芽势(RGP)的平均变异系数分别达73.45%和54.78%,平均RSW和RGP分别是CK的42.74%和41.24%;相对发芽率(RGR)和相对胚芽长(RSL)的平均变异系数分别达45.69%和43.92%,平均RGR和RSL是CK的61.39%和42.13%。不同品种玉米发芽势、发芽率、胚芽长和胚芽重对盐胁迫的敏感程度也存一定差异,变异系数的变化范围在9.60%~23.08%,变异系数越大表明指标对盐胁迫越敏感,测定指标对盐胁迫敏感程度表现为RGP>RSL>RSW>RGR。

不同玉米品种在基于4个鉴定指标上都有不同表现,在RGR、RGP、RSL和RSW平均值以上的品种分别有13、10、12、16个;RGR较大的品种是青农105和天泰58,RGP较大的是青农105和鲁单818,RSL

较大的是屯玉808和鲁单1108,RSW较大的是鲁单818和齐单1号。分别以4个鉴定指标为依据的品种耐盐性排序不一致,表明评价品种耐盐性需要综合考察这些指标。

2.2 盐胁迫条件下不同玉米品种的盐害指数

由表2可见,30个玉米品种盐害指数随着NaCl溶液浓度升高呈增加趋势。NaCl浓度在80~120 mmol/L时,各品种平均盐害指数变化范围在6.65%~14.58%,变异系数变化范围为37.00%~79.72%,盐胁迫对不同品种盐害指数影响较小,且盐害指数变化幅度较大,不宜作为耐盐品种鉴选的适宜浓度。当NaCl浓度在160~280 mmol/L时,各品种平均盐害指数差异明显,变化范围在28.73%~77.64%,变异系数变化范围为10.88%~28.01%,160 mmol/L变异系数最大,表明在种质间的差异最大。综合上所述,160 mmol/L的NaCl溶液可作为评价玉米品种耐盐能力的适宜浓度(图1)。

表2 盐胁迫对不同玉米品种盐害指数的影响
Table 2 The effect of salt stress on the salt injury index for different maize varieties %

项 目 Item	NaCl(mmol/L)						平均值 Average
	80	120	160	200	240	280	
最大值	20.93	28.24	47.69	60.63	85.60	95.28	51.07
最小值	-1.54	4.65	13.57	30.77	44.36	55.40	27.22
平均值	6.65	14.58	28.73	43.80	60.25	77.64	38.61
标准差	5.30	5.39	8.05	8.92	9.03	8.45	5.86
CV(%)	79.72	37.00	28.01	20.36	14.98	10.88	15.18

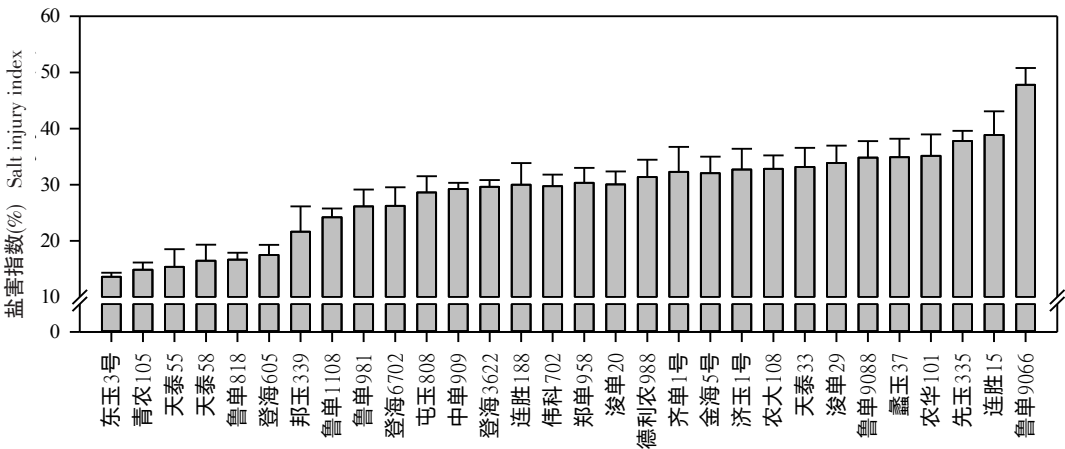


图1 160 mmol/L 盐胁迫条件下30个玉米品种盐害指数
Fig.1 Salt injury index of 30 different maize genotypes under 160 mmol/L salt stress

2.3 盐碱地种植条件下不同玉米品种穗部性状及产量

在大田条件下,30个玉米品种穗部性状、产量构成及子粒产量表现不同(表3)。穗数变化范围为

42 363~53438 穗/hm²,变异系数为5.65%;穗粒数变化范围为347.04~534.24,变异系数为8.04%;千粒重变化范围为230.97~334.57 g,变异系数为8.09%。子粒产量变化范围为4.67~8.83 t/hm²,平均值为

6.76 t/hm², 变异系数为 15.81%。其中, 产量表现在鲁单 818、浚单 29、鲁单 9088、郑单 958、齐单 1 号、前 10 的品种包括邦玉 339、登海 605、济玉 1 号、浚单 20 和青农 105(图 2)。

表3 30个玉米品种在盐碱地条件下穗部性状及产量构成情况
Table 3 Yield components and spike character of 30 summer maize accessions under saline land

项 目 Item	穗粗(cm) ED	穗长(cm) EL	秃尖长(cm) BTL	穗数(穗/hm ²) EN	穗粒数(粒) GPE	千粒重(g) TGW	子粒产量(kg/hm ²) Grain yield
最大值	4.73	18.27	1.77	53 438	534.24	334.57	8 830
最小值	3.95	11.94	0.10	42 363	347.04	230.97	4 670
平均值	4.32	15.17	0.68	49 137	460.79	302.29	6 760
标准差Std.	0.21	1.20	0.40	2 774	37.05	24.45	1 070
变异系数(%)CV	4.80	7.90	58.33	5.65	8.04	8.09	15 810

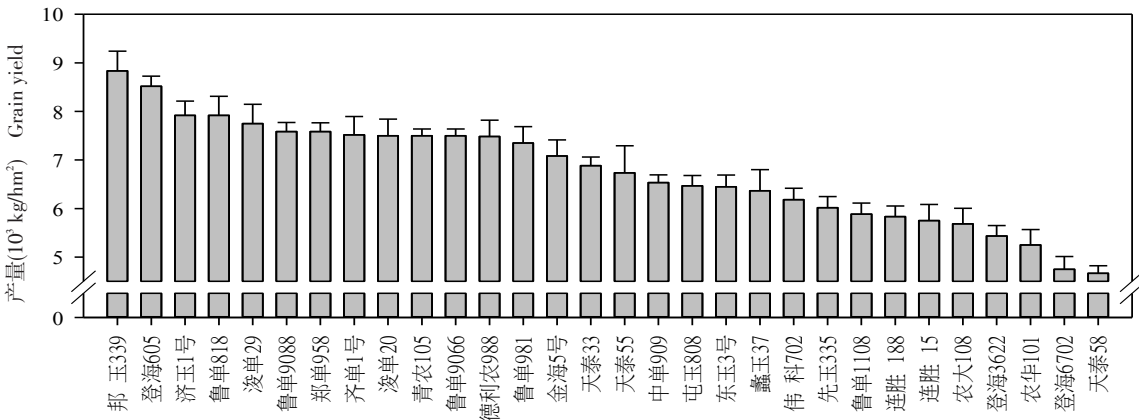


图2 盐碱地条件下30个品种玉米子粒产量
Fig.2 Grain yields of 30 different maize genotypes under saline land

2.4 盐胁迫下玉米品种各性状隶属函数值及与 D 值的相关性分析

利用加权隶属函数法计算得出 30 份玉米杂交种对 8 个耐盐系数的隶属函数值(表 4), 30 个杂交种

$\mu(\text{TGW})$ 平均值最大, $\mu(\text{RGP})$ 和 $\mu(\text{RSL})$ 较小; $\mu(\text{GPE})$ 和 $\mu(\text{TGW})$ 变异系数较小, 表明在种质间的差异最小; 各指标在权重方面表现为 $\text{RSL} > \text{RGP} > \text{GY} > \text{RGR} > \text{RSW} > \text{EN} > \text{TGW} > \text{GPE}$ 。

表4 30份玉米杂交种基于8个耐盐系数的隶属函数值
Table 4 Membership function values of 30 maize hybrid accessions based on four kinds of salt tolerant coefficient

项 目 Item	$\mu(\text{RGR})$	$\mu(\text{RGP})$	$\mu(\text{RSL})$	$\mu(\text{RSW})$	$\mu(\text{EN})$	$\mu(\text{GPE})$	$\mu(\text{TGW})$	$\mu(\text{GY})$
平均值	0.522 4	0.436 4	0.462 6	0.528 4	0.611 7	0.607 6	0.688 4	0.503 3
标准差Std.	0.245 7	0.228 9	0.253 8	0.219 2	0.250 5	0.197 9	0.236 0	0.256 6
变异系数(%)CV	47.040 0	52.460 0	54.860 0	41.490 0	40.950 0	32.570 0	34.290 0	50.980 0
权 重	0.132 6	0.147 9	0.154 7	0.117 0	0.115 5	0.091 8	0.096 7	0.143 7

由表 5 可见, 相对发芽率、相对发芽势和产量等 8 个指标隶属函数值间相关程度不同, 相对发芽势与穗数有显著相关关系。对不同耐盐鉴定指标的隶属函数值与 D 值进行相关分析表明, 各耐盐指标隶属函数值与 D 值均呈显著正相关关系。 $\mu(\text{GY})$ 、

$\mu(\text{RGR})$ 、 $\mu(\text{EN})$ 和 $\mu(\text{RSW})$ 与 D 值的相关系数较大, 表明子粒产量、发芽率、穗数和胚芽重与品种耐盐性关系最为密切, 分别为 0.780**、0.678**、0.656** 和 0.653**。

表 5 基于各指标的隶属函数值与D值的相关性分析

Table 5 Correlation analysis of the D value with membership function values based on identification indices

项 目 Item	$\mu(\text{RGR})$	$\mu(\text{RGP})$	$\mu(\text{RSL})$	$\mu(\text{RSW})$	$\mu(\text{EN})$	$\mu(\text{GPE})$	$\mu(\text{TGW})$	$\mu(\text{GY})$	D value
$\mu(\text{RGR})$	1								
$\mu(\text{RGP})$	0.566**	1							
$\mu(\text{RSL})$	0.358	-0.031	1						
$\mu(\text{RSW})$	0.566**	0.418*	0.010	1					
$\mu(\text{EN})$	0.347	0.441*	0.108	0.356	1				
$\mu(\text{GPE})$	0.071	0.316	0.098	0.184	0.339	1			
$\mu(\text{TGW})$	-0.035	-0.032	-0.016	0.300	0.082	0.239	1		
$\mu(\text{GY})$	0.185	0.307	0.107	0.404*	0.492**	0.791**	0.705**	1	
D value	0.678**	0.632**	0.407*	0.653**	0.656**	0.585**	0.418*	0.780**	1

注:*表示在0.05水平上显著;**表示在0.01水平上显著。

Note: * indicated significance at $P<0.05$, ** indicated significance at $P<0.01$.

2.5 不同玉米品种聚类分析与耐盐性综合评价

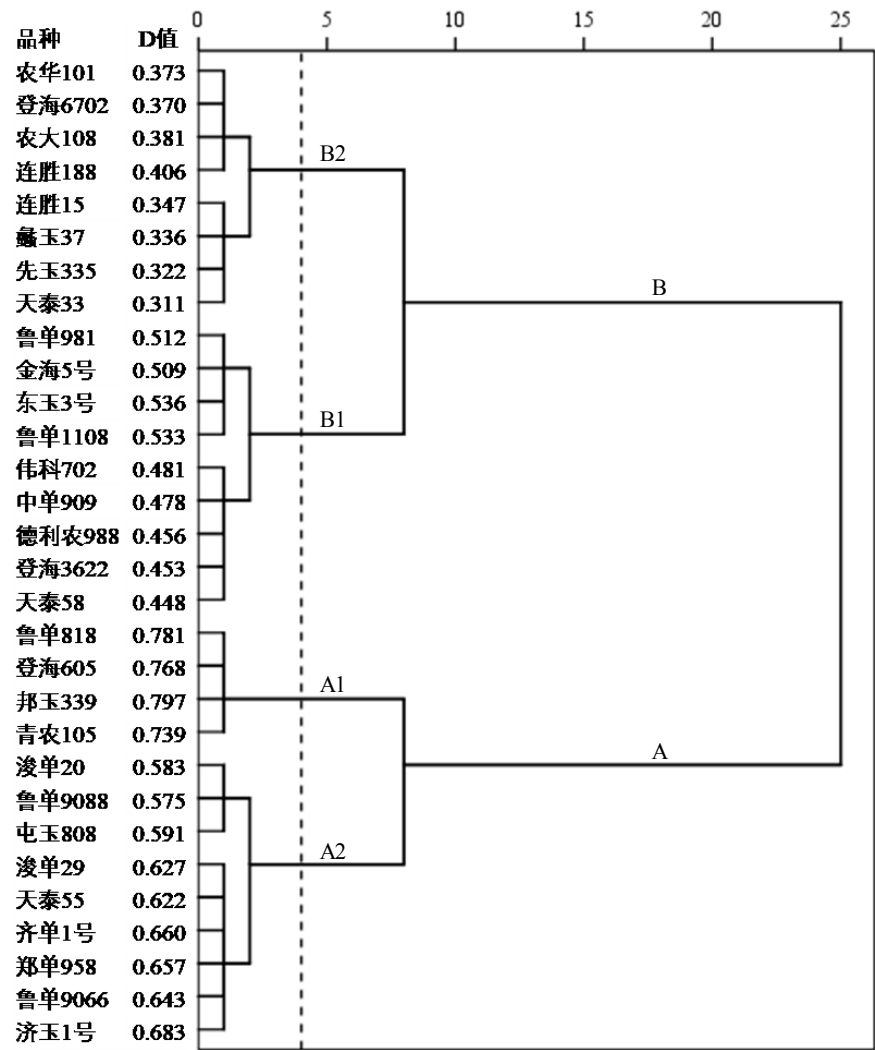


图 3 30个玉米品种的萌发期和大田条件下耐盐性综合评价聚类分析图

Fig.3 Clustering analysis diagram of 30 maize varieties on salt tolerance under germination period and saline land

综合玉米品种萌发期耐盐指标和大田条件下产量指标,采用D值对不同玉米品种耐盐性进行综合评价。根据系统聚类结果,将30个玉米品种分成4个类群(图3)。A1组属于强耐盐品种,包括邦玉339、鲁单818、登海605和青农105这4个玉米品种,D值变化范围在0.739~0.797,平均值为0.771;A2组属于中度耐盐品种,包括济玉1号、郑单958和天泰55等9个玉米品种,D值变化范围在0.575~0.683,平均值为0.627;B1组属于盐胁迫敏感品种,包括天泰58、登海3622等9个玉米品种,D值变化范围在0.448~0.536,平均值为0.489;B2组属于盐胁迫极敏感品种,包括天泰33、先玉335等8个玉米品种,D值变化范围在0.311~0.406,平均值为0.356。其中,A1组玉米品种耐盐性较强,适于盐碱地种植。

3 结论与讨论

大多数植物在种子萌发阶段对盐胁迫最敏感,盐胁迫会对种子萌发及幼苗生长产生严重的抑制作用^[23-25]。也有研究表明,出苗率与盐浓度无显著相关,不宜作为耐盐性筛选的定量指标^[26]。本研究表明,NaCl溶液浓度 ≥ 160 mmol/L时,不同玉米品种萌发均受到显著的抑制作用,各指标对盐胁迫敏感程度表现为发芽势>胚芽长>胚芽重>发芽率,160 mmol/L NaCl可作为玉米萌发期耐盐性鉴定的适宜盐浓度。

植物的耐盐性表现是一个复杂的过程,是由多基因控制、多种因素相互作用较为复杂的综合性状,选用多个指标比用单一指标更能全面反应作物耐盐性^[27]。玉米品种耐盐碱鉴定是有效利用盐碱地的重要手段,由于玉米品种耐盐性的复杂性,单独采用一种鉴定方法会具有一定的局限性,且玉米杂交种直接应用于大田生产,需综合考虑各种性状因素。本研究分别以RGR、RGP、RSL、RSW、盐害指数和田间产量表现为依据的耐盐性表现并不一致,表明单一指标或单一生育时期指标并不能对玉米的耐盐性进行全面有效的评价,进行综合评价是必要的。

加权隶属函数法在燕麦、花生、小麦等植物的耐盐性研究已经应用^[28,29],其优点是可将各指标无量纲化,并赋值给各项耐盐性指标权重,提高指标之间的可比性,可以更科学有效地通过综合评价D值来评价作物的耐盐性。本研究根据综合评价D值与萌发期和田间产量各指标耐盐系数的相关性可以看出,子粒产量和发芽率与D值相关性最高;穗数和胚芽重次之,表明子粒产量、发芽率、穗数和胚芽重可作为玉米耐盐性鉴定的主要指标。采用系统聚类分

析将供试玉米杂交种分为强耐盐品种、中等耐盐品种、盐敏感型和盐极敏感型4个等级,筛选出邦玉339、鲁单818、登海605和青农105共4个强耐盐品种。

产量指标是玉米品种耐盐性鉴定的最重要指标。本研究盐碱地2年原位试验筛选出4个产量较好品种。但在盐碱地条件下,产量较高的玉米品种可能部分来源于品种自身产量表现差异,部分来源于品种自身耐盐能力。本研究仅在2.5‰盐分条件下进行不同品种筛选,需要在同一生态区选择不同盐分含量的试验地块开展耐盐品种筛选试验,以低盐分含量地块田间产量作为对照,进一步研究高盐分含量条件下各品种产量差异以及相关耐盐指标,建立盐碱地玉米品种耐盐性评价指标体系。

参考文献:

- [1] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京:中国农业出版社, 1998.
- [2] 王佳丽,黄贤金,钟太洋,等. 盐碱地可持续利用研究综述[J]. 地理学报, 2011, 66(5): 673-684.
Wang J L, Huang X J, Zhong T Y, et al. Review on sustainable utilization of salt-affected land[J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(5): 673-684. (in Chinese)
- [3] 张会慧,张秀丽,李鑫,等. NaCl和Na₂CO₃胁迫对桑树幼苗生长和光合特性的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(3): 625-631.
Zhang H H, Zhang X L, Li X, et al. Effects of NaCl and Na₂CO₃ stresses on the growth and photosynthesis characteristics of Morus alba seedlings[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(3): 625-631. (in Chinese)
- [4] 董红云,朱振林,李新华,等. 山东省盐碱地分布、改良利用现状与治理成效潜力分析[J]. 山东农业科学, 2017(5): 140-145.
Dong H Y, Zhu Z L, Li X H, et al. Analysis on distribution, utilization status and governance effect of Saline-Alkali soil in Shandong province[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2017(5): 140-145. (in Chinese)
- [5] 彭云玲,赵小强,闫慧萍,等. 外源K⁺、Ca²⁺和Mg²⁺对3个玉米自交系萌发期和幼苗期耐盐性的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(4): 253-259.
Peng Y L, Zhao X Q, Yan H P, et al. Effects of exogenous K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ on salt tolerance of three different maize inbred lines at germination and seedling stage[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29(4): 253-259. (in Chinese)
- [6] 肖万欣,赵海岩,刘晶,等. 不同玉米杂交种耐盐碱性鉴定[J]. 玉米科学, 2011, 19(6): 14-19.
Xiao W X, Zhao H Y, Liu J, et al. Saline-alkali tolerance identification of different maize hybrids[J]. Journal of Maize Sciences, 2011, 19(6): 14-19. (in Chinese)
- [7] 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. Different tolerance ability of maize varieties to saline-alkali soil conditions[J]. Journal of Maize Sciences, 2016, 24(1): 81-87. (in Chinese)

- [8] 贾丹莉,郭军玲,王永亮,等.盐胁迫下不同玉米品种耐盐性筛选[J].山西农业科学,2016,44(8):1083-1086.
Jia D L, Guo J L, Wang Y L, et al. Screening of salt tolerance of different maize varieties under salt stress[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2016, 44(8): 1083-1086. (in Chinese)
- [9] 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 Research, 2004, 89(1): 85-95.
- [10] Epstein E, Rains D W. Advances in salt tolerance//Genetic aspects of plant mineral nutrition[M]. Springer Netherlands, 1987.
- [11] 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. (in Chinese)
- [12] Elsey-Quirk T, Middleton B A, Proffitt C E. Seed flotation and germination of salt marsh plants: the effects of stratification, salinity, and/or inundation regime[J]. Aquatic Botany, 2009, 91(1): 40-46.
- [13] Del Amor F M, Martinez V, Cerda A. Salt tolerance of tomato plants as affected by stage of plant development[J]. HortScience, 2001, 36(7): 1260-1263.
- [14] Farooq M, Hussain M, Wakeel A, et al. Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. A review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2015, 35(2): 461-481.
- [15] 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)
- [16] 朱金城,陶洪斌,高英波,等.底墒对夏玉米生长发育、水分利用及产量的影响[J].中国农业大学学报,2013,18(3):34-38.
Zhu J C, Tao H B, Gao Y B, et al. Effects of sowing irrigation on plant establishment, water consumption and yield of summer maize[J]. Journal of China Agricultural University, 2013, 18(3): 34-38. (in Chinese)
- [17] 高英波,陶洪斌,朱金城,等.麦茬高度对机播夏玉米苗期生长及水分利用的影响[J].中国农业科学,2015,48(19):3803-3810.
Gao Y B, Tao H B, Zhu J C, et al. Effects of wheat stubble height on growth and water use efficiency of mechanized sowing summer maize[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(19): 3803-3810. (in Chinese)
- [18] 张春宵,刘晓鑫,周波,等.吉林省26份主推玉米杂交种的苗期耐盐碱性分析[J].作物杂志,2010,629(1):66-69.
Zhang C X, Liu X X, Zhou B, et al. Analysis of Salt-alkali tolerance at seedling stage among twenty-six maize hybrids used predominantly in Jilin province[J]. Crops, 2010, 629(1): 66-69. (in Chinese)
- [19] 谷思玉,周连仁,王佳佳.不同品种玉米萌发期耐盐性的比较[J].中国农学通报,2011,27(33):34-39.
Gu S Y, Zhou L R, Wang J J. Relatives of salt tolerance of different kinds inbred lines of maize in embryoism[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(33): 34-39. (in Chinese)
- [20] Elsey-Quirk T, Middleton B A, Proffitt C E. Seed flotation and germination of salt marsh plants: the effects of stratification, salinity, and/or inundation regime[J]. Aquatic Botany, 2009, 91(1): 40-46.
- [21] Khodarahmpour Z. Screening maize(*Zea mays* L.) hybrids for salt stress tolerance at germination stage. African Journal of Biotechnology[J]. African Journal of Biotechnology, 2011, 10(71): 15959-15965.
- [22] 陈新,张宗文,吴斌.裸燕麦萌发期耐盐性综合评价与耐盐种质筛选[J].中国农业科学,2014,47(10):2038-2046.
Chen X, Zhang Z W, Wu B. Comprehensive evaluation of salt tolerance and screening for salt tolerant accessions of naked Oat(*Avena nuda* L.) at germination stage[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(10): 2038-2046. (in Chinese)
- [23] 张海艳,赵海军.不同品种玉米萌发期和苗期耐盐性综合评价[J].玉米科学,2016,24(5):61-67.
Zhang H Y, Zhao H J. Comprehensive evaluation of salt tolerance of different corn varieties at the germination and seedling stages[J]. Journal of Maize Sciences, 2016, 24(5): 61-67. (in Chinese)
- [24] Biber P D, Caldwell J D. Seed germination and seedling survival of *Spartina alterniflora* Loisel[J]. American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 2008, 3(3): 633-638.
- [25] 赵莹,杨克军,李佐同,等.外源糖浸种缓解盐胁迫下玉米种子萌发[J].应用生态学报,2015,26(9):2735-2742.
Zhao Y, Yang K J, Li Z T, et al. Alleviation of salt stress during maize seed germination by presoaking with exogenous sugar[J]. The Journal of Applied ecology, 2015, 26(9): 2735-2742. (in Chinese)
- [26] 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)自然科学版,2007,25(2):169-172,176.
Tang H, Liu X L, Luo Q Y. A Primary study on early stage screening system for maize salt tolerance[J]. Natural Science Journal of Hainan University, 2007, 25(2): 169-172, 176. (in Chinese)
- [27] Flowers T J. Improving crop salt tolerance[J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(396): 307-319.
- [28] 孙东雷,卞能飞,陈志德,等.花生萌发期耐盐性综合评价及耐盐种质筛选[J].植物遗传资源学报,2017(6):83-91.
Sun D L, Bian N F, Chen Z D, et al. Comprehensive evaluation of salt tolerance and screening for salt tolerance accessions of peanut at germination stage[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2017 (6): 83-91. (in Chinese)
- [29] 张巧凤,陈宗金,吴纪中,等.小麦种质芽期和苗期的耐盐性鉴定评价[J].植物遗传资源学报,2013,14(4):620-626.
Zhang Q F, Chen Z J, Wu J Z, et al. Screening for salinity tolerance at germination and seedling stages in wheat germplasm[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2013, 14(4): 620-626. (in Chinese)

(责任编辑:朴红梅)