

不同玉米品种萌发期及苗期的耐盐性研究

刘 鸿, 张富来, 田慧娟, 胡梦婷, 李瑞峰, 杨旭东, 张 丹

(塔里木大学农学院, 新疆 阿拉尔 843300)

摘 要:为筛选适宜盐碱地种植的耐盐玉米品种,以 41 个玉米品种为试验材料,采用 60、120、180 mmol/L NaCl 模拟盐胁迫环境,对 41 个玉米品种的萌发期与苗期的各项指标进行测定,利用加权隶属函数法和聚类分析法对供试玉米品种的耐盐性进行综合评价。结果表明,180 mmol/L NaCl 可作为玉米萌发期与苗期耐盐性鉴定的适宜盐浓度。苗干重、苗鲜重、根鲜重和根干重等 4 项指标与玉米品种的耐盐性最为密切,可作为玉米品种耐盐性鉴定的主要指标。根据加权隶属函数值与系统聚类分析,可将 41 个玉米品种分为高度耐盐、中度耐盐、耐盐、中度敏感和高度敏感等 5 个等级,其中高度耐盐品种有 6 个,分别为农富 99、五谷 568、宣何 8 号、郑单 958、西蒙 3358、新玉 81。

关键词: 玉米; 萌发期; 苗期; 耐盐性; 聚类分析

DOI: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2023.03.056

中图分类号: S 513 文献标志码: A 文章编号: 1001-4705(2023)03-0056-08

Study on Salt Tolerance of Different Maize Varieties at Germination and Seedling Stages

LIU Hong, ZHANG Fulai, TIAN Huijuan, HU Mengting, LI Ruifeng, YANG Xudong, ZHANG Dan

(College of Agronomy, Tarim University, Alar Xinjiang 843300, China)

Abstract: In order to screen out the salt-tolerant maize varieties suitable for planting in saline-alkali soil, 41 maize varieties were selected as experimental materials and NaCl of 60, 120, 180 mmol/L was used to simulate the salt stress environment, the indexes of germination and seedling stage of 41 maize varieties were determined. The salt tolerance of maize varieties was comprehensively evaluated by weighted membership function and cluster analysis. The results showed that 180 mmol/L NaCl could be used as a suitable salt concentration for the identification including salt tolerance of maize at germination and seedling stages. The four indexes including seedling dry weight, seedling fresh weight, root fresh weight and root dry weight were the most closely related to the salt tolerance of maize varieties, which could be main indexes for screening and identifying maize varieties with salt tolerance. According to the weighted membership function and systematic cluster analysis, 41 maize varieties could be divided into 5 grades: high salt tolerance, moderate salt tolerance, salt tolerance, moderate sensitivity and high sensitivity, among which there were 6 high salt-tolerant varieties, namely, Nongfu 99, Wugu 568, Xuanhe 8, Zhengdan 958, Simon 3358, Xinyu 81.

Key words: maize; germination stage; seedling stage; salt tolerance; cluster analysis

收稿日期: 2022-08-21

基金项目: 玉米转录共激活因子基因 *ZmGif2* 和 *ZmGif3* 的功能鉴定及调控机理解析(31760388)。

作者简介: 刘 鸿(1998—), 男(汉族), 甘肃张掖人; 在读硕士, 研究方向: 作物遗传育种(E-mail: 934883278@qq.com)。

通讯作者: 张 丹(1978—), 女(汉族), 黑龙江哈尔滨人; 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事玉米种质资源研究利用工作(E-mail: zdzkytd@163.com)。

土壤盐碱化已上升为全球问题,并受到国际学术界的特别关注^[1]。在各种逆境因素中,因盐、旱因素导致产量下降比其他所有因素加起来都要高。如何利用和改良盐碱地,从而提高粮食的产量,是一个有待解决的问题^[2]。玉米属于中度敏感的作物,其抗盐能力较弱。近几年,我国在轻度盐碱地区的玉米种植规模有显著增加,但目前我国的玉米产量普遍较低,缺少耐盐性较强的优质玉米品种,成为目前我国玉米产量最大的限制因素。在加强盐碱地土壤改良的基础上,通过挖掘玉米自身的耐盐性和筛选耐盐性较强玉米品种,是加速开发利用盐碱地最直接、最有效的方法^[3-5]。

研究表明,作物对盐分最为敏感的时期是萌发期^[6],苗期对盐分中度敏感,这两个时期对盐分的抗性相对较差^[7-9],适宜作为玉米耐盐性研究的主要时期。郝德荣等^[10]以10 d株高、地上鲜重、地下鲜重、地上干重、地下干重和存活率为鉴定指标,将157份玉米自交系划分为6个等级;于莹等^[11]研究表明,隶属函数均值是玉米耐盐性鉴定的重要指标之一,均值越高其耐盐性越强;赵小强等^[12]研究表明,发芽率、发芽势、胚芽长、胚根长等指标均能从不同角度反映种子萌发阶段的耐盐性;王秀华等^[13]研究表明,D值与各鉴定指

标耐盐系数的隶属函数值之间极显著正相关。国内学者在玉米生长早期的耐盐性方面已有大量研究,评价方法也有很多,如分级赋分、平均隶属函数等^[14-16]。但大多数是通过单一评价方法来进行筛选,所得结论比较片面,无法整体反映供试玉米品种的耐盐性。

因此,本研究采用60、120、180 mmol/L的NaCl溶液模拟不同的盐胁迫环境,选用发芽率、株高、茎粗、叶绿素、叶面积、苗鲜重、苗干重等12项鉴定指标,利用模糊隶属函数法,对41个玉米品种的耐盐性进行综合评价,从而确定耐盐性鉴定的适宜浓度及主要评价指标,并筛选耐盐性较强的玉米品种,研究结果可为盐碱地玉米栽培和耐盐育种提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

本试验选用目前生产上推广的41个玉米品种为材料,具体材料信息见表1。

1.2 试验方法

室内种子萌发试验于2022年4—5月在塔里木大学农学实验室进行,采用人工恒温培养箱进行试验,温度为25℃/15℃(昼/夜),湿度为75%。精选不同玉米品种种子360粒,先用7%次氯酸钠消毒5 min,再

表1 供试玉米材料

Table 1 Maize materials tested

编号	材料名称	材料来源	编号	材料名称	材料来源
1	宏兴 990	吉林省宏兴种业公司	22	郑单 958	河南省农科院粮作所
2	平安 1523	吉林省平安种业公司	23	恒宇 369	吉林恒宇种业有限公司
3	葫新 712	葫芦岛农业有限公司	24	翔禾 9918	昌图鼎晟农业有限公司
4	种星 618	内蒙古种星有限公司	25	兴农一号	仲衍种业股份有限公司
5	西蒙 6号	内蒙古西蒙有限公司	26	必祥 809	北京华农伟业种业公司
6	宏兴 528	吉林省宏兴种业公司	27	金丰捷 607	郑州丰捷种子有限公司
7	增玉 157	吉林省宏兴种业公司	28	吉农玉 309	吉林农业大学农学院
8	沃峰 188	山西沃达丰有限公司	29	新玉 81	新疆先锋伟业种业公司
9	豫禾 536	河南省豫玉种业公司	30	新玉 24	新疆新实良种有限公司
10	沃峰 9号	山西沃达丰有限公司	31	登海 3672	山东登海种业有限公司
11	农富 99	内蒙古中农有限公司	32	新玉 66	乌鲁木齐盛阳农业公司
12	宣何 8号	宣会农业有限公司	33	新农 008	内蒙古蓝海新农农业发展有限公司
13	西蒙 668	内蒙古西蒙有限公司	34	先玉 335	铁岭先锋种子有限公司
14	霖玉 1339	云南霖鹏农业有限公司	35	丰田 14	赤峰丰田科技种业公司
15	元源 1号	巍山稷源农业有限公司	36	富裕 109	仲衍种业股份有限公司
16	群策 888	四川群策种业有限公司	37	西蒙 3358	内蒙古西蒙有限公司
17	单宁 23号	宁夏锦育种业有限公司	38	吉兴 218	吉林兴农种业有限公司
18	优旗 909	吉林鸿翔种业有限公司	39	三盟 9599	昌图泽伟农业科学研究所
19	金艾 588	内蒙古金葵艾利特公司	40	西蒙 208	内蒙古西蒙有限公司
20	甘鑫 2818	甘肃省武威农业研究所	41	葫新 338	葫芦岛农业有限公司
21	五谷 568	甘肃五谷种业有限公司			

用蒸馏水冲洗 3~5 次。试验设置 4 个浓度梯度 NaCl 溶液:0(ck)、60、120、180 mmol/L,每个处理重复 3 次。培养皿经过 70%的酒精消毒后铺上 2 层滤纸,将 30 粒种子均匀摆放在培养皿中。分别加入 0、60、120、180 mmol/L 等 4 个浓度的 NaCl 溶液进行培养,每个培养皿中的溶液均要没过种子的 1/3。每天 10:00 时在培养皿中添加不同浓度的 NaCl 溶液,以保证种子所受的盐浓度一致。处理第 4 天测定发芽势,第 7 天测定发芽率、发芽指数。

室外盆栽耐盐试验于 2022 年 5—6 月在塔里木大学农学试验站进行,选用上口口径 25 cm、下口径 18 cm、高 15 cm 的塑料盆,盆底放置盆垫,装入 4.5 kg 细沙土。精选不同品种玉米种子各 120 粒,先用 7%次氯酸钠消毒 5 min,再用蒸馏水冲洗 3~5 次,每盆播 10 粒种子,深度控制在 3 cm 左右,常规田间管理方式管理。待幼苗长至 3 叶 1 心时在含 1/4 浓度 Hoagland 营养液中加入浓度分别为 0(ck)、60、120、180 mmol/L 的 NaCl 溶液,每个处理重复 3 次。每天定时定量添加不同浓度的 NaCl 溶液,以保证幼苗生长所需要的水分。处理 7 d 后测定株高、茎粗、叶绿素、叶面积、含水量、苗鲜重、苗干重、根鲜重和根干重。

1.3 耐盐性综合评价

以 41 个玉米品种各鉴定指标的耐盐系数为依据,利用模糊数学中的加权隶属函数法对 41 个玉米品种进行综合评价,并根据加权隶属函数值(D 值)对 41 个玉米品种萌发期与苗期的耐盐性进行聚类分析。

耐盐系数 = 盐胁迫指标平均值 / 对照指标平均值;

变异系数 / % = (标准偏差 / 平均值) × 100 %;

$$\mu(X_i) = (X_i - X_{i\min}) / (X_{i\max} - X_{i\min}),$$

式中, X_i 为各供试材料基于鉴定指标 i 的耐盐系数, $X_{i\max}$ 、 $X_{i\min}$ 分别为供试材料中 X_i 的最大值和最小值, $\mu(X_i)$ 为各供试材料 X_i 的隶属函数值。

$$W_i = CV_i / \sum_{i=1}^n CV_i, i=1, 2, 3, \dots, n,$$

式中, CV_i 为各供试材料 $\mu(X_i)$ 的变异系数, W_i 表示 CV_i 在总变异中所占比率。

$$D = \sum_{i=1}^n [\mu(X_i) \cdot W_i], i=1, 2, 3, \dots, n,$$

式中, D 为加权隶属函数值, $\mu(X_i)$ 为各供试材料 X_i 的隶属函数值, W_i 为各鉴定指标的权重。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 软件处理数据,SPSS 软件进行方差和相关分析,DPS 软件进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对 41 个玉米品种萌发期及苗期生长指标的影响

由表 2 可知,与对照相比,60 mmol/L NaCl 胁迫时,41 个玉米品种发芽势、发芽率、发芽指数、株高、茎粗、叶绿素、叶面积、苗鲜重、苗干重、根鲜重、根干重、含水量的平均值分别减少了 9.86%、10.76%、24.81%、0.36%、0.01%、0.25%、4.61%、0.11%、0.12%、0.06%、0.04%、0.74%;与对照相比,120 mmol/L NaCl 胁迫时,以上 12 个指标的平均值分别减少了 18.32%、19.90%、46.38%、1.16%、0.12%、0.87%、12.64%、2.19%、0.72%、0.36%、0.26%、3.68%;与对照相比,180 mmol/L NaCl 胁迫时,以上 12 个指标的平均值分别减少了 29.07%、30.57%、70.70%、3.67%、0.15%、1.75%、15.94%、3.14%、0.95%、0.39%、0.27%、3.99%。说明 60 mmol/L、120 mmol/L、180 mmol/L 的 NaCl 处理对玉米萌发期与苗期的生长指标均有抑制作用。综合各项鉴定指标,发现发芽指数受抑制程度最大,茎粗受抑制程度最小,苗鲜重和苗干重的受抑制程度比根鲜重和根干重的受抑制程度大。

方差分析结果(表 3)表明,除了品种间的茎粗外,其余指标在品种间和处理间都存在极显著差异。说明 60 mmol/L、120 mmol/L 和 180 mmol/L NaCl 可以有效鉴定出不同玉米品种的耐盐性。

2.2 盐胁迫下 41 个玉米品种萌发期及苗期的耐盐性差异

由表 4 可知,在 60 mmol/L NaCl 处理下,发芽势、发芽率、发芽指数、株高、茎粗、叶绿素、叶面积、苗鲜重、苗干重、根鲜重、根干重、含水量的耐盐系数在平均值以上的分别有 21 个、23 个、24 个、19 个、19 个、17 个、18 个、14 个、15 个、11 个、13 个、18 个;在 120 mmol/L NaCl 处理下,各个指标的耐盐系数在平均值以上的分别有 21 个、22 个、19 个、19 个、19 个、18 个、17 个、14 个、13 个、14 个、19 个;在 180 mmol/L NaCl 处理下,各个指标的耐盐系数在平均值以上的分别有 16 个、17 个、16 个、20 个、17 个、18 个、18 个、16 个、13 个、16 个、17 个、19 个。同时,根据各指标的耐盐系数,其供试品种(表 5)的耐盐程度顺序也不一样,说明单个指标的耐盐系数并不能整体地评价不同品种的耐盐性,必须对其进行全面、准确地评价。

2.3 盐胁迫下 41 个玉米品种各指标隶属函数值与 D 值的相关性分析

根据各鉴定指标的耐盐系数,利用加权隶属函数法,得到 41 个玉米品种各鉴定指标耐盐系数的隶属函

表 2 41 个玉米品种在盐胁迫和正常条件下萌发期和幼苗期的生长情况
Table 2 Growth of 41 maize varieties at germination and seedling stage under salt stress and normal conditions

NaCl 浓度/ (mmol/L)	指标	鉴定指标											
		发芽势/%	发芽率/%	发芽指数	株高/cm	茎粗/cm	叶绿素 SPAD 值	叶面积/cm ²	苗鲜重/g	苗干重/g	根鲜重/g	根干重/g	含水量/%
ck (蒸馏水)	平均值±标准差	58.64±19.94	74.53±20.78	144.45±45.71	15.48±3.57	3.21±0.56	39.56±3.42	56.41±27.92	12.71±6.75	2.64±1.56	1.08±0.83	0.77±0.48	79.39±6.14
	变异系数/%	34.00	27.88	31.64	23.06	17.45	8.65	49.49	53.08	59.09	76.53	61.36	7.73
60	平均值±标准差	48.78±21.32	63.77±23.70	119.64±49.60	15.12±3.22	3.20±0.40	39.31±2.55	51.80±25.52	12.60±7.24	2.52±1.38	1.02±0.68	0.73±0.36	78.65±5.83
	变异系数/%	43.71	37.16	41.46	21.30	12.50	6.49	49.27	57.43	54.80	66.94	48.95	7.41
120	平均值±标准差	40.32±21.37	54.63±23.31	98.07±48.83	14.32±3.09	3.09±0.47	38.69±3.60	43.77±20.35	10.52±4.63	1.92±1.07	0.72±0.47	0.52±0.24	75.71±5.25
	变异系数/%	53.00	42.67	49.79	21.59	15.21	9.30	46.49	44.05	55.61	66.06	47.27	6.93
180	平均值±标准差	29.57±20.08	43.96±24.74	73.75±47.64	11.81±3.05	3.06±0.49	37.81±2.96	40.47±21.67	9.57±3.94	1.69±0.95	0.59±0.44	0.50±0.27	75.40±4.60
	变异系数/%	67.91	56.28	64.60	25.83	16.01	7.83	53.55	41.17	56.22	64.22	54.40	6.10

表 3 41 个玉米品种萌发期与苗期各指标的方差分析
Table 3 Variance analysis on indicators of 41 maize varieties at germination and seedling stages

变异来源	发芽势	发芽率	发芽指数	株高	茎粗	叶绿素	叶面积	苗鲜重	苗干重	根鲜重	根干重	含水量
品种间	44.54**	31.89**	56.21**	7.40**	3.49	3.85**	11.72**	2.48**	2.67**	2.55**	2.43**	6.50**
处理间	174.12**	112.94**	240.19**	27.88**	1.47**	4.28**	13.90**	4.04**	7.72**	5.94**	9.15**	13.25**

注：“*”表示在 0.05 水平差异显著，“**”表示在 0.01 水平差异极显著。下同。

表 4 基于萌发期与苗期各鉴定指标的耐盐系数

Table 4 The salt tolerance coefficient based on the identification indexes of germination and seedling stage

NaCl 浓度/ (mmol/L)	指标	鉴定指标											
		发芽势/%	发芽率/%	发芽指数	株高/cm	茎粗/cm	叶绿素 SPAD 值	叶面积/cm ²	苗鲜重/g	苗干重/g	根鲜重/g	根干重/g	含水量/%
60	平均值±标准差	0.81±0.15	0.83±0.14	0.80±0.13	1.04±0.16	1.02±0.14	1.05±0.09	0.98±0.30	1.20±0.88	1.25±0.98	1.44±1.34	1.33±1.14	1.01±0.07
	变异系数/%	18.83	16.81	16.66	15.51	13.56	8.86	30.95	73.38	78.41	92.84	85.25	6.98
120	平均值±标准差	0.65±0.18	0.71±0.17	0.65±0.16	0.97±0.18	0.97±0.14	1.03±0.10	0.86±0.35	0.96±0.47	0.90±0.59	0.96±0.93	0.89±0.70	1.05±0.06
	变异系数/%	28.10	24.69	25.13	19.08	14.77	9.74	40.96	49.41	65.41	96.36	78.36	6.00
180	平均值±标准差	0.46±0.19	0.56±0.21	0.47±0.18	0.81±0.23	0.99±0.21	1.05±0.11	0.77±0.29	0.91±0.49	0.87±0.67	1.06±1.18	0.92±0.76	1.06±0.08
	变异系数/%	40.14	37.84	37.87	27.97	21.41	10.15	37.67	53.35	77.47	111.02	82.66	7.58

数值(表 6)。综合 60 mmol/L、120 mmol/L 和 180 mmol/L NaCl 浓度的数据,就平均值来说,隶属函数值较大的指标是发芽率和茎粗,隶属函数值较小的指标是苗鲜重和根鲜重;就变异系数来说,品种间的差异最大的指标是根鲜重,品种间的差异较小的指标是发芽指数和含水量;就权重来说,隶属函数值最大的指标

是根鲜重,隶属函数值较小的指标是含水量和发芽指数。

由表 7 可知,发芽势、发芽率、发芽指数、株高、茎粗等 12 个指标的隶属函数值之间存在着一定的相关性,通过对不同指标的隶属函数值与 *D* 值的相关性分析,发现它们之间存在着显著的正相关关系。说明 *D*

表 5 41 个玉米品种基于各耐盐系数的耐盐性排序

Table 5 Rankings of 41 maize varieties based on their salt tolerance coefficient

编号	品种	耐盐性排序			编号	品种	耐盐性排序		
		60 mmol/L	120 mmol/L	180 mmol/L			60 mmol/L	120 mmol/L	180 mmol/L
1	宏兴 990	27	35	37	22	郑单 958	2	3	4
2	平安 1523	25	18	28	23	恒宇 369	30	29	26
3	胡新 712	26	27	35	24	翔禾 9918	9	11	6
4	种星 618	21	22	14	25	兴农一号	13	8	7
5	西蒙 6 号	16	13	15	26	必祥 809	19	23	18
6	宏兴 528	18	7	5	27	金丰捷 607	11	24	12
7	增玉 157	40	38	34	28	吉农玉 309	20	14	30
8	沃峰 188	17	32	22	29	新玉 81	3	17	3
9	豫禾 536	10	19	8	30	新玉 24	29	28	19
10	沃峰 9 号	35	40	40	31	登海 3672	28	36	32
11	农富 99	1	15	11	32	新玉 66	12	6	20
12	宣何 8 号	4	5	9	33	新农 008	31	20	31
13	西蒙 668	38	33	38	34	先玉 335	6	9	17
14	霖玉 1339	14	26	21	35	丰田 14	22	10	13
15	元源 1 号	23	21	29	36	富裕 109	32	16	23
16	群策 888	15	12	10	37	西蒙 3358	5	1	1
17	单宁 23 号	33	41	41	38	吉兴 218	39	39	24
18	优旗 909	34	25	33	39	三盟 9599	8	2	25
19	金艾 588	24	30	16	40	西蒙 208	37	37	39
20	甘鑫 2818	41	31	36	41	胡新 338	36	34	27
21	五谷 568	7	4	2					

表 6 41 个玉米品种基于各鉴定指标耐盐系数的隶属函数值

Table 6 Membership function values of 41 maize varieties based on salt tolerance coefficient of identification indices

鉴定指标	NaCl 浓度(60 mmol/L)				NaCl 浓度(120 mmol/L)				NaCl 浓度(180 mmol/L)			
	平均值	标准差	变异系数/ %	权重	平均值	标准差	变异系数/ %	权重	平均值	标准差	变异系数/ %	权重
发芽势	0.734	0.221	30.179	0.041	0.564	0.273	48.358	0.060	0.402	0.271	67.465	0.080
发芽率	0.742	0.232	31.240	0.043	0.612	0.251	41.057	0.051	0.435	0.303	69.842	0.083
发芽指数	0.714	0.210	29.468	0.040	0.553	0.248	44.821	0.055	0.386	0.275	71.354	0.084
株高	0.425	0.271	63.884	0.088	0.404	0.285	70.547	0.087	0.397	0.231	58.102	0.069
茎粗	0.475	0.260	54.796	0.075	0.469	0.241	51.518	0.064	0.448	0.232	51.895	0.061
叶绿素	0.382	0.224	58.584	0.080	0.430	0.211	48.993	0.061	0.417	0.230	55.040	0.065
叶面积	0.399	0.222	55.601	0.076	0.318	0.231	72.776	0.090	0.354	0.244	68.886	0.082
苗鲜重	0.214	0.197	92.283	0.126	0.286	0.235	82.219	0.102	0.385	0.257	66.710	0.079
苗干重	0.229	0.196	85.842	0.118	0.283	0.254	89.629	0.111	0.273	0.234	85.896	0.102
根鲜重	0.239	0.234	97.958	0.134	0.148	0.176	118.595	0.147	0.147	0.169	114.663	0.136
根干重	0.232	0.211	91.097	0.125	0.193	0.193	100.081	0.124	0.213	0.189	88.670	0.105
含水量	0.460	0.179	38.821	0.053	0.595	0.243	40.806	0.050	0.436	0.202	46.297	0.055

表 7 基于各指标的隶属函数值与 D 值的相关性分析Table 7 Correlation analysis of the D value with membership function values based on indices

鉴定指标	发芽势	发芽率	发芽指数	株高	茎粗	叶绿素	叶面积	苗鲜重	苗干重	根鲜重	根干重	含水量	D 值
发芽势	1.00												
发芽率	0.86**	1.00											
发芽指数	0.97**	0.92**	1.00										
株高	0.11	0.02	0.05	1.00									
茎粗	0.09	0.03	0.02	0.45**	1.00								
叶绿素	-0.04	-0.07	-0.11	0.05	0.52**	1.00							
叶面积	0.13	0.16	0.12	0.44**	0.32*	0.06	1.00						
苗鲜重	0.16	0.22	0.13	0.31*	0.36*	0.26	0.32*	1.00					
苗干重	0.19	0.21	0.14	0.29	0.42**	0.32*	0.28	0.91**	1.00				
根鲜重	0.12	0.17	0.11	0.10	0.34*	0.31*	0.18	0.67**	0.85**	1.00			
根干重	0.12	0.14	0.10	0.06	0.36*	0.28	0.11	0.61**	0.79**	0.96**	1.00		
含水量	-0.12	-0.08	-0.09	0.06	-0.30	-0.18	0.05	-0.28	-0.53**	-0.59**	-0.66**	1.00	
D 值	0.51**	0.52**	0.47**	0.45**	0.57**	0.37*	0.49**	0.80**	0.85**	0.77**	0.71**	-0.38*	1.00

值可以综合评价不同玉米品种的耐盐性, D 值越大, 品种的耐盐性越强。苗干重、苗鲜重、根鲜重、根干重与 D 值的相关系数较大, 表明苗干重、苗鲜重、根鲜重、根干重与供试玉米品种的耐盐性关系最为密切, 分别为 0.85、0.80、0.77、0.71。

2.4 不同玉米品种聚类分析与耐盐性综合评价

综合玉米在萌发期与苗期的耐盐指标, 利用 D 值对 41 个玉米品种的耐盐性进行综合评价。通过聚类分析, 可将 41 个玉米品种分为高度耐盐、中度耐盐、耐盐、敏感和高度敏感等 5 个等级(图 1), 其中农富 99、郑单 958 和新玉 81 等 6 个品种属于高度耐盐品种。 D 值变化范围在 1.559 0~1.774 7 之间, 平均值为 1.645 2; 宏兴 528、先玉 335 和兴农一号等 6 个品种属于中度耐盐品种, D 值变化范围在 1.269 6~1.476 5 之间, 平均值为 1.345 2; 丰田 14、富裕 109 和群策 888 等 7 个品种属于耐盐品种, D 值变化范围在 1.023 1~1.136 4 之间, 平均值为 1.086 9; 吉兴 218、葫新 712 和种星 618 等 17 个品种属于盐胁迫敏感性品种, D 值变化范围在 0.691 0~0.978 3 之间, 平均值为 0.863 9; 增玉 157 和沃峰 9 号等 5 个品种属于盐胁迫高度敏感性品种, D 值变化范围在 0.514 2~0.602 4 之间, 平均值为 0.573 1。可以看出, 高度耐盐和高度敏感类型的玉米品种数量少于中度耐盐、耐盐和敏感类型, 符合正态分布, 所以这种划分是合理的。其中农富 99、五谷 568、新玉 81、郑单 958、西蒙 3358、宣何 8 号等 6 个玉米品种耐盐性较强, 适宜盐碱地种植。

3 结论与讨论

3.1 不同盐浓度影响玉米品种耐盐程度的鉴定

土壤盐碱化程度加剧及盐碱地面积的逐年增加, 使得玉米耐盐性品种筛选与培育的工作形势日趋紧

迫^[17]。玉米品种耐盐浓度、耐盐指标以及分析方法的筛选与应用有助于推广和扩大玉米耐盐品种的种植面积, 解决生产实际问题^[18]。研究表明, 苗干重、苗鲜重、根鲜重和根干重这 4 项指标可作为玉米品种耐盐性鉴定的主要指标, 在此基础上筛选出的耐盐玉米品种可直接在生产中使用。

前人对玉米耐盐性的研究多集中于单个时期, 谷思玉等^[19]研究发现, 当 NaCl 溶液浓度达到 120 mmol/L 时各组品种的发苗势与对照组的差异均达到显著水平; 高英波等^[20]研究表明, 玉米萌发期耐盐性鉴定的最佳浓度为 160 mmol/L。本研究中, 当 NaCl 溶液浓度 \geq 180 mmol/L 时, 所有供试玉米的各鉴定指标都表现出明显的下降趋势, 且不同品种间和不同浓度间的差异达到显著水平, 说明在 180 mmol/L 的 NaCl 处理下所测指标能够有效鉴定不同玉米品种的耐盐性。这与前人所得结论并不一致, 说明在试验材料与测定时期不同的情况下, 不同玉米品种的耐盐程度也不一致。邱念伟等^[21]研究表明, 同一种作物在不同的生长期具有不同的抗盐性, 其抗盐机理也不一样。

3.2 不同生育时期、多个耐盐指标的综合评价利于鉴定玉米品种的耐盐性

加权隶属函数法^[22-23]的优势是可将各指标无量纲化, 并赋值给各项耐盐指标, 增强指标间的可比性, 从而对每个玉米品种进行定量评价。因此, 加权隶属函数法能科学、有效地对耐盐性进行评价。前人利用模糊隶属函数法对玉米耐盐性鉴定做了大量研究, 但多集中在玉米的某一特定生长时期, 没有结合玉米的其他生育时期进行研究。本文在前人的基础上, 采用萌发期与苗期两个生育时期的 12 个指标进行鉴定, 从而可以较全面地对不同玉米品种的耐盐性进行综合评价。

本研究发现,以发芽率、发芽势、苗干重、苗鲜重、叶面积、含水量、茎粗等 12 个鉴定指标为依据的耐盐性表现并不一致,这表明凭借单个指标无法对不同玉米品种的耐盐性进行评价,所以有必要结合多个指标对不同玉米品种的耐盐性进行综合评价。

3.3 筛选耐盐性玉米品种对推广应用玉米抗逆品种意义重大

目前,制约我国盐碱地玉米单产的主要原因是缺乏耐盐性较强的玉米品种,因此开展玉米品种的耐盐性综合评价和耐盐品种筛选,对于盐碱地的高产栽培及品种选择具有重要意义。通过对综合评价 D 值与各鉴定指标耐盐系数的相关性分析可知,苗干重、苗鲜重、根鲜重和根干重这 4 项指标与玉米品种的耐盐性最为密切,说明苗干重、苗鲜重、根鲜重和根干重可作为玉米耐盐性鉴定选的主要指标。利用聚类分析的方法可将 41 个玉米品种分为 5 个等级,其中高度耐盐品种 6 个、中度耐盐品种 6 个、耐盐品种 7 个、中度盐敏感性 17 个、高度盐敏感性 5 个。筛选出农富 99、五谷 568、宣何 8 号、郑单 958、西蒙 3358 和新玉 81 共 6 个高度耐盐品种。本研究成果可以为南疆盐碱地的玉米栽培和耐盐品种的选择提供理论基础。

参考文献:

- [1]王佳丽,黄贤金,钟大洋,等.盐碱地可持续利用研究综述[J].地理学报,2011,66(5):673-684.
- [2]侯建华,王茅雁,李明哲,等.玉米萌发期抗旱性鉴定的初步研究[J].内蒙古农牧学院学报,1994,15(3):19-22.
- [3]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.
- [4]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.
- [5]Takehisa H, Shimodate T, Fukuta Y, et al. Identification of quantitative trait loci for plant growth of rice in paddy field flooded with saltwater[J]. Field Crops Research, 2004, 89(1):85-95.
- [6]董志刚,程智慧.番茄品种资源芽苗期和幼苗期的耐盐性及

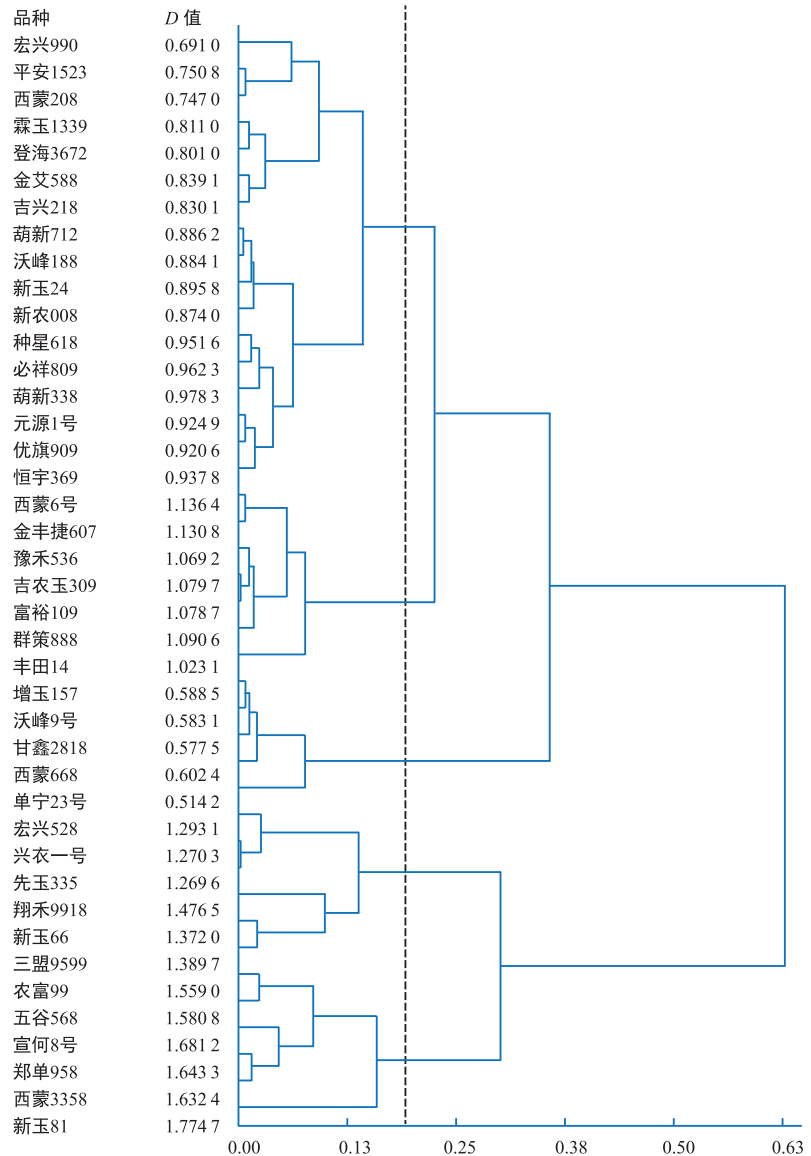


图 1 41 个玉米品种的萌发期与苗期耐盐性聚类分析

Fig.1 Salt tolerance cluster analysis on germination stage and seedling stage of 41 maize varieties

耐盐指标评价[J].生态学报,2009,29(3):1348-1355.

- [7]Flowers T J. Improving crop salt tolerance[J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(396):307-319.
- [8]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.
- [9]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.
- [10]郝德荣,程玉静,徐辰试,等.玉米耐盐种质筛选及群体遗传结构分析[J].植物遗传资源学报,2013,14(6):1153-1160.
- [11]于莹,张树权,郭永利,等.31份玉米自交系萌发期耐盐碱性综合评价[J].东北农业大学学报,2018,49(9):9-19.

(下转第 69 页)

- 产量和品质的影响[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(6): 130-139.
- [4] 李修平, 刘琪, 邵红, 等. 寒地水稻种质资源遗传多样性分析[J]. 分子植物育种, 2021, 19(16): 5528-5534.
- [5] 赵黎明. 不同密度下寒地水稻龙粳 31 库源特征及关系[J]. 北方水稻, 2019, 49(4): 5-11.
- [6] 潘国君, 刘传君, 张淑华, 等. 寒地早粳稻“一前三抗”新株型育种理论与实践[J]. 黑龙江农业科学, 2020(12): 1-6.
- [7] 马波. 氮肥、密度对寒地超级稻“龙粳 31”产量的互作效应研究[J]. 中国农学通报, 2018, 34(6): 8-13.
- [8] 赵黎明. 栽培模式对寒地水稻龙粳 31 产量建成的影响[J]. 北方水稻, 2019, 49(1): 7-12, 15.
- [9] 吴旺娉, 周伟江, 唐才宝, 等. 2,4-表油菜素内酯对低温胁迫下水稻种子萌发及生理特性的影响[J]. 分子植物育种, 2020, 18(13): 4427-4434.
- [10] Nakagawa Y, Nishikawa B, Miyagawa H. Effects of brassinolide on the growing of rice plants[J]. J Pestic Sci, 2021, 46(3): 274-277.
- [11] Tong H, Chu C. Physiological Analysis of Brassinosteroid Responses and Sensitivity in Rice[J]. Methods Mol Biol., 2017, 1564: 23-29.
- [12] Diaz K, Espinoza L, Carvajal R, et al. Exogenous Application of Brassinosteroid 24-Norcholane 22(S)-23-Dihydroxy Type Analogs to Enhance Water Deficit Stress Tolerance in *Arabidopsis thaliana*[J]. Int J Mol Sci., 2021, 22(3): 1158.
- [13] Hayano-Saito Y, Hayashi K, Stvb-i, a Rice Gene Conferring Durable Resistance to *Rice stripe virus*, Protects Plant Growth From Heat Stress[J]. Front Plant Sci., 2020, 11: 519.
- [14] 张亚琳, 衣莹, 林凤, 等. 低温胁迫对小麦族物种抗寒生理的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(4): 406-410.
- [15] 周伟江, 吴旺娉, 唐才宝, 等. 外源油菜素内酯对低温胁迫下水稻幼苗生长及生理特性的影响[J]. 西北农业学报, 2020, 29(9): 1410-1416.
- [16] Liang C, Liu H. Response of hormone in rice seedlings to irrigation contaminated with cyanobacterial extract containing microcystins[J]. Chemosphere, 2020, 256: 127157.
- [17] Almeida D M, Almadanim M C, Lourenço T, et al. Screening for Abiotic Stress Tolerance in Rice: Salt, Cold, and Drought[J]. Methods Mol Biol. 2016, 1398: 155-182.
- [18] Yuan J, Meng J, Liang X, et al. Organic Molecules from Biochar Leachates Have a Positive Effect on Rice Seedling Cold Tolerance[J]. Front Plant Sci., 2017, 8: 1624.
- [19] 商水根, 邱先进, 杨隆维, 等. 水稻核心种质资源的苗期耐冷性鉴定与评价[J]. 分子植物育种, 2020, 18(9): 3068-3078.
- [20] 赵恺. 油菜素内酯对不同类型盐胁迫下辣椒种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国果菜, 2020, 40(4): 56-60, 36.
- [21] Zhang W, Wang J, Huang Z, et al. Effects of Low Temperature at Booting Stage on Sucrose Metabolism and Endogenous Hormone Contents in Winter Wheat Spikelet[J]. Front Plant Sci., 2019, 10: 498.
- [22] Du H, Wu N, Chang Y, et al. Carotenoid deficiency impairs ABA and IAA biosynthesis and differentially affects drought and cold tolerance in rice[J]. Plant Mol Biol., 2013, 83(4-5): 475-488.
- [24] Majláth I, Szalai G, Soós V, et al. Effect of light on the gene expression and hormonal status of winter and spring wheat plants during cold hardening[J]. Physiol Plant, 2012, 145(2): 296-314.
- [24] Kosová K, Vitámvás P, Prášil IT. Proteomics of stress responses in wheat and barley-search for potential protein markers of stress tolerance[J]. Front Plant Sci., 2014, 5: 711.

(上接第 62 页)

- [12] 赵小强, 彭云玲, 李健英, 等. 16 份玉米自交系的耐盐性评价[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(5): 40-45, 51.
- [13] 王秀华, 张寒, 潘香逾, 等. 玉米成株期耐盐性评价与耐盐资源筛选[J]. 分子植物育种, 2020, 18(2): 685-692.
- [14] 王丽燕, 赵可夫. 玉米幼苗对盐胁迫的生理响应[J]. 作物学报, 2005, 31(2): 264-266.
- [15] 刘学芳, 刘希玲, 尹晓丽, 等. 盐碱地春播玉米栽培技术[J]. 天津农林科技, 2012, 6(3): 24-25.
- [16] 邓杰, 孙丽芳, 王霞, 等. 89 份玉米自交系萌发期耐盐碱性综合评价[J]. 玉米科学, 2020, 28(9): 15-21.
- [17] 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.
- [18] 刘学, 周璇, 曾兴, 等. 玉米芽期和苗期耐盐性鉴定方法的比较分析[J]. 玉米科学, 2015, 23(1): 115-121.
- [19] 谷思玉, 周连仁, 王佳佳, 等. 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.
- [20] 高英波, 张慧, 薛艳芳, 等. 不同夏玉米品种耐盐性综合评价与耐盐品种筛选[J]. 玉米科学, 2020, 28(2): 33-40.
- [21] 邱念伟, 刘倩, 王凤德, 等. 大白菜不同发育阶段耐盐性的长期观察[J]. 植物生理学报, 2015, 51(10): 1597-1603.
- [22] 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.
- [23] 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.