

玉米芽期耐盐与敏感基因型的筛选

张 静¹, 王玉凤¹, 杨克军¹, 李佐同¹, 魏金鹏¹, 王智慧¹,
王 平², 张翼飞¹, 付 建¹, 唐春双¹

(1. 黑龙江八一农垦大学, 黑龙江 大庆 163319; 2. 黑龙江省农垦科学院作物开发研究所, 黑龙江 佳木斯 154007)

摘 要: 以 29 份玉米品种为试验材料, 设置 5 个 NaCl 浓度处理, 分别为 0(对照)、50、100、150、200 mmol/L, 筛选耐盐碱性较强的品种。结果表明, 试验条件下, 200 mmol/L NaCl 为玉米芽期耐盐性筛选的理想鉴定浓度, 东方红 2 号、郑单 958、良玉 99 高度耐盐; 庆单 3 等 9 个品种较耐盐; 登海 618 等 7 个品种中度耐盐; 先玉 335 等 6 个品种对盐分敏感; 农华 106 和农华 101 对盐分高度敏感。

关键词: 玉米; 芽期; 基因型筛选; 耐盐鉴定

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Screening of Maize Bud Salt Tolerance and Sensitive Genotypes

ZHANG Jing¹, WANG Yu-feng¹, YANG Ke-jun¹, LI Zuo-tong¹, WEI Jin-peng¹, WANG Zhi-hui¹,
WANG Ping², ZHANG Yi-fei¹, FU Jian¹, TANG Chun-shuang¹

(1. Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319;

2. Heilongjiang Agricultural Reclamation Academy of Sciences Institute of Crop Development, Jamusi 154007, China)

Abstract: Twenty-nine maize varieties were used as experiment materials, and set 5 NaCl concentration treatments to select the varieties which had relatively strong saline alkaline tolerance. The 5 NaCl concentrations were 0 (control), 50, 100, 150, 200 mmol/L, respectively. The results showed that 200 mmol/L NaCl was maize bud ideal appraisal concentrations of salt resistance Dongfanghong2, Zhengdan958 and Liangyu99 were highly resistant to salt; Nine materials were resistant to salt such as Qingdan 3, salt tolerance of seven materials were moderate such as Denghai618; Six materials were sensitive to salt for example Xianyu335; Nonghua106 and Nonghua101 were highly sensitive to salt.

Key words: Maize; Bud stage; Genotype screening; Salt identification

全球气候变暖加剧了耕层土壤盐分表聚, 加速了盐碱土的成土过程^[1]。随着工业污染加剧、不合理的灌溉和大量施用化肥等因素导致土地次生盐渍化逐年增加, 减少了耕地的使用面积。全球有各种盐渍土约 9.5 亿 hm², 占全球陆地面积的 10%, 其中我国为 9 913 万 hm², 约占全国可耕地面积的 25%。中国科学院南京土壤所估算, 中国有潜在盐碱土约

1 733 万 hm², 不合理利用和管理就会发生盐碱化^[2]。我国处在人口多、耕地少的现状, 粮食安全问题是关注的焦点之一。

由于盐碱地的逐年增加, 培育、筛选出耐盐碱作物品种直接利用盐碱地已经是研究的重大课题之一^[3,4]。玉米是主要的粮饲作物和工业原料, 也是被广泛种植的农作物之一^[5]。玉米是盐碱中度敏感作物, 耐盐碱性较差, 所以培育和筛选出耐盐碱的玉米品种可以增加盐碱地玉米的产量。研究植物耐盐碱性最直接有效的办法就是经过盐碱处理后植物的发芽情况、形态、产量等性状来鉴定植物的耐盐性^[6]。国内外虽然有一些对玉米耐盐碱鉴定方法的研究, 但是还没有统一的鉴定标准^[7]。本研究利用现在大面积推广种植的玉米品种进行芽期盐碱胁迫试验, 筛选耐盐碱性较强的品种, 为盐碱地区提高玉米产

收稿日期: 2015-07-23

基金项目: 黑龙江八一农垦大学引进人才科研启动计划课题 (XDB2012-04)、黑龙江省寒地作物各持改良与栽培重点实验室开放课题项目

作者简介: 张 静(1991-), 硕士, 主要从事玉米幼苗期盐碱胁迫及外源物质缓解研究。E-mail: 1070322638@qq.com
王玉凤为本文通讯作者。E-mail: 89348070@qq.com

量和耐盐碱品种选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

本试验研究的29份玉米杂交品种(表1)由黑龙江八一农垦大学玉米研究室提供。

1.2 试验方法

试验于2014年9月在黑龙江八一农垦大学农学院玉米研究室进行,每个品种挑选子粒饱满大小一致的种子40粒,设有5个NaCl浓度,分别为0(对照)、50、100、150、200 mmol/L,每个处理3次重复。种子

经10% NaClO消毒20 min,蒸馏水冲洗数遍,将经75%的酒精消毒过的干燥发芽盒铺入3层滤纸,分别用已配制好的各浓度NaCl溶液将滤纸浸湿至水分充足;摆入已挑选好的种子,再用一层滤纸覆盖,置于26℃的培养箱中进行黑暗培养,用恒重补水法定期补充适量的蒸馏水,使各浓度梯度的NaCl溶液浓度维持不变。从处理的第2天开始,每天同一时间记录每个发芽盒中种子萌发数,7 d后从每个发芽盒中取长势均匀的10株,测量胚根、胚芽的长度、鲜重和干重,并取平均值,计算发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、耐盐系数。

表1 供试玉米材料
Table 1 The tested maize materials

编 号	材 料	编 号	材 料	编 号	材 料
Serial number	Material	Serial number	Material	Serial number	Material
1	先玉335	11	宁玉735	21	利民33
2	DK159	12	农华101	22	YF16
3	真金8	13	联创808	23	江育417
4	宁玉309	14	农华106	24	裕丰619
5	郑单958	15	庆单7	25	裕丰19
6	登海618	16	DK517	26	银河32
7	宁玉525	17	庆单3	27	良玉99
8	丹8201	18	东方红2	28	鑫鑫2
9	宁玉524	19	东方红1	29	天发-05
10	KWS5383	20	新玉56		

1.3 测定方法

处理第7天统计发芽数,计算各品种的发芽率。发芽率=发芽种子数/种子总数×100%。

统计处理前3 d发芽的种子数,计算各品种的发芽势。发芽势(Ge)=(前3 d发芽种子数/种子总数)×100%。

处理第8天测量各品种的芽长和最长根的长度,每个处理3次重复,每次重复取长势均匀的10株分别进行测量,并计算平均值。

将上述10株的胚根和胚芽分别称重再取平均值即为胚根和胚芽的鲜重,将已取的10株胚根和胚芽放在80℃烘箱中恒温烘干至恒重,再称重取平均值即为胚根和胚芽的干重。

发芽指数GI= $\sum G_t/D_t$,G_t指在不同时间(*t*天)发芽数,D_t指不同的发芽试验天数。

活力指数VI=S× $\sum G_t/D_t$ (S为鲜重)。

1.4 数据统计

采用Excel软件对测定的各项指标进行数据整理,利用SPSS17.0软件对测定的各项指标进行显著

性差异统计分析、相关性分析、主成分分析、聚类分析和回归分析。

1.4.1 玉米芽期各测定指标的耐盐系数

测定指标的耐盐系数=处理值/对照值×100%^[9]。

1.4.2 不同品种玉米各综合指标的隶属函数值

$u(X_j)=(X_j-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min})$,*j*=1,2,⋯,*n*,X_{*j*}表示第*j*个综合指标;X_{min}表示第*j*个综合指标中的最小值;X_{max}表示第*j*个综合指标中的最大值。

1.4.3 各综合指标的权重

$\omega_j=P_j/\sum_{j=1}^n P_j$,*j*=1,2,⋯,*n*,权重(ω_{*j*})表示第*j*个综

合指标在所有综合指标中的重要程度;P_{*j*}表示不同玉米品种各指标经过主成分分析后所得到的第*j*个综合指标的贡献率。

1.4.4 不同品种玉米的综合能力大小

$D=\sum_{j=1}^n [u(X_j)\times\omega_j]$,*j*=1,2,⋯,*n*,D表示盐分胁迫

下不同玉米品种综合指标评价所得的耐盐性综合评价。

2 结果与分析

2.1 玉米芽期耐盐性鉴定浓度的筛选

2.1.1 不同浓度 NaCl 处理对玉米各品种发芽势的影响

由表 2 所示,NaCl 浓度在 150~200 mmol/L 时,29 份玉米品种的发芽势与对照相比均有所下降;50 mmol/L 时,各品种的发芽势与对照差异均不显著,并且先玉 335、宁玉 309、登海 618、东方红 2 号、YF16、江育 417、裕丰 619、裕丰 19 的发芽势均高于对照,其他品种与对照相比均有所下降;NaCl 浓度

100 mmol/L 时,只有农华 101、东方红 1 号、YF16、江育 417 的发芽势与对照的差异达到显著水平;NaCl 浓度 150 mmol/L 时,DK159、真金 8、登海 618、KWS5383、宁玉 735、庆单 7、新玉 56、利民 33、裕丰 619、裕丰 19、银河 32、鑫鑫 2 号的发 芽势与对照差异不显著,其他品种与对照的差异均达到显著水平;NaCl 浓度 200 mmol/L 时,除庆单 7、裕丰 619、裕丰 19、鑫鑫 2 号外,其他品种发芽势与对照的差异均达到显著水平。低浓度(NaCl 50~100 mmol/L)盐胁迫对 29 份供试材料的发芽势影响较小。

表 2 不同浓度 NaCl 处理对玉米各品种发芽势的显著性比较

Table 2 Different concentrations of NaCl treatment on maize germination potential significance of each type %

编 号 Serial number	NaCl 浓度(mmol/L) NaCl concentration					编 号 Serial number	NaCl 浓度(mmol/L.) NaCl concentration				
	0	50	100	150	200		0	50	100	150	200
1	95.83 a	96.67 a	90.83 ab	88.33 bc	84.17 c	16	96.67 a	94.17 ab	93.33 abc	91.67 bc	90.00 c
2	100.00 a	99.17 a	98.33 a	98.30 a	86.67 b	17	95.83 a	91.67 a	89.17 a	76.67 b	45.00 c
3	96.67 a	96.67 a	91.67 a	89.17 a	75.83 b	18	97.50 a	98.33 a	95.00 a	87.50 b	84.17 b
4	97.50 a	98.33 a	95.00 ab	92.50 b	89.17 c	19	90.00 a	88.33 ab	78.33 b	62.50 c	46.67 d
5	100.00 a	97.50 a	97.50 a	92.50 b	92.50 b	20	95.00 a	93.33 a	93.33 a	93.33 a	72.50 b
6	97.50 a	98.33 a	96.67 a	95.00 a	88.33 b	21	100.00 a	100.00 a	99.17 a	99.17 a	96.67 b
7	85.83 a	85.83 a	85.83 a	68.33 b	66.67 b	22	91.67 a	95.00 a	80.83 b	80.83 b	45.83 b
8	98.33 a	96.67 ab	91.67 ab	90.00 b	78.33 c	23	97.50 a	98.33 a	93.33 b	92.50 b	91.67 b
9	96.67 a	90.83 ab	83.33 bc	80.00 c	77.50 c	24	96.67 a	97.50 a	95.83 a	94.17 a	90.00 a
10	73.33 a	67.50 a	64.17 a	68.33 a	35.00 b	25	95.83 a	96.67 a	94.17 a	94.17 a	93.33 a
11	99.17 a	98.33 a	97.50 a	95.00 a	90.83 b	26	95.83 a	91.67 a	90.00 a	86.67 ab	75.00 b
12	99.17 a	91.67 a	50.00 b	35.00 c	13.33 d	27	90.00 a	87.50 ab	84.17 ab	75.00 b	56.67 c
13	100.00 a	97.50 ab	94.17 ab	86.67 b	46.67 c	28	100.00 a	99.17 a	99.17 a	95.00 a	94.17 a
14	96.67 a	95.83 a	90.00 a	71.67 b	30.83 c	29	70.00 a	64.17 a	53.33 a	31.67 b	15.00 b
15	100.00 a	100.00 a	99.17 a	98.33 a	98.33 a						

注:表中小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下表同。
Note: The lowercase letters indicated significant difference at the 0.05 level. The same below.

2.1.2 不同浓度 NaCl 处理对玉米各品种发芽率的影响

由表 3 所示,NaCl 浓度在 150~200 mmol/L 时,29 份玉米品种的发芽率与对照相比均有所下降;NaCl 浓度 50 mmol/L 时,各品种的发芽率与对照差异均不显著,而且 YF16、江育 417、裕丰 619、裕丰 19 的发芽率均高于对照,其他品种与对照相比均有所下降;NaCl 浓度 100 mmol/L 时,先玉 335、丹 8201、宁玉 524、YF16、江育 417 的发芽率与对照达到显著水平;NaCl 浓度 150 mmol/L 时,先玉 335、郑单 958、宁玉 525、丹 8201、宁玉 524、农华 101、联创 808、YF16、江育 417、天发-05 的发芽率与对照差异均达到显著水平;NaCl 浓度 200 mmol/L 时,登海 618、

庆单 7、东方红 2 号、利民 33、裕丰 619、裕丰 19 的发芽率与对照差异不显著,其他品种与对照差异均达到显著水平。低浓度(NaCl 50~100 mmol/L)盐胁迫对这 29 份供试材料的发芽率影响较小。

2.1.3 不同浓度 NaCl 处理对玉米各品种发芽指数的影响

由表 4 所示,随 NaCl 浓度的升高,各品种的发芽指数均有所下降。NaCl 浓度 50 mmol/L 时,DK159、真金 8、郑单 958、登海 618、宁玉 525、丹 8201、宁玉 524、农华 101、农华 106、庆单 3、东方红 1 号、利民 33、裕丰 619、鑫鑫 2 号的发芽指数与对照的差异均达到显著水平;NaCl 浓度 100 mmol/L 时,宁玉 309、KWS5383、宁玉 735、庆单 7、DK517、新玉 56、

YF16、良玉 99 的发芽指数与对照相比差异不显著,其他品种与对照的差异均达到显著水平;NaCl 浓度 150 mmol/L 时,只有 KWS5383、庆单 7、YF16 的发芽指数与对照的差异不显著,其他品种均与对照达到显著水平;NaCl 浓度 200 mmol/L 时,29 份供试品种

的发芽指数均与对照达到显著水平。NaCl 浓度越高对玉米的发芽指数影响越大。0~200 mmol/L NaCl 处理中,200 mmol/L 时玉米各品种发芽指数与对照差异最明显,本试验条件下 200 mmol/L NaCl 浓度可以作为玉米芽期耐盐性筛选的鉴定浓度。

表 3 不同浓度 NaCl 处理对玉米各品种发芽率的显著性分析
Table 3 Different concentrations of NaCl treatment on maize germination rate the significance of each type %

编 号 Serial number	NaCl 浓度(mmol/L) NaCl concentration					编 号 Serial number	NaCl 浓度(mmol/L) NaCl concentration				
	0	50	100	150	200		0	50	100	150	200
1	98.33 a	97.50 ab	94.17 bc	94.17 bc	91.67 c	16	96.67 a	94.17 ab	94.17 ab	92.50 ab	90.83 b
2	100.00 a	100.00 a	99.78 a	98.69 a	86.67 b	17	99.17 a	96.67 a	96.67 a	94.17 a	81.67 b
3	98.33 a	98.33 a	93.33 a	93.33 a	86.67 b	18	99.17 a	99.17 a	98.33 a	98.33 a	98.33 a
4	99.17 a	99.17 a	99.17 a	96.67 ab	93.33 b	19	95.00 a	90.83 a	85.83 a	72.50 b	59.17 c
5	100.00 a	99.17 a	98.33 ab	95.00 bc	94.17 c	20	99.17 a	98.33 a	96.67 a	95.83 a	74.17 b
6	99.17 a	98.33 a	97.50 a	96.67 a	96.67 a	21	100.00 a	100.00 a	100.00 a	99.17 a	99.17 a
7	85.83 a	84.17 a	85.83 a	71.67 b	70.83 b	22	95.00 ab	97.50 a	87.50 bc	84.17 c	73.33 d
8	99.17 a	96.67 ab	94.17 b	94.17 b	90.00 c	23	97.50 ab	98.33 a	93.33 bc	93.33 bc	92.50 c
9	97.50 a	91.67 ab	85.83 bc	85.00 bc	77.50 c	24	96.67 a	97.50 a	95.83 a	95.00 a	90.00 a
10	75.83 a	73.33 a	70.00 a	69.17 a	43.33 b	25	95.83 a	96.67 a	95.83 a	95.00 a	95.00 a
11	99.17 a	98.33 a	97.50 a	95.00 a	90.83 b	26	95.83 a	91.67 a	90.83 a	90.00 a	79.17 b
12	100.00 a	98.33 a	90.83 a	60.83 b	35.00 c	27	93.33 a	93.33 a	93.33 a	93.33 a	74.17 b
13	100.00 a	98.33 a	95.83 a	87.50 b	76.67 c	28	100.00 a	100.00 a	100.00 a	97.50 ab	95.00 b
14	98.33 a	97.50 a	96.67 a	90.00 a	74.17 b	29	77.50 a	70.83 a	60.83 a	35.83 b	25.83 b
15	100.00 a	100.00 a	100.00 a	98.33 a	98.33 a						

表 4 不同浓度 NaCl 处理对玉米各品种发芽指数的显著性分析
Table 3 Different concentrations of NaCl treatment on maize germination index the significance of each type

编 号 Serial number	NaCl 浓度(mmol/L) NaCl concentration					编 号 Serial number	NaCl 浓度(mmol/L) NaCl concentration				
	0	50	100	150	200		0	50	100	150	200
1	99.15 a	95.84 a	76.48 b	70.89 c	70.53 c	16	80.59 a	73.33 a	74.39 a	62.32 b	58.43 b
2	93.38 a	85.23 b	68.26 c	65.71 c	54.17 d	17	91.67 a	78.63 b	71.66 b	53.68 c	34.87 d
3	96.76 a	82.35 b	65.26 c	58.74 c	48.94 d	18	84.29 a	84.57 a	74.34 b	62.00 c	53.45 d
4	87.72 a	80.24 ab	76.21 ab	67.28 b	69.41 b	19	60.70 a	52.46 b	45.02 c	34.86 d	26.70 e
5	102.38 a	89.88 b	77.89 c	60.63 d	56.91 d	20	92.80 a	88.09 a	81.66 ab	72.56 b	43.70 c
6	93.96 a	84.99 b	75.51 c	69.28 c	55.73 d	21	82.05 a	69.71 b	62.60 bc	61.35 bc	58.35 c
7	81.52 a	71.02 b	63.35 b	50.97 c	44.41 c	22	59.58 a	58.87 a	56.61 a	45.52 ab	31.72 b
8	69.16 a	63.09 b	56.83 c	53.44 d	45.95 e	23	97.29 a	89.65 a	72.97 b	67.19 bc	58.99 c
9	87.68 a	73.79 b	57.43 c	55.47 c	51.21 c	24	95.59 a	82.45 b	80.06 b	69.08 c	60.51 c
10	56.82 a	48.34 a	40.26 a	42.96 a	21.92 b	25	92.73 a	87.42 a	78.43 b	69.88 c	61.56 c
11	75.52 a	78.15 a	76.12 a	61.53 b	60.21 b	26	87.56 a	81.57 a	68.10 b	59.73 b	46.22 c
12	88.10 a	68.20 b	41.02 c	25.09 d	10.63 e	27	65.12 a	59.71 a	57.49 a	46.65 b	35.57 c
13	99.71 a	96.54 a	80.75 b	66.47 c	34.03 d	28	89.71 a	78.73 b	77.02 bc	69.62 cd	65.42 d
14	83.74 a	69.83 b	53.58 c	43.03 d	23.07 e	29	45.63 a	38.99 ab	30.84 b	18.03 c	10.35 c
15	103.21 a	102.56 a	103.38 a	99.15 a	92.99 b						

2.1.4 不同浓度 NaCl 处理对玉米各品种活力指数的影响

由表 5 所示,NaCl 浓度 50 mmol/L 时,除江育 417、

银河 32、良玉 99 的活力指数高于对照外,其他品种与对照相比均降低,而且 DK159、真金 8、宁玉 309、农华 101、农华 106、DK517、东方红 1 号、利民 33、

YF16、裕丰619、鑫鑫2号的活力指数与对照的差异达到显著水平;NaCl浓度100~200 mmol/L时,所有供试品种的活力指数均低于对照,不同品种与对照的差异不同,NaCl浓度100 mmol/L时,登海618、宁玉525的活力指数与对照差异不显著,其他品种与对照相比差异均达到显著水平;NaCl浓度150、200 mmol/L时,各品种的活力指数均与对照的差异达到显著水平。NaCl浓度为50 mmol/L对江育417、银河32、良玉99的萌发具有促进作用,随着浓度升高,玉米萌发会受到抑制,浓度越高抑制作用越强。

表5 不同浓度NaCl处理对玉米各品种活力指数的显著性分析
Table 5 Different concentrations of NaCl treatment on maize vigor index of the significance of each type

编 号 Serial number	NaCl浓度(mmol/L) NaCl concentration					编 号 Serial number	NaCl浓度(mmol/L.) NaCl concentration				
	0	50	100	150	200		0	50	100	150	200
1	70.33 a	67.06 a	23.96 b	20.56 b	10.18 b	16	93.86 a	68.73 b	47.55 b	58.30 bc	33.65 c
2	61.00 a	33.67 b	26.51 bc	20.98 c	8.11 d	17	70.55 a	67.18 a	54.76 b	36.19 c	23.30 d
3	71.40 a	23.04 b	10.97 b	8.22 b	5.83 b	18	145.47 a	132.00 a	105.63 b	87.23 bc	73.92 c
4	65.05 a	36.87 b	16.27 c	11.84 c	5.40 c	19	233.87 a	136.56 b	89.35 bc	66.34 c	44.17 c
5	76.44 a	66.60 a	47.52 b	32.36 b	29.25 b	20	136.70 a	125.90 a	84.44 b	64.11 b	21.50 c
6	98.83 a	63.85 ab	51.77 ab	47.25 b	25.81 b	21	156.83 a	115.30 b	78.54 c	71.89 c	54.36 c
7	135.58 a	113.90 a	101.08 ab	74.33 bc	50.66 c	22	167.99 a	128.78 b	106.07 b	59.75 c	9.63 d
8	158.89 a	142.68 a	113.62 b	99.58 b	70.22 c	23	172.34 a	183.15 a	123.54 b	110.30 bc	63.61 c
9	140.00 a	106.48 ab	77.70 bc	79.14 bc	62.57 c	24	165.63 a	134.02 b	126.81 b	89.61 c	54.58 d
10	110.55 a	58.19 ab	45.95 b	47.02 b	19.28 b	25	156.32 a	138.62 ab	123.28 bc	106.08 c	47.22 d
11	120.67 a	76.46 ab	68.82 b	53.43 b	49.34 b	26	203.45 a	211.33 a	142.05 b	110.25 b	49.69 c
12	122.77 a	88.85 b	26.31 c	13.05 c	2.01 c	27	70.86 a	88.85 ab	60.23 bc	45.31 cd	34.00 d
13	89.00 a	63.17 ab	27.11 bc	10.92 c	6.31 c	28	146.21 a	99.99 b	96.13 b	66.65 c	30.91 d
14	84.46 a	56.23 b	16.46 c	26.71 cd	4.20 d	29	84.57 a	55.69 ab	43.25 bc	25.28 bc	7.83 c
15	88.28 a	71.46 ab	57.87 b	28.79 c	23.99 c						

2.2 玉米芽期各指标的耐盐系数及其相关性分析

各指标的相对值能够消除品种间所固有的差异,更能准确反映植物耐盐能力的大小^[10]。结合上述分析,玉米各品种的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数在NaCl浓度为200 mmol/L时与对照的差异性最明显。因此本试验中选择NaCl浓度为200 mmol/L作为玉米芽期耐盐性筛选的理想鉴定浓

度。不同品种玉米芽期各指标的耐盐系数不同,同一品种不同指标所表现出的该品种的耐盐程度也不同。不同品种各指标的耐盐系数都小于1,发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、芽长、芽鲜重、芽干重、根长、根鲜重、根干重与对照相比均有所下降,并且下降幅度不同,因此用单项指标来评价玉米芽期的耐盐性结果各不相同(表6)。

表6 盐胁迫下玉米芽期各指标的耐盐系数
Table 6 Maize under salt stress bud salt tolerance coefficient of every index

编 号 Serial number	指标 Index									
	发芽率 Germination rate	发芽势 Germinative force	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index	芽 长 Germinal length	芽鲜重 Shoot fresh weight	芽干重 Shoot dry weight	根 长 Root length	根鲜重 Root fresh weight	根干重 Root dry weight
1	0.932 5	0.877 9	0.711 4	0.157 0	0.294 4	0.217 1	0.422 2	0.366 1	0.579 6	0.630 1
2	0.966 7	0.866 7	0.580 1	0.132 8	0.289 3	0.229 3	0.277 8	0.517 0	0.577 7	0.548 4
3	0.882 5	0.787 3	0.507 5	0.087 3	0.159 8	0.168 7	0.213 0	0.273 1	0.493 2	0.427 1
4	0.941 7	0.914 5	0.794 1	0.080 6	0.169 3	0.096 8	0.306 3	0.522 2	0.680 0	0.591 9
5	0.941 7	0.925 0	0.592 2	0.382 8	0.608 9	0.652 1	1.226 9	0.519 2	0.772 5	0.702 6
6	0.975 0	0.906 0	0.594 4	0.261 4	0.435 7	0.442 2	0.545 9	0.438 5	0.703 7	0.768 8
7	0.827 4	0.781 1	0.547 6	0.376 1	0.712 9	0.703 3	0.541 6	0.283 5	0.721 3	0.693 0
8	0.907 5	0.798 2	0.664 8	0.441 3	0.648 5	0.663 7	0.732 9	0.240 5	0.809 6	0.634 2

续表6 Continued 6

编 号 Serial number	指标 Index									
	发芽率	发芽势	发芽指数	活力指数	芽 长	芽鲜重	芽干重	根 长	根鲜重	根干重
	Germination rate	Germinative force	Germination index	Vigor index	Germinal length	Shoot fresh weight	Shoot dry weight	Root length	Root fresh weight	Root dry weight
9	0.795 2	0.802 6	0.587 2	0.439 5	0.630 3	0.749 8	0.878 9	0.179 2	0.529 0	0.537 2
10	0.561 2	0.443 4	0.372 3	0.231 9	0.759 2	0.556 9	0.780 2	0.176 0	0.215 3	0.288 8
11	0.916 0	0.916 0	0.803 8	0.436 8	0.648 1	0.560 9	0.624 9	0.434 2	0.805 7	0.550 4
12	0.350 0	0.134 2	0.120 3	0.017 4	0.138 7	0.129 6	0.217 8	0.190 9	0.293 7	0.348 9
13	0.766 7	0.466 7	0.343 8	0.091 7	0.266 0	0.236 3	0.410 5	0.202 3	0.501 5	0.403 8
14	0.752 6	0.318 4	0.275 0	0.050 0	0.243 4	0.181 4	0.295 1	0.242 2	0.320 7	0.276 9
15	0.983 3	0.983 3	0.900 6	0.278 9	0.296 9	0.308 9	0.650 0	0.439 3	0.815 3	0.627 8
16	0.939 9	0.931 4	0.728 8	0.372 1	0.508 3	0.525 2	0.640 2	0.484 9	0.783 9	0.649 0
17	0.822 9	0.470 3	0.382 9	0.330 9	0.803 3	0.874 3	1.019 7	0.499 6	0.641 6	0.477 6
18	1.009 0	0.863 0	0.636 7	0.509 2	0.796 5	0.804 3	0.871 0	0.289 8	0.766 3	0.630 9
19	0.621 8	0.520 4	0.440 1	0.195 2	0.743 9	0.448 6	0.600 3	0.135 3	0.340 0	0.425 3
20	0.748 7	0.768 9	0.472 9	0.161 4	0.447 7	0.338 7	0.633 3	0.253 1	0.522 0	0.679 5
21	0.991 7	0.966 7	0.713 4	0.346 0	0.523 5	0.484 7	0.686 9	0.275 8	0.845 0	0.520 8
22	0.771 8	0.507 6	0.535 0	0.057 6	0.200 4	0.110 7	0.200 6	0.260 5	0.468 5	0.536 2
23	0.948 7	0.940 2	0.606 5	0.370 4	0.578 2	0.613 5	0.719 3	0.278 1	0.501 2	0.545 5
24	0.930 5	0.930 5	0.632 6	0.332 1	0.494 9	0.524 8	0.765 9	0.223 6	0.749 8	0.748 4
25	0.992 8	0.975 4	0.665 4	0.294 5	0.554 3	0.444 6	0.730 2	0.306 9	0.794 1	0.669 5
26	0.825 8	0.781 2	0.528 7	0.232 0	0.490 0	0.428 1	0.700 5	0.336 8	0.590 4	0.610 2
27	0.794 9	0.629 9	0.546 9	0.496 9	0.787 7	0.910 5	0.815 4	0.299 3	0.611 9	0.483 7
28	0.950 0	0.941 7	0.729 0	0.212 1	0.355 4	0.291 1	0.481 5	0.393 0	0.593 2	0.613 8
29	0.334 6	0.210 8	0.231 4	0.092 5	0.517 8	0.419 6	0.529 1	0.271 6	0.460 0	0.552 7

通过相关性分析可以揭示各指标间是否存在依存关系及相关关系的方向与强度^[11]。由表7所示,各个指标间均存在不同程度的正相关,其中,发芽势与芽长、发芽指数与芽鲜重、芽干重与根干重均成极显著正相关,相关系数均为1;发芽指数与活力指数、活力指数与芽鲜重均呈显著正相关,相关系数均为0.998。玉米芽期耐盐性是综合、复杂的,用单项指标不能明确、直观的对玉米耐盐性进行评价,因此利用各指标的耐盐系数进行多元统计分析,以便对玉米耐盐性做出更精确的评价。

表7 盐胁迫下玉米芽期各指标相关系数矩阵
Table 7 Maize bud under salt stress each index correlation coefficient matrix

指 标 Index	发芽率 Germination rate	发芽势 Germinative force	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index	芽 长 Germinal length	芽鲜重 Shoot fresh weight	芽干重 Shoot dry weight	根 长 Root length	根鲜重 Root fresh weight	根干重 Root dry weight
发芽率	1									
发芽势	0.75	1								
发芽指数	0.956	0.91	1							
活力指数	0.971	0.885	0.998*	1						
芽长	0.756	1.000**	0.914	0.89	1					
芽鲜重	0.956	0.91	1.000**	0.998*	0.914	1				
芽干重	0.866	0.98	0.974	0.96	0.982	0.974	1			
根长	0.64	0.988	0.837	0.804	0.987	0.837	0.939	1		
根鲜重	0.918	0.951	0.994	0.986	0.954	0.994	0.993	0.893	1	
根干重	0.866	0.98	0.974	0.96	0.982	0.974	1.000**	0.939	0.993	1

注:*和**分别表示 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 的显著水平。
Note: * and ** indicated $P<0.05$ and $P<0.01$ significant level, respectively.

2.3 主成分分析

表8 主成分分析各综合指标系数、贡献率及特征向量

Table 8 Coefficient of the composite indicator principal component analysis, the contribution rate and the feature vector		
综合指标 Composite index	F ₁	F ₂
特征根	5.29	2.835
贡献率(%)	52.901	28.347
累计贡献率(%)	52.901	81.248
特征向量	发芽率	0.347
	发芽势	-0.258
	发芽指数	-0.243
	活力指数	-0.266
	芽长	0.359
	芽鲜重	0.295
	芽干重	0.214
	根长	0.49
	根鲜重	0.26
	根干重	0.461
		0.283
		0.377
		0.218
		-0.277
		0.384
		-0.135
		0.322
		-0.164

主成分分析可以将需要分析的指标数据集进行

降维处理,把较多的测试指标转化成少量的综合评价指标,保留数据最重要的部分,代替各单项指标评价结果的不足。如表8所示,通过主成分分析将10个单项指标的耐盐系数转化成F₁、F₂两个综合指标,累计贡献率为81.248%,这两个综合指标代表了各单项指标的绝大部分信息,可以进一步来评价各品种玉米的耐盐性。

2.4 玉米芽期各品种耐盐性综合评价

2.4.1 隶属函数分析

分别计算主成分分析得到的两个综合指标的隶属函数值,各玉米品种中,隶属函数值越大,该品种的耐盐性越强;隶属函数值越小,则该品种对盐分越敏感。如表9所示,29份玉米品种在综合指标F₁中,郑单958的隶属函数值最大为1,农华101的隶属函数值最小为0,说明在这一综合指标中郑单958的耐盐性最强,农华101对盐分最敏感;29份玉米品种在综合指标F₂中,KWS5383的隶属函数值最大为1,宁玉309的隶属函数值最小为0,说明在这一综合指标中KWS5383的耐盐性最强,宁玉309对盐分最敏感。

表9 玉米各品种的综合指标值、权重、u(x_i)、D值以及耐盐性综合评价

Table 9 Maize the comprehensive index of each type, weight, u(x _j), comprehensive evaluation on the D value and salt resistance						
编 号 Serial number	F ₁	F ₂	u(x ₁)	u(x ₂)	D值 D value	耐盐性评价 Salt resistance evaluation
18	2.805	1.694	0.974	0.796	0.912	高度耐盐
5	3.040	0.695	1	0.644	0.876	高度耐盐
27	1.175	2.740	0.792	0.956	0.849	高度耐盐
17	0.897	2.544	0.761	0.926	0.819	耐盐
8	1.941	0.975	0.877	0.686	0.811	耐盐
9	0.831	2.087	0.754	0.856	0.790	耐盐
11	2.301	-0.091	0.918	0.524	0.780	耐盐
7	1.294	0.980	0.805	0.687	0.764	耐盐
24	1.705	-0.007	0.851	0.537	0.741	耐盐
16	2.198	-0.767	0.906	0.420	0.737	耐盐
21	1.699	-0.262	0.850	0.498	0.727	耐盐
25	1.852	-0.474	0.868	0.465	0.727	耐盐
23	0.968	0.697	0.769	0.644	0.725	耐盐
6	1.459	-1.275	0.824	0.343	0.656	中度耐盐
15	1.952	-2.121	0.879	0.214	0.647	中度耐盐
26	0.147	-0.024	0.677	0.534	0.627	中度耐盐
10	-2.629	3.028	0.368	1	0.588	中度耐盐
19	-2.147	1.989	0.422	0.841	0.568	中度耐盐
28	0.558	-1.763	0.723	0.268	0.565	中度耐盐
20	-0.660	-0.172	0.587	0.511	0.561	中度耐盐
1	0.006	-2.084	0.662	0.219	0.507	敏感
2	-0.342	-2.438	0.623	0.165	0.463	敏感
29	-3.340	1.543	0.289	0.773	0.458	敏感

续表9 Continued 9

编 号 Serial number	F ₁	F ₂	u(x ₁)	u(x ₂)	D 值 D value	耐盐性评价 Salt resistance evaluation
4	0.078	-3.520	0.670	0	0.436	敏感
13	-2.896	-0.318	0.338	0.489	0.391	敏感
3	-2.110	-1.933	0.426	0.242	0.362	敏感
22	-2.609	-1.725	0.370	0.274	0.337	敏感
14	-4.246	-0.260	0.188	0.498	0.296	高度敏感
12	-5.928	0.265	0	0.578	0.202	高度敏感
权重(ω _i)			0.651	0.349		

2.4.2 综合评价及分类

D 值表示玉米各品种耐盐能力的大小,D 值越大耐盐能力越强。由表9可以得出,东方红2号的D 值最大,为0.912;农华101的D 值最小,为0.202,因此29 份玉米品种中东方红2号的耐盐能力最强,农华101的耐盐能力最差。

利用聚类分析中的最大距离法对D 值进行分析,由图1所示,将29 份玉米品种按耐盐性由强到弱

分为5类,分别为高度耐盐、耐盐、中度耐盐、敏感和高度敏感,其中,东方红2号、郑单958、良玉99高度耐盐;庆单3、丹8201、宁玉524、宁玉735、宁玉525、裕丰619、DK517、利民33、裕丰19、江育417耐盐,登海618、庆单7、银河32、KWS5383、东方红1号、鑫鑫2号、新玉56中度耐盐;先玉335、DK159、天发-05、宁玉309、联创808、真金8号、YF16对盐分敏感;农华106和农华101对盐分高度敏感。

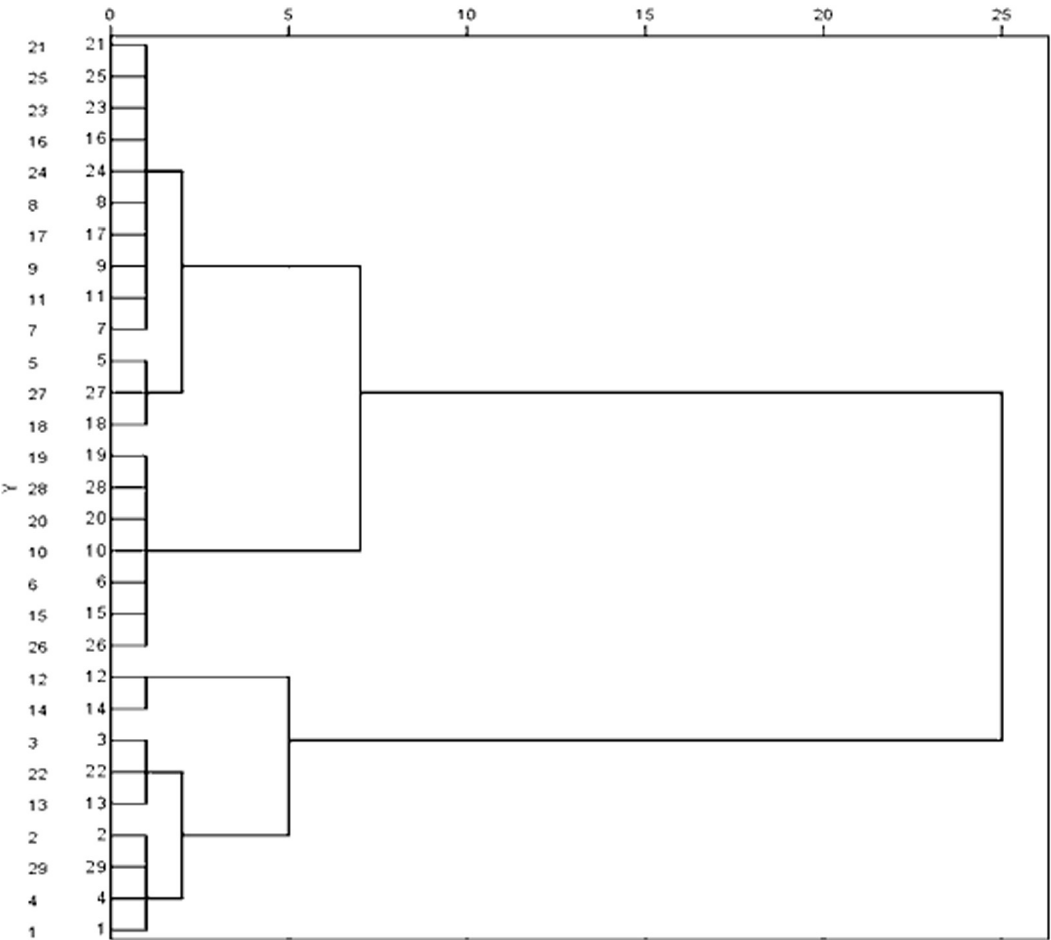


图1 29份品种聚类分析树状图
Fig.1 Twenty-nine varieties cluster analysis tree

3 结论与讨论

玉米耐盐性的鉴定方法有多种,主要包括发芽期筛选法、苗期鉴定法、营养液筛选法、大田鉴定法等^[12]。种子萌发阶段对外界环境较敏感,是鉴定植物耐盐性的重要时期^[13]。本试验利用5个NaCl浓度处理筛选玉米芽期耐盐性的理想鉴定浓度,不同品种玉米在200 mmol/L NaCl处理下以及在各个指标中均显示与对照有显著性差异,因此200 mmol/L NaCl为玉米芽期耐盐性的理想鉴定浓度,利用此处理的各指标数据进行分析比较供试品种的耐盐性差异。郑飞等人研究认为,200 mmol/L NaCl处理能较好地地区分不同基因型玉米芽期的耐盐能力^[14]。付艳研究认为,250 mmol/L NaCl是衡量不同品种玉米芽期耐盐性的理想盐分浓度^[15],结果不同的原因可能是种质资源间耐盐性存在较大的差异,或者试验条件不同也会影响耐盐性鉴定浓度的筛选^[16]。

由于种质资源间的耐盐性存在较大的差异,盐分对玉米的胁迫是一个综合且复杂的过程。研究分析表明,耐盐性较强的茶菊在所有指标上不均表现有较强的耐盐能力,耐盐能力弱的品种在所有指标上也不均表现对盐分较敏感^[17],耐盐性研究中棉花和药用菊花也有类似报道^[18,19]。用单项指标来评价其耐盐性结果有片面性,甚至具有不一致性^[20],因此对各指标进行多元统计分析,来综合评价玉米各品种的耐盐性。对各指标耐盐系数进行主成分分析,将10个指标转化成2个综合指标,又经过隶属函数值和权重的统计分析最终得到不同品种玉米芽期耐盐性的综合评价(D值),进一步反映了各品种的耐盐性差异。利用聚类分析将29个供试品种分为不同耐盐性程度的5种类型,即高度耐盐、耐盐、中度耐盐、敏感、高度敏感。

200 mmol/L NaCl为玉米芽期耐盐性的理想鉴定浓度,供试材料中东方红2号、郑单958、良玉99为高度耐盐品种;庆单3、丹8201、宁玉524、宁玉735、宁玉525、裕丰619、DK517、利民33、裕丰19、江育417耐盐;登海618、庆单7、银河32、KWS5383、东方红1号、鑫鑫2号、新玉56中度耐盐;先玉335、DK159、天发-05、宁玉309、联创808、真金8号、YF16对盐分敏感;农华106、农华101对NaCl高度敏感。

参考文献:

- [1] 贾敬敦,张 富. 依靠科技创新推进我国盐碱地资源可持续利用[J]. 中国农业科技导报,2014(5):1-7.
Jia J D, Zhang F. Sustainable utilization of saline-alkali land re-

sources through scientific and technological innovation in China [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2014(5): 1-7. (in Chinese)

- [2] 李 丹. 松嫩平原两种耐盐植物比较解剖研究[D]. 长春:东北师范大学硕士论文,2006.
- [3] 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.
- [4] 高建明,夏卜贤,袁庆华,等. 高粱种质材料幼苗期耐盐碱性评价[J]. 应用生态学报,2012,23(5):1303-1310.
Gao J M, Xia B X, Yuan Q H, et al. Salt-alkaline tolerance of sorghum germplasm at seedling stage[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(5): 1303-1310. (in Chinese)
- [5] 杨晓杰,李旭业,王海艳,等. 玉米自交系耐盐种质的筛选及耐盐性评价[J]. 玉米科学,2014,22(4):19-25.
Yang X J, Li X Y, Wang H Y, et al. Screening of maize inbred line varieties with salt tolerance and the evaluation[J]. Journal of Maize Sciences, 2014, 22(4): 19-25. (in Chinese)
- [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.
Fu Y, Gao S R, Wang Z H. Evaluation of salt tolerance of maize germplasm in seedling stage[J]. Journal of Maize Sciences, 2009, 17(1): 36-39. (in Chinese)
- [7] 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.
Liu F, Fu Y, Gao S R, et al. Response under salt-stress of maize in seedling stage and appraisal of salt tolerance of maize[J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2007, 19(6): 22-26. (in Chinese)
- [8] 田治国. 万寿菊属植物耐盐性与抗旱性的评价及生长生理特性的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学博士论文,2012.
- [9] 王 军,周美学,许如根,等. 大麦耐湿性鉴定指标和评价方法研究[J]. 中国农业科学,2007,40(10):2145-2152.
Wang J, Zhou M X, Xu R G, et al. Studies on selecting indices and evaluation methods for barley's waterlogging tolerance[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(10): 2145-2152. (in Chinese)
- [10] 戴海芳,武 辉,阿曼古丽·买买提阿力,等. 不同基因型棉花苗期耐盐性分析及其鉴定指标筛选[J]. 中国农业科学,2014(7):1290-1300.
Dai H F, Wu H, A M G L·M M T A L, et al. Analysis of salt-tolerance and determination of salt-tolerant evaluation indicators in cotton seedlings of different genotypes[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014(7): 1290-1300. (in Chinese)
- [11] 管志勇,陈发棣,滕年军,等. 5种菊花近缘种属植物的耐盐性比较[J]. 中国农业科学,2010,43(4):787-794.
Guan Z Y, Chen F D, Teng N J, et al. Study on the NaCl tolerance in five plant species from dendranthema and its relatives[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(4): 787-794. (in Chinese)
- [12] 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.
Liu X, Zhou X, Zeng X, et al. Comparison of identification method of maize salt tolerance in germination and seedling stage[J]. Journal of Maize Sciences, 2015, 23(1): 115-121. (in Chinese)

- [13] Badigannavar A M, Mondal S, Muny G S S. Induction of salt tolerance for radical growth in groundnut through gamma ray mutagenesis[J]. BARG Newsletter, 2007, 285: 226-236.
- [14] 郑飞, 陈艳萍, 孟庆长, 等. 7份玉米自交系耐盐性鉴定[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(12): 112-115.
Zheng F, Chen Y P, Meng Q C, et al. 7 inbred lines salt resistance identification[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 40(12): 112-115. (in Chinese)
- [15] 付艳. 玉米耐盐基因型的筛选和盐胁迫下的生理响应[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学硕士论文, 2007.
- [16] 程玉静, 孙权星, 彭长俊, 等. 2种不同基因型玉米苗期盐胁迫反应及耐盐性研究[J]. 上海农业学报, 2012, 28(2): 53-58.
Cheng Y J, Sun Q X, Peng C J, et al. Response of two different-genotype maize at seedling stage to salt stress and evaluation of their salt tolerance[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2012, 28(2): 53-58. (in Chinese)
- [17] 吕晋慧, 任磊, 李艳锋, 等. 不同基因型茶菊对盐胁迫的响应[J]. 植物生态学报, 2013, 37(7): 656-664.
Lü J H, Ren L, Li Y F, et al. Responses to salt stress among different genotypes of tea Chrysanthemum[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2013, 37(7): 656-664. (in Chinese)
- [18] 孙小芳, 刘友良. 棉花品种耐盐性鉴定指标可靠性的检验[J]. 作物学报, 2001, 27(6): 794-801.
Sun X F, Liu Y L. Test on criteria of evaluating salt tolerance of cotton cultivars[J]. Acta Agronomica Sinica, 2001, 27(6): 794-801. (in Chinese)
- [19] 王康才, 黄莺, 汤兴利, 等. 药用杭白菊和黄菊及其杂交F₁代耐盐特性研究[J]. 中国中药杂志, 2011(17): 2321-2324.
Wang K C, Huang Y, Tang X L, et al. Study on salt stress tolerance of chrysanthemum morifolium 'Huangbaiju' and 'Huangju' and F₁ seedlings[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2011(17): 2321-2324. (in Chinese)
- [20] 赵海明, 李源, 谢楠, 等. 不同高丹草品种发芽期NaCl胁迫评价研究[J]. 草原与草坪, 2012, 32(3): 26-31, 36.
Zhao H M, Li Y, Xie N, et al. Evaluation of NaCl stress on sorghum bicolor sorghum sudanense at seed germination stage[J]. Grassland and Turf, 2012, 32(3): 26-31, 36. (in Chinese)

(责任编辑: 李万良)

(上接第54页)

- [22] 宋喜悦, 胡银岗, 马翎健, 等. YS型小麦温敏不育系A3314育性转换过程中叶片和幼穗酶活性的变化[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(5): 818-822.
Song X Y, Hu Y G, Ma L J, et al. Some physiological characters in panicles and leaves of YS type thermo-sensitive male sterile wheat line A3314 during transferring from sterility to fertility[J]. Journal of Triticeae Crops, 2009, 29(5): 818-822. (in Chinese)
- [23] 李玲. 植物生理学模块实验指导[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [24] 张琳碧, 荣廷昭, 张采波, 等. 太空诱变玉米核不育材料可育花药与不育花药的生化特性分析[J]. 核农学报, 2007, 21(3): 221-223.
Zhang L B, Rong T Z, Zhang C B, et al. Analysis of biochemical characteristics of maize anthers from male fertilizable plant and male sterile plant induced by space flight[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2007, 21(3): 221-223. (in Chinese)
- [25] 李巍, 马翎健, 何蓓如. 两类小麦温敏雄性不育系育性敏感时期生理生化指标的变化[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(1): 89-92.
Li W, Ma L J, He B R. Change of physiological characters in the fertility sensitive period of two types of temperature sensitive male sterile wheat lines[J]. Journal of Triticeae Crops, 2009, 29(1): 89-92. (in Chinese)
- [26] 宋喜悦, 胡银岗, 马翎健, 等. YS型小麦温敏不育系A3314育性转换过程中叶片和幼穗的变化物质含量的变化[J]. 2009, 37(8): 81-86.
Song X Y, Hu Y G, Ma L J, et al. Changes of material content in panicles and leaves of YS type thermo-sensitive male sterile wheat line A3314 during transfer from sterility to fertility[J]. Journal of Northwest A&F University(Nat. Sci. Ed.), 2009, 37(8): 81-86. (in Chinese)

(责任编辑: 朴红梅)