

吉林省玉米骨干自交系苗期耐旱性鉴评

王喜慧, 郑婷婷, 王丕武

(吉林农业大学农学院, 长春 130118)

摘要: 以78份吉林省玉米骨干自交系为试材, 在温室条件下进行苗期干旱胁迫模拟, 测定株高、茎粗、根鲜重、地上部分鲜重、根干重、地上部分干重等6项形态指标, 估算各性状指标的耐旱系数, 作为评价参数进行主成分分析和聚类分析, 综合评价参试玉米自交系苗期耐旱性。结果表明, 干旱胁迫组测定的形态指标数据与对照组相比均降低, 变异幅度有明显差异。根鲜重耐旱系数、地上干重耐旱系数作为综合指标对玉米自交系苗期耐旱性评价的贡献率优于其他指标。聚类分析将参试玉米自交系划分出5个耐旱等级, 郑58、S121、W9813、6F576为极强耐旱, 丹598、8723、中128、骨马4404等18份玉米自交系为强耐旱, HCL645、四-4112、C8605-2、龙抗11等25份玉米自交系为中度耐旱。

关键词: 玉米自交系; 耐旱性鉴评; 耐旱系数; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: S513.033

文献标识码: A

Evaluation on Drought Tolerance of Elite Maize Inbred Lines in Jilin Province at Seedling Stage

WANG Xi-hui, ZHENG Ting-ting, WANG Pi-wu

(Agriculture College, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: Eighty portions of elite maize inbred lines in Jilin province were used as test materials, simulated seedling drought stress under the greenhouse conditions, after drought stress, six morphological indexes including the plant height, stem diameter, root fresh weight, fresh weight of ground parts, root dry weight and dry weight on the ground were measured, estimated the drought tolerance coefficient of each character index as evaluation parameter, the principal component analysis and cluster analysis were performed to evaluate the drought tolerance of testing maize inbred lines comprehensively. The results showed that the morphological index data of drought stress group were lower than that of control group, there was a significant difference in the variation range; regarded drought tolerance coefficient of root fresh weight and drought tolerance coefficient of dry weight on the ground as the comprehensive index could evaluate drought tolerance of maize inbred lines better than other indexes at seedling stage; the cluster analysis divided testing maize inbred lines into 5 levels of drought tolerance: four were extremely strong drought tolerance; eighteen were strong drought tolerance; twenty five were moderate drought tolerance.

Key words: Maize inbred line; Drought tolerance evaluation; Drought tolerance coefficient; Principal component analysis; Cluster analysis

收稿日期: 2016-01-22

基金项目: 吉林省主要作物分子标记辅助育种技术平台建设、农业部“948”高效作物分子育种体系核心技术引进项目(2013-Z47)

作者简介: 王喜慧(1988-), 女, 黑龙江省五常人, 硕士, 研究方向为作物重要性状的遗传和育种。

E-mail: 547527142@qq.com

王丕武为本文通讯作者。

E-mail: peiwuw@163.com

干旱是影响玉米生产和产量最重要的非生物逆境胁迫因子^[1], 与水资源短缺一起成为世界农业生产的限制性因素^[2,3]。从1950年至今, 我国每年因干旱造成的减产约占各种自然灾害造成粮食损失的60%^[4]。吉林省是我国玉米的主产区, 近几年干旱灾害频发, 一般干旱年份减产25%以上, 大旱年减产30%~35%, 严重旱灾年份部分地区几乎绝收^[5], 干旱问题亟待解决。

玉米自交系是玉米育种必不可少的中间材料, 优质的自交系可以组配良好的玉米杂交种^[6], 杂交

种的表现与其亲本自交系综合性状密切相关。不同玉米自交系对于干旱的适应性和抗御能力不同,准确地分析与评价玉米自交系的耐旱性是培育耐旱玉米新品种的重要前提^[7]。研究玉米自交系的耐旱性,开展玉米自交系耐旱性鉴评,可为玉米耐旱育种提供有价值的种质资源,进而加快耐旱玉米杂交种的选育,对于保障粮食安全、实现农业的可持续发展意义重大。

苗期是玉米整个生育期的第一阶段^[8],苗期鉴定玉米耐旱性具有耗时周期短、可测样品多、重复性强、条件可控等优点^[9,10],开展玉米苗期的耐旱性研究可加快玉米耐旱种质资源的筛选效率,有利于玉

米品种耐旱性的早期鉴定。本研究对 78 份吉林省玉米骨干自交系进行苗期耐旱性鉴评,为耐旱玉米杂交种的亲本选配和耐旱玉米种质资源利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料选用的 78 份吉林省玉米骨干自交系(表 1),是近 5 年来吉林省玉米生产上应用的主要玉米杂交种亲本,由吉林农业大学植物生物技术中心提供。

表 1 78 份吉林省玉米骨干自交系编号及名称
Table 1 Code and name of 78 elite maize inbred lines in Jilin province

编 号 Code	自交系名称 Name	编 号 Code	自交系名称 Name	编 号 Code	自交系名称 Name	编 号 Code	自交系名称 Name
w1	铁 7922	w21	81162	w41	GS04(030)	w61	M54
w2	沈 5003	w22	沈 137	w42	WH8	w62	K10
w3	HCL645	w23	8723	w43	F8276	w63	W9813
w4	四-4112	w24	835	w44	Km87	w64	吉 853
w5	C8605-2	w25	中 128	w45	通 1643	w65	宁晨 07
w6	7884	w26	9802	w46	通 1922	w66	666
w7	7884-7	w27	PH09B	w47	KX	w67	T6039
w8	D1798Z	w28	四-287	w48	D22	w68	F1113
w9	B1189Z	w29	系 14	w49	PH6WC	w69	P014
w10	丹 340	w30	A801	w50	PH4CV	w70	F1061
w11	丹 598	w31	丹 988	w51	郑 58	w71	E1361
w12	龙抗 11	w32	吉 818	w52	昌 7-2	w72	H299
w13	黄早四	w33	骨马 4404	w53	L201	w73	6F576
w14	H21	w34	四-495	w54	L269	w74	V76-1
w15	Mo17	w35	D34	w55	KWS10	w75	T106
w16	自 330	w36	MD22	w56	KWS49	w76	辽 3180
w17	吉 1037	w37	PHB1M	w57	KW5G321	w77	M03
w18	丹 1324	w38	GS01	w58	KW1A139	w78	M5972
w19	吉 63	w39	GS02	w59	9F592		
w20	4F1	w40	GS03(1322)	w60	S121		

1.2 试验设计

试验于 2015 年在吉林农业大学植物生物技术中心作物育种实践温室内进行。采用盆栽法,玉米苗期断水处理进行干旱模拟。各试材选用整齐一致的饱满种子 15~20 粒,用 70%酒精消毒,蒸馏水冲洗后灭菌滤纸吸干备用。以营养土为栽培介质,盛放容器选用营养钵(高 35 cm×直径 32 cm),播种前统一配土、装钵、浇透底水。每份自交系种植 4 钵,分设正常浇水和水分胁迫两组处理,保证出苗数为每钵 10 株。出苗后,每钵隔 4 d 浇水 500 mL,于 4 叶期

开始对胁迫组进行断水处理,正常浇水对照组在此期间保证每钵每 3 d 浇水 500 mL,胁迫 10 d 后选取长势均匀一致的幼苗干净处理后进行各指标测定。

1.3 指标测定及方法

1.3.1 形态指标

胁迫期 10 d 结束,每系选取 5 株,去土洗净处理后,米尺测量幼苗株高、游标卡尺测量茎粗、电子天平测定地上鲜重和地下鲜重等。测量后牛皮纸袋分装于 105℃烘箱内杀青,70℃~80℃下烘干至恒重后电子天平称重,即为干重。

1.3.2 耐旱系数的估算

耐旱系数是玉米种质资源耐旱性鉴定与评价的良好指标^[11]。耐旱系数的估算参考兰巨生^[12]、付凤玲^[13]等方法计算。

$$DTC=Yd/Yw\times100\%$$

式中, DTC 为耐旱系数; Yd 为胁迫处理下各单项指标的测定值; Yw 为正常浇水条件下各单项指标的测定值。

1.3.3 综合耐旱度量值(D 值)的估算

用以下公式估算各基因型自交系综合耐旱度量值(D 值)。

$$D=\sum_{j=1}^n\left[u(X_j)\times\left|P_j\right|\right]\bigg/\sum_{j=1}^n\left|P_j\right| \quad j=1,2,3\cdots\cdots n$$

式中, D 为各自交系在干旱胁迫条件下用耐旱系数所得的耐旱性综合度量值; P_j 为各自交系第 j 个单项指标耐旱系数值; $u(X_j)$ 为第 j 个指标耐旱系数的隶属函数值。各指标隶属函数值的估算参照陈荣敏等^[14]的方法,若指标与耐旱性成负相关则用 $1-u(X_j)$ 表示。

$$u(X_j)=\frac{X_j-X_{\min}}{X_{\max}-X_{\min}} \quad j=1,2,3\cdots\cdots n$$

式中, $u(X_j)$ 为第 j 个指标耐旱系数的隶属函数值; X_j 为第 j 个指标耐旱系数值; $X_{\min}$ 为第 j 个指标耐

旱系数的最小值; $X_{\max}$ 为第 j 个指标耐旱系数的最大值。

1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2007 对原始数据进行处理,求平均值,计算各性状值对应的耐旱系数。以各相关性状的耐旱系数数据为基础,采用 SPSS21.0 软件对其进行主成分分析和聚类分析,对试验玉米自交系的耐旱性进行综合评价。

2 结果与分析

2.1 耐旱系数的差异分析

耐旱系数可体现出不同试材对干旱胁迫的敏感程度^[15~18]。由表 2 数据可知,78 份玉米自交系材料在干旱胁迫处理后的株高、茎粗、根鲜重、地上鲜重、根干重、地上干重等形态指标与对照组相比均有所降低。从变异系数的大小变化可以看出,各性状指标耐旱系数对干旱胁迫的敏感程度依次表现为地上干重>根干重>根鲜重>地上鲜重>茎粗>株高。同一自交系不同性状的耐旱系数和不同自交系同一性状的耐旱系数变异幅度均较大,表明利用单一性状指标评价玉米自交系的耐旱能力结果不够准确。因此,应对多个性状的数据进行综合分析来准确评价各玉米自交系的耐旱性。

表2 78份玉米自交系苗期测定性状指标的耐旱系数及D值

Table 2 Drought tolerance coefficient and D values of character indexes of 78 testing maize inbred lines measured at seedling stage

编号	株高	茎粗	根鲜重	地上	根干重	地上	D 值	编号	株高	茎粗	根鲜重	地上	根干重	地上	D 值
Code	Plant	Stem	Root	鲜重	Root	干重	D value	Code	Plant	Stem	Root	鲜重	Root	干重	D value
	height	diameter	fresh	Fresh	dry	Dry			height	diameter	fresh	Fresh	dry	Dry	
			weight	weight	weight	weight					weight	weight	weight	weight	
				above		above						above		above	
				ground		ground						ground		ground	
w1	0.78	0.74	0.63	0.55	0.58	0.50	0.32	w17	0.73	0.71	0.43	0.43	0.42	0.37	0.14
w2	0.82	0.81	0.44	0.44	0.44	0.37	0.24	w18	0.81	0.93	0.40	0.42	0.40	0.35	0.26
w3	0.81	0.79	0.72	0.61	0.72	0.67	0.45	w19	0.80	0.73	0.35	0.39	0.30	0.32	0.12
w4	0.79	0.76	0.80	0.68	0.82	0.76	0.51	w20	0.83	0.82	0.68	0.58	0.66	0.59	0.43
w5	0.73	0.78	0.70	0.60	0.70	0.65	0.40	w21	0.82	0.89	0.68	0.73	0.33	0.69	0.45
w6	0.77	0.73	0.54	0.51	0.51	0.44	0.25	w22	0.86	0.86	0.68	0.73	0.44	0.83	0.51
w7	0.91	0.72	0.43	0.43	0.42	0.36	0.23	w23	0.84	0.95	0.96	0.81	0.97	0.88	0.75
w8	0.77	0.73	0.64	0.56	0.60	0.53	0.32	w24	0.80	0.74	0.34	0.39	0.28	0.30	0.12
w9	0.84	0.78	0.45	0.46	0.46	0.39	0.26	w25	0.79	0.88	0.99	0.94	0.99	0.91	0.76
w10	0.75	0.73	0.62	0.54	0.56	0.50	0.29	w26	0.82	0.82	0.58	0.53	0.53	0.45	0.34
w11	0.88	0.87	0.87	0.69	0.89	0.78	0.64	w27	0.80	0.73	0.36	0.39	0.33	0.32	0.13
w12	0.86	0.78	0.77	0.65	0.78	0.75	0.53	w28	0.78	0.75	0.65	0.56	0.61	0.54	0.35
w13	0.85	0.80	0.36	0.39	0.29	0.29	0.17	w29	0.77	0.83	0.61	0.54	0.55	0.48	0.33
w14	0.93	0.90	0.39	0.41	0.38	0.32	0.29	w30	0.72	0.75	0.33	0.38	0.30	0.31	0.08
w15	0.78	0.79	0.53	0.50	0.50	0.43	0.27	w31	0.81	0.84	0.49	0.50	0.48	0.41	0.29
w16	0.72	0.75	0.71	0.58	0.63	0.62	0.35	w32	0.76	0.84	0.66	0.57	0.62	0.56	0.39

续表2 Continued 2

编号	株高	茎粗	根鲜重	地上	根干重	地上	D 值	编号	株高	茎粗	根鲜重	地上	根干重	地上	D 值
Code	Plant	Stem	Root	鲜重	Root	干重	D value	Code	Plant	Stem	Root	鲜重	Root	干重	D value
	height	diameter	fresh	Fresh	dry	Dry			height	diameter	fresh	Fresh	dry	Dry	
			weight	weight	weight	weight					weight	weight	weight	weight	
				above		above						above		above	
				ground		ground						ground		ground	
w33	0.87	0.85	0.87	0.72	0.89	0.82	0.64	w56	0.85	0.79	0.78	0.66	0.71	0.77	0.52
w34	0.77	0.74	0.83	0.70	0.85	0.79	0.52	w57	0.85	0.80	0.36	0.39	0.32	0.29	0.18
w35	0.75	0.87	0.68	0.72	0.47	0.56	0.41	w58	0.68	0.64	0.41	0.42	0.41	0.35	0.07
w36	0.77	0.74	0.47	0.48	0.47	0.40	0.21	w59	0.85	0.85	0.89	0.68	0.90	0.76	0.62
w37	0.81	0.88	0.46	0.47	0.46	0.39	0.29	w60	0.98	0.89	0.97	0.90	0.98	0.93	0.83
w38	0.81	0.95	0.77	0.63	0.77	0.72	0.57	w61	0.84	0.94	0.95	0.83	0.96	0.90	0.75
w39	0.84	0.92	0.84	0.71	0.85	0.80	0.64	w62	0.96	0.88	0.86	0.78	0.87	0.85	0.72
w40	0.74	0.72	0.74	0.62	0.75	0.71	0.41	w63	0.97	0.91	0.98	0.98	0.98	1.00	0.87
w41	0.92	0.79	0.92	0.78	0.94	0.86	0.69	w64	0.96	0.93	0.89	0.79	0.91	0.87	0.76
w42	0.93	0.74	0.69	0.59	0.68	0.63	0.46	w65	0.90	0.83	0.40	0.42	0.39	0.34	0.25
w43	0.93	0.80	0.90	0.75	0.91	0.84	0.67	w66	0.88	0.96	0.73	0.61	0.72	0.67	0.57
w44	0.80	0.77	0.67	0.57	0.64	0.58	0.39	w67	0.71	0.69	0.48	0.49	0.47	0.40	0.16
w45	0.83	0.83	0.63	0.55	0.59	0.52	0.39	w68	0.95	0.85	0.87	0.86	0.88	0.92	0.73
w46	0.97	0.82	0.39	0.42	0.38	0.33	0.28	w69	0.96	0.84	0.82	0.77	0.83	0.85	0.68
w47	0.87	0.71	0.77	0.64	0.78	0.73	0.50	w70	0.72	0.74	0.71	0.57	0.64	0.69	0.37
w48	0.92	0.80	0.79	0.65	0.80	0.75	0.58	w71	0.85	0.97	0.91	0.80	0.93	0.88	0.74
w49	0.90	0.71	0.80	0.67	0.81	0.76	0.53	w72	0.92	0.88	0.92	0.77	0.93	0.85	0.72
w50	0.87	0.79	0.38	0.40	0.36	0.31	0.20	w73	0.98	0.94	0.96	0.85	0.97	0.90	0.83
w51	0.99	0.84	0.98	0.92	0.98	0.97	0.83	w74	0.86	0.84	0.81	0.69	0.82	0.79	0.59
w52	0.84	0.95	0.44	0.44	0.45	0.38	0.32	w75	0.82	0.80	0.75	0.63	0.75	0.71	0.49
w53	0.90	0.94	0.94	0.74	0.94	0.83	0.73	w76	0.79	0.77	0.69	0.59	0.66	0.61	0.40
w54	0.94	0.89	0.72	0.91	0.44	0.95	0.65	w77	0.80	0.78	0.70	0.60	0.68	0.64	0.42
w55	0.93	0.81	0.73	0.62	0.74	0.70	0.55	w78	0.88	0.86	0.86	0.72	0.86	0.80	0.64
变异 系数	0.09	0.10	0.29	0.25	0.33	0.34									

2.2 主成分分析

利用 SPSS21.0 软件对玉米自交系各指标的耐旱系数进行主成分分析,同一指标在各因子中的最大绝对值所在位置即为其所属主成分,计算各主成分的特征向量和累积贡献率。表 3 结果显示,根鲜重耐旱系数、地上干重耐旱系数属于第一主成分;根干重耐旱系数属于第二主成分;株高耐旱系数、地上

鲜重耐旱系数属于第三主成分;茎粗耐旱系数属于第四主成分。4 个主成分综合指标对原始数据的贡献率依次为 0.41、0.22、0.13、0.07。本研究选用第一主成分所包含性状的相关系数作为权数,乘以各指标的隶属函数值,以此计算 D 值,对各自交系耐旱性进行综合评价。

表 3 苗期测定性状指标耐旱系数的主成分分析结果

Table 3 Principal component analysis results of drought tolerance coefficient of character indexes measured at seedling stage

综合指标	株 高	茎 粗	根鲜重	地上鲜重	根干重	地上干重	特征值	贡献率
Composite index	Plant height	Stem diameter	Root fresh	Fresh weight	Root dry weight	Dry weight	Characteristic	Contribution
			weight	above ground		above ground	value	rate
CI1	-0.20	-0.19	0.33*	0.29	0.26	-0.74*	4.35	0.41
CI2	-0.25	-0.25	-0.04	-0.04	1.77*	-0.10	0.95	0.22
CI3	1.18*	0.20	0.31	-1.46*	-0.05	-0.03	0.49	0.13
CI4	0.09	1.17*	-0.13	-0.05	-0.03	0.31	0.17	0.07

2.3 耐旱性度量值(D 值)的聚类分析

利用 SPSS21.0 软件以欧氏距离最远距离法对综合耐旱性度量值(D 值)进行系统聚类,将 78 份吉林省玉米骨干自交系分成 5 个耐旱等级(表 4)。试验玉米自交系中综合表现为极强耐旱的有 4 份,包括郑 58、S121、W9813、6F576 玉米自交系;综合表现为强耐旱的自交系有 18 份,包括丹 598、8723、中 128、

骨马 4404 等玉米自交系;综合表现为中度耐旱的有 25 份,包括 HCL645、四-4112、C8605-2、龙抗 11 等玉米自交系;综合表现为弱耐旱的有 20 份,包括铁 7922、沈 5003、7884、7884-7 等玉米自交系;综合表现为极弱耐旱的有 11 份,包括黄早四、吉 1037、835 等玉米自交系。

表 4 78 份玉米自交系耐旱性的聚类分析
Table 4 Cluster analysis of drought tolerance of 78 elite maize inbred lines in Jilin province

耐旱等级 Drought tolerance level	聚类结果 Clustering result
极强耐旱	郑 58、S121、W9813、6F576
强耐旱	丹 598、8723、中 128、骨马 4404、GS02、GS04(030)、F8276、L201、L269、9F592、M54、K10、吉 853、F1113、P014、E1361、H299、M5972
中度耐旱	HCL645、四-4112、C8605-2、龙抗 11、4F1、81162、沈 137、吉 818、四-495、D34、GS01、GS03(1322)、WH8、Km87、通 1643、KX、D22、PH6WC、KWS10、KWS49、666、V76-1、T106、辽 3180、M03
弱耐旱	铁 7922、沈 5003、7884、7884-7、D1798Z、B1189Z、丹 340、H21、Mo17、自 330、丹 1324、9802、四-287、系 14、丹 988、PHB1M、通 1922、昌 7-2、宁晨 07、F1061
极弱耐旱	黄早四、吉 1037、吉 63、835、PH09B、A801、MD22、PH4CV、KW5G321、KW1A139、T6039

3 结论与讨论

玉米耐旱性是微效多基因所控制的数量遗传性状,是对干旱环境适应能力的综合表现^[19,20]。由于指标间存在一定的相关性,所得统计数据反映的信息在某些程度上有重叠^[21],因此,本研究采用主成分分析的方法,利用降维方式损失较少的信息量,把多指标转化为少数几个综合指标的进行多元统计,较准确地反映各试验自交系的综合耐旱性,研究结果更加准确可靠。

本研究结果表明,苗期干旱胁迫处理后玉米自交系的株高、茎粗、根鲜重、地上鲜重、根干重、地上干重等形态指标相比于非干旱胁迫对照组均有所降低,变异幅度存在差异,与冯鹏飞等的研究结果一致^[22~24]。根鲜重耐旱系数、地上干重耐旱系数作为综合指标更能准确地评价玉米自交系苗期耐旱性,耐旱性强的玉米自交系其耐旱相关性状指标的耐旱系数也较高,说明耐旱系数可作为玉米自交系苗期耐旱性评价的选择指标,与吴文荣的研究结果一致。试验结果比较真实可靠,能为参试玉米自交系苗期耐旱性鉴定结论提供有效的数据支撑。

本研究采用聚类分析的数学分析方法,将 78 份吉林省玉米骨干自交系划分成 5 个耐旱等级,其中 C8605-2、吉 853 等玉米自交系耐旱性与冯朋飞的研

究结果一致;自 330、81162、铁 7922 等玉米自交系耐旱性与朴明鑫^[25]的研究结果一致;龙抗 11、沈 137、沈 5003、丹 340 等玉米自交系耐旱性与韩登旭^[26]的研究结果一致;Mo17、黄早四、7884、吉 1037、H21、吉 63、835 等玉米自交系耐旱性与武斌的研究结果一致。少数自交系如四-287、8723、丹 598、K10 等玉米自交系耐旱性与朴明鑫、冯鹏飞等人研究结果不一致,可能是由于生长条件或鉴定时期等外部环境因素不同造成的结果差异。因此,要对玉米自交系的耐旱性水平达到准确定性,有必要结合其在不同生育期多年多点环境下的多项耐旱相关指标的综合表现来进一步研究探讨。

参考文献:

[1] 陈志辉,曹钟洋,汤彬,等. 大田环境下玉米抗旱相关性状 QTL 定位[J]. 华北农学报,2012(1): 79-86.
Chen Z H, Cao Z Y, Tang B, et al. Mapping QTL for several drought related traits in maize(*Zea mays* L.) under field condition[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2012(1): 79-86. (in Chinese)
[2] Adebayo M A, Menkir A. Assessment of hybrids of drought tolerant maize(*Zea mays* L.) inbred lines for grain yield and other traits under stress managed conditions[J]. Nigerian Journal of Genetics, 2014, 28 (2): 19-23.
[3] Lu Y, Hao Z, Xie C, et al. Large-scale screening for maize drought resistance using multiple selection criteria evaluated under water-stressed and well-watered environments[J]. Field Crops Research, 2011, 124(1): 37-45.

- [4] 冯朋飞,远红杰,郭晋杰,等.不同玉米自交系苗期抗旱性鉴定[J].广东农业科学,2013(9):9-13.
Feng P F, Yuan H J, Guo J J, et al. Evaluation for seedling drought resistance of different genotype maize inbred lines[J]. Guangdong Agricultural Science, 2013(9): 9-13. (in Chinese)
- [5] 朴明鑫,张春宵,杨书华,等.吉林省主推玉米杂交种及骨干系大田全生育期的耐旱评价[J].干旱地区农业研究,2012(6):7-16.
Piao M X, Zhang C X, Yang S H, et al. Analysis of drought tolerance in the whole-growth period of maize hybrids and elite inbred lines predominantly planted in field in Jilin province[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2012(6): 7-16. (in Chinese)
- [6] 任凤阳.玉米自交系萌发特性的评价及SNP关联分析[D].泰安:山东农业大学硕士论文,2014.
- [7] 付凤玲,周树峰,潘光堂,等.玉米耐旱系数的多元回归分析[J].作物学报,2003(3):468-472.
Fu F L, Zhou S F, Pan G T, et al. Multiple regression analysis of drought tolerance coefficients in maize[J]. Acta Agronomica Sinica, 2003(3): 468-472. (in Chinese)
- [8] 冯朋飞.玉米自交系苗期抗旱性鉴定及产量相关性状QTL定位[D].保定:河北农业大学硕士论文,2013.
- [9] 张倩,张洪生,盖伟玲,等.玉米品种早期抗旱性分析[J].山东农业科学,2011(2):21-23.
Zhang Q, Zhang H S, Gai W L, et al. Drought resistance analysis of maize varieties at germination stage[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2011(2): 21-23. (in Chinese)
- [10] 魏秀俭,杨婉身,潘光堂,等.22个玉米自交系的耐旱性综合分析[J].干旱地区农业研究,2005(1):134-137.
Wei X J, Yang W S, Pan G T, et al. Drought tolerance analysis of twenty-two maize inbred lines[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005(1): 134-137. (in Chinese)
- [11] 降云峰,马宏斌,刘永忠,等.玉米抗旱性鉴定指标研究现状与进展[J].山西农业科学,2012(7):800-803.
Jiang Y F, Ma H B, Liu Y Z, et al. Research status and advances of identification index on drought resistance in maize[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2012(7): 800-803. (in Chinese)
- [12] 兰巨生,胡福顺,张景瑞.作物抗旱指数的概念和统计方法[J].华北农学报,1990(2):20-25.
Lan J S, Hu F S, Zhang J R. The concept and statistical method of drought resistance index in crops[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 1990(2): 20-25. (in Chinese)
- [13] Fu F, Feng Z, Gao S, et al. Evaluation and quantitative inheritance of several drought-relative traits in maize[J]. Agricultural Sciences in China, 2008, 7(3): 280-290.
- [14] 陈荣敏,杨学举,梁凤山,等.利用隶属函数法综合评价冬小麦的抗旱性[J].河北农业大学学报,2002(2):7-9.
Chen R M, Yang X J, Liang F S, et al. Comprehensive evaluation on wheat drought resistance traits by subordinate function values analysis[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2002(2): 7-9. (in Chinese)
- [15] Dordas C, Gekas F, Pankou C, et al. Selection of inbred lines and their correspondent hybrids under ultra-spaced and highly dense at normal and water-stress conditions[J]. Procedia Environmental Sciences, 2015, 29: 104-105.
- [16] Papanthanasios F, Dordas C, Gekas F, et al. The use of stress tolerance indices for the selection of tolerant inbred lines and their correspondent hybrids under normal and water-stress conditions[J]. Procedia Environmental Sciences, 2015, 29: 274-275.
- [17] 朴明鑫,李成,金峰学,等.玉米耐旱鉴定研究进展[J].玉米科学,2013(4):89-93.
Piao M X, Li C, Jin F X, et al. Research development about identification of maize drought tolerance[J]. Journal of Maize Sciences, 2013(4): 89-93. (in Chinese)
- [18] 陈春梅.玉米耐旱相关性状的鉴定及其与耐旱候选基因的关联分析[D].呼和浩特:内蒙古农业大学硕士论文,2014.
- [19] 陈勋基,郑军,葛峰,等.玉米不同自交系抗旱性综合评价研究[J].新疆农业科学,2008(2):317-322.
Chen X J, Zheng J, Ge F, et al. Analysis on integrated evaluation of maize drought resistance[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2008 (2): 317-322. (in Chinese)
- [20] 武斌,李新海,肖木辑,等.53份玉米自交系的苗期耐旱性分析[J].中国农业科学,2007(4):665-676.
Wu B, Li X H, Xiao M J, et al. Genetic variation in fifty-three maize inbred lines in relation to drought tolerance at seedling stage[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007(4): 665-676. (in Chinese)
- [21] 杜伟莉,高杰,薛吉全,等.玉米品种开花期抗旱性鉴定指标筛选[J].干旱地区农业研究,2012(5):71-87.
Du W L, Gao J, Xue J Q, et al. Appraisalment for drought resistance index of the different genotype maize varieties at the anthesis stage[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2012(5): 71-87. (in Chinese)
- [22] 吴文荣.玉米不同品种芽苗期抗旱性及指标的研究[D].北京:中国农业科学院硕士论文,2008.
- [23] 齐华,张振平,孙世贤,等.玉米苗期抗旱性形态鉴定指标研究[J].玉米科学,2008(3):60-63.
Qi H, Zhang Z P, Sun S X, et al. Research on seedling evaluation of maize about anti-drought morphological index[J]. Journal of Maize Sciences, 2008(3): 60-63. (in Chinese)
- [24] 王阳.基于导入系和F_(2,3)家系的玉米苗期耐旱性QTL分析[D].北京:中国农业科学院博士论文,2008.
- [25] 朴明鑫,张春宵,杨书华,等.69份玉米自交系的苗期耐旱性分析[J].吉林农业科学,2011(3):13-17.
Piao M X, Zhang C X, Yang S H, et al. Analysis of drought tolerance of sixty-nine maize inbred lines at seedling stage[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2011(3): 13-17. (in Chinese)
- [26] 韩登旭,杨杰,邵红雨,等.中国骨干玉米自交系抗旱性分析与评价[J].西北植物学报,2012(8):1648-1653.
Han D X, Yang J, Shao H Y, et al. Analysis and evaluation of drought resistance of elite maize inbred lines in China[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2012(8): 1648-1653. (in Chinese)

(责任编辑:高阳)