

文章编号: 1005-0906(2009)05-0019-06

我国常用玉米自交系的耐旱性评价

苏治军, 郝转芳, 谢传晓, 李明顺, 张世煌, 李新海

(中国农业科学院作物科学研究所 / 农作物基因资源与基因改良国家重大科学工程, 北京 100081)

摘要: 2007 年冬季和 2008 年春季分别在海南三亚和新疆乌鲁木齐对 196 份玉米自交系采用两种不同干旱胁迫处理, 依据形态性状及产量相关性状评价其耐旱性。通过典型相关分析发现, 株高、雌雄开花间隔天数(ASI)、单穗粒重和结实株数百分率 4 个性状可以作为玉米自交系耐旱性评价指标。采用因子分析方法, 计算株高、雌雄开花间隔天数、单穗粒重和结实株数百分率 4 个性状的综合耐旱系数, 对 196 份玉米自交系进行耐旱性评价, 将试验材料分为耐旱、中度耐旱、中度干旱敏感和干旱敏感 4 种类型。两点试验耐旱级别完全一致的材料有 58 份, 其中耐旱自交系有 7 份(H201、Mo113、英 64、H21、早 49、丹 598、吉 842); 中度耐旱自交系有 14 份(丹黄 02、8902、中 106、郑 22、中黄 68、K22 等), 这些材料为耐旱育种提供了种质基础。

关键词: 玉米; 自交系; 耐旱性评价**中图分类号:** S513.024**文献标识码:** A

Evaluation of Drought Tolerance of Commonly Used Maize Inbred Lines in China

SU Zhi-jun, HAO Zhuan-fang, XIE Chuan-xiao, LI Ming-shun, ZHANG Shi-huang, LI Xin-hai

*(Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences/**National Key Facilities for Crop Gene Resource and Genetic Improvement, Beijing 100081, China)*

Abstract: A total of 196 maize inbred lines were evaluated for drought tolerance with alpha-lattice field design under two water regimes in 2007, Hainan province and 2008 in Xinjiang province, respectively. The 12 phenotypic traits including plant stay green, tassel length, plant height, ear height, leaf rolling, kernel weight per ear, hundred kernels weight, ear row numbers, bared tip, percentage of plant with seeds and kernel number per row were investigated in these trials. The canonical correlation analysis of 12 traits investigated showed that four traits of plant height, ASI (Anthesis-silking interval), kernel weight per ear and percentage of plant with seed were identified to evaluate inbred lines for drought tolerance. Based on factor analysis, integrated DTI (Drought tolerance index) of each inbred line was calculated to classify the maize inbred lines tested into 4 different drought-tolerant types: drought tolerance, medium drought tolerance, medium drought susceptible and drought susceptible. 58 maize inbred lines had the same responses for drought tolerance, including 7 drought tolerant inbred, 14 medium tolerant. These materials were provided for the breeding of drought-tolerant germplasm base.

Key words: Maize; Inbred line; Evaluation of drought tolerance

我国每年约有 50% 玉米种植在干旱、半干旱地

区, 每年因干旱造成玉米减产约 20% ~ 30%, 干旱已成为玉米产量的重要限制因素。生产实践证明, 培育和种植耐旱品种是增强玉米耐旱能力的有效措施。田间直接鉴定法是玉米耐旱性鉴定的主要方法之一。不同玉米自交系对干旱的适应性和抗御能力不同, 准确地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。在干旱胁迫下, 玉米表现出雌穗吐丝延迟、花期间隔(ASI)增大、花期不遇、穗粒数和有效穗数减少、产量下降等。干旱胁迫下产量性状

收稿日期: 2009-05-26; **修回日期:** 2009-09-23**基金项目:** 国家自然科学基金项目(30600394)、国家自然科学基金重大国际合作研究项目(30721140554)**作者简介:** 苏治军(1969-), 内蒙古人, 博士研究生。

李新海和张世煌为本文通讯作者。Tel: 010-82108598

E-mail: lixh2008caas@yahoo.cn

E-mail: cshzhang2000@yahoo.com.cn

的遗传力降低,直接选择效率不高。寻找遗传力高且与产量高度相关的次级性状是提高耐旱选择效率的有效途径。本研究以目前我国玉米生产和育种中的常用自交系为材料,在干旱胁迫和正常灌溉条件下,根据形态及产量相关性状评价其耐旱性,筛选耐旱种质,为玉米耐旱育种提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验选用 196 份我国玉米生产和育种中的常用自交系,这些自交系分别属于不同的杂种优势亚群,具有广泛的遗传基础。

1.2 试验方法

耐旱试验于 2007 年和 2008 年在中国农业科学院作物科学研究所海南试验基地、新疆农业科学院粮食作物研究所综合试验场安宁渠基地进行。试验采用 α -lattice 设计(14 × 14),分为干旱胁迫和正常灌溉两个处理,每个处理 2 次重复,单行区,行长 3.5 m,行距 60 cm。

正常灌溉和干旱胁迫处理播种后均浇水 1 次,

以保证出苗。灌溉处理在播种后每隔 20 d 灌水 1 次,直至收获;胁迫处理在播种后 30 d 灌水,开花期前后均不灌溉,授粉结束后 20 d 左右如果不降雨则灌溉 1 次,若有降雨则不灌溉。

1.3 性状调查与数据处理方法

准确记载自交系的出苗期、散粉期和抽丝期。开花前调查持绿度(分 5 级,1 级为全株绿,5 级为全株 80%以上叶片干黄)和叶片卷曲度(分 5 级,1 级无卷曲,5 级全株高度卷曲)。成熟后考查每个小区的总株数、结实株数、株高、穗位高、雄穗长度和结实株数百分率。收获小区所有果穗考种。

采用 SAS9.0 软件进行方差分析、典型相关分析。选择能够解释 85%以上变异的性状,用以计算耐旱系数,对自交系进行耐旱性评价。

耐旱系数(DTI)= 干旱处理性状值 / 灌溉处理性状值

2 结果与分析

196 份自交系农艺性状的平均值、极值、标准差、变异系数均存在较大变异(表 1、表 2)。

表 1 196 份玉米自交系相关性状的主要参数统计分析(海南)
Table 1 Analysis of phenotypic traits of 196 inbred lines on maize(Hainan)

性 状 Traits	处理方式 Treatment	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	变异幅度 Range	标准差 Standard deviation	变异系数(%) CV
株高(cm)	正常灌溉	68.0	263.60	196.40	195.60	43.24	22.02
	干旱胁迫	56.0	248.00	132.81	192.00	42.92	32.31
穗位高(cm)	正常灌溉	14.0	215.00	74.42	201.00	24.32	32.67
	干旱胁迫	14.6	155.00	50.30	140.40	22.36	44.45
雄穗长(cm)	正常灌溉	16.0	40.20	28.10	24.20	8.70	28.35
	干旱胁迫	15.0	39.80	23.90	24.80	6.32	22.68
ASI(d)	正常灌溉	-4.0	21.00	2.89	25.00	2.80	96.69
	干旱胁迫	-1.0	63.00	6.19	64.00	4.60	74.33
叶片卷曲度	正常灌溉	1.0	3.00	1.01	2.00	0.10	10.03
	干旱胁迫	1.0	5.00	1.77	4.00	0.85	48.07
持绿度	正常灌溉	1.0	4.00	1.39	3.00	0.51	36.94
	干旱胁迫	1.0	5.00	1.79	4.00	0.56	31.27
穗粒重(g)	正常灌溉	0.0	280.00	58.64	280.00	32.22	54.94
	干旱胁迫	0.0	120.00	40.12	120.00	81.28	202.56
百粒重(g)	正常灌溉	8.5	44.70	24.98	36.20	8.22	32.91
	干旱胁迫	9.4	43.35	24.78	33.93	6.25	25.21
穗行数(行)	正常灌溉	4.0	28.50	12.92	24.50	2.33	18.07
	干旱胁迫	4.0	14.00	11.35	10.00	5.33	47.02
行粒数(粒)	正常灌溉	6.3	54.50	19.70	48.17	5.56	28.22
	干旱胁迫	2.5	43.00	13.76	40.50	5.63	40.93
秃尖长(cm)	正常灌溉	0.0	4.10	0.48	4.10	0.50	102.86
	干旱胁迫	0.0	8.08	0.53	8.08	0.61	115.48

表 2 196 份玉米自交系相关性状的主要参数统计分析(新疆)

Table 2 Analysis of phenotypic traits of 196 inbred lines on maize (Xinjiang)

性 状	处理方式	最小值	最大值	平均值	变异幅度	标准差	变异系数
Traits	Treatment	Min	Max	Mean	Range	Std dev	CV%
株高(cm)	正常灌溉	68.0	395.0	210.01	327.00	36.22	17.25
	干旱胁迫	66.0	248.0	168.15	182.00	30.40	18.08
穗位高(cm)	正常灌溉	14.0	215.0	85.07	201.00	25.08	29.48
	干旱胁迫	17.0	155.0	67.68	138.00	18.45	27.27
雄穗长(cm)	正常灌溉	16.4	41.7	30.69	25.30	9.14	35.43
	干旱胁迫	14.0	41.0	26.20	27.00	6.88	25.48
ASI(d)	正常灌溉	0.0	21.0	3.92	21.00	3.14	80.14
	干旱胁迫	0.0	63.0	5.59	63.00	5.14	91.82
持绿度	正常灌溉	1.0	4.0	1.77	3.00	0.48	27.02
	干旱胁迫	1.0	5.0	1.89	4.00	0.60	31.69
叶片卷曲度	正常灌溉	1.0	3.0	1.02	2.00	0.14	14.08
	干旱胁迫	1.0	5.0	1.14	4.00	0.54	46.99
穗粒重(g)	正常灌溉	0.0	240.0	78.71	240.00	29.97	38.08
	干旱胁迫	0.0	120.0	58.79	120.00	112.07	190.64
百粒重(g)	正常灌溉	8.5	44.7	30.27	36.20	7.97	26.33
	干旱胁迫	9.9	43.5	29.15	33.45	5.07	17.39
穗行数(行)	正常灌溉	4.0	20.8	12.69	16.75	2.43	19.16
	干旱胁迫	4.0	14.0	11.49	10.00	7.31	63.66
行粒数(粒)	正常灌溉	6.3	34.6	21.22	28.30	5.65	26.65
	干旱胁迫	3.0	43.0	15.84	40.00	6.21	39.18
秃尖长(cm)	正常灌溉	0.0	4.1	0.54	4.10	0.49	90.77
	干旱胁迫	0.0	8.1	0.48	8.10	0.64	132.36
结实株数百分率(%)	正常灌溉	0.0	100.0	87.00	100.00	0.22	25.68
	干旱胁迫	0.0	100.0	80.00	100.00	0.26	31.76

2.1 主要性状的耐旱性

表 3 各性状的联合方差分析

Table 3 Combined analysis of variance among the traits

变异来源	持绿度	雄穗长	花期间隔	株 高	穗位高	叶片卷曲度
Variation source	Stay green	Tassel length	ASI	Plant height	Ear height	Leaf rolling
地 点	517.13**	66.43**	6.53**	1 405.80**	2 369.80**	939.23**
处 理	345.07**	156.35**	344.12**	2 363.27**	1 776.21**	1 406.46**
重 复	2.36	0.00	0.15	2.09	9.33**	6.44*
自交系	1.87**	2.10**	1.65**	5.18**	10.12**	1.39**
自交系×地点	1.85**	1.39**	1.57**	2.42**	4.50**	1.13

变异来源	穗粒重	百粒重	穗行数	行粒数	秃尖长	结实株数百分率
Variation source	Ear grain weight	100-kernel weight	Rows number per ear	Kerels number per row	Bare top length	Percentage of seed plants
地 点	1 909.17**	1 476.77**	0.41	232.73**	0.15	19.30**
处 理	404.75**	0.18	63.74**	689.66**	3.12	94.31**
重 复	2.33	0.85	0.42	0.24	0.09	0.80
自交系	38.79**	3.46**	1.45**	3.27**	2.50**	1.96**
自交系×地点	29.17**	1.97**	1.21*	2.24**	1.38**	1.50**

注: * 为 5%显著水平, ** 为 1%显著水平。 Note: * indicates the significance at 5% level, ** indicates the significance at 1% level.

2007 年海南干旱胁迫处理的单穗粒重比正常灌溉减产 0.2% ~ 88.9%, 平均 44.1%; 2008 年新疆干旱胁迫处理的单穗粒重比正常灌溉减产 0.2% ~ 92.1%, 平均 38.3%, 属于中度干旱胁迫。自交系各性状的联合方差分析表明, 各性状在处理间差异达到极显著或显著水平, 重复间不显著(表 3)。在地点、自交系、自交系与地点互作 3 个因素上, 多数性状间的差异达到极显著或显著水平, 表明地点、处理、自交系以及基因与环境的相互作用对玉米自交系耐旱性均有重要影响。

将所调查的性状分为形态性状与产量性状两组变量。典型相关分析表明, 有两对典型变量间的差异达到极显著, 在干旱处理中其特征根的累计方差贡献率为 92.14%, 具有显著的代表性(表 4)。干旱胁迫下形态性状的典型变量与株高、穗位高存在显著的正相关, 相关系数分别为 0.915 和 0.819; 与 ASI、叶片卷曲度为负相关, 相关系数分别为 -0.819 和 -0.761 (表 5)。这说明较高的株高和穗位高、较小的 ASI 值以及较低的叶片卷曲度等级是玉米自交系较耐旱的

表现。

表 4 玉米自交系干旱胁迫处理的典型相关分析
Table 4 Canonical correlation analysis of drought tolerance on maize inbred lines

典型变量 Typical variable	特征根 Eigenvalue	特征值差 Difference	方差贡献率 Proportion	累计方差 贡献率 Cumulative
1	0.327 1	0.200 7	0.664 5	0.664 5
2	0.126 4	0.105 0	0.256 9	0.921 4
3	0.021 4	0.011 3	0.043 5	0.964 9
4	0.010 1	0.003 1	0.020 4	0.985 3
5	0.007 0	0.006 7	0.014 2	0.999 5
6	0.000 3		0.000 5	1.000 0

干旱胁迫下产量性状的典型变量与单穗粒重、百粒重、穗行数、行粒数、结实株数百分率及秃尖长的相关系数分别为 0.215、0.975、0.740、0.594、0.712 和 -0.219。产量性状的典型变量与产量组成成分之间的相关性十分显著, 这与性状本身的特性是相关的(表 5)。

表 5 典型变量与各性状间的相关系数
Table 5 Coefficients between the canonical variables and the traits

项 目 Item	典型变量 Typical variable	处 理 Treatment	持绿度 Stay green	花期间隔 ASI	株 高 Plant height	穗位高 Ear height	雄穗长 Tassel length	叶片卷曲度 Leaf rolling
形态性状	U1	正常灌溉	0.002	-0.851	0.402	0.389	-0.047	0.148
		干旱胁迫	0.218	-0.061	0.915	0.819	0.079	-0.761
	U2	正常灌溉	0.559	0.297	0.593	0.070	0.536	0.164
		干旱胁迫	-0.265	-0.819	0.020	-0.145	-0.345	-0.137
产量性状	V1	正常灌溉	0.001	-0.243	0.115	0.111	-0.013	0.042
		干旱胁迫	0.108	-0.030	0.454	0.407	0.039	-0.378
	V2	正常灌溉	0.138	0.073	0.146	0.017	0.132	0.041
		干旱胁迫	-0.089	-0.274	0.007	-0.048	-0.116	-0.046

项 目 Item	典型变量 Typical variable	处 理 Treatment	穗粒重 Grain weight	百粒重 100-kernel weight	穗行数 Rows number per ear	行粒数 Kerels number per row	秃尖长 Bare top length	结实株数百分率 Percentage of seed plants
形态性状	U1	正常灌溉	0.406	-0.313	0.215	0.604	-0.221	0.784
		干旱胁迫	0.105	0.484	-0.129	-0.023	-0.109	0.009
	U2	正常灌溉	0.752	0.417	-0.295	0.499	0.258	-0.388
		干旱胁迫	0.072	0.001	0.248	0.199	-0.003	0.238
产量性状	V1	正常灌溉	0.406	-0.313	0.215	0.604	-0.221	0.784
		干旱胁迫	0.212	0.975	-0.260	-0.046	-0.219	0.017
	V2	正常灌溉	0.752	0.417	-0.295	0.499	0.258	-0.388
		干旱胁迫	0.215	0.004	0.740	0.594	-0.008	0.712

上述分析说明株高、穗位高、穗粒重、百粒重、行粒数及结实株数百分率是与玉米耐旱性呈正相关的性状; 而 ASI、叶片卷曲度及秃尖长与耐旱性呈负相

关。株高、ASI、单穗粒重与结实株数百分率可作为耐旱性评价指标。

2.2 玉米自交系的耐旱分级

对玉米耐旱相关性状 ASI、株高、穗粒重和结实株数百分率进行因子分析,用每个因子的贡献率作为权重值,计算综合耐旱系数,对自交系进行耐旱性评价。为便于比较干旱胁迫条件下玉米自交系的耐旱性,采用干旱处理条件下的逐级分类法,即以耐旱系数的样本平均值为基准,将试验材料分为耐旱和干旱敏感两类;再分别以两类的平均值为基准,将试验材料分为强耐旱、中度耐旱、中度干旱敏感和干旱敏感 4 种类型(表 6)。

表 6 分级结果表明,干旱胁迫条件下玉米的耐旱性表现出较大的差异。2007 年海南试验材料平均耐旱系数为 0.828 6;2008 年新疆试验材料平均耐旱系数为 0.650 3。两点试验耐旱级别完全一致的材料有 58 份,其中表现为耐旱的材料有 7 份(H201、Mo113、英 64、H21、早 49、丹 598、吉 842);中度耐旱的材料有 14 份(丹黄 02、8902、中 106、郑 22、中黄 68 等);中度干旱敏感的材料有 24 份(丹 340、吉 818、B73、铁 7922 等);干旱敏感的材料有 13 份(CA339、E28、200B、川 1073-713 等)。

表 6 196 份玉米自交系耐旱性(耐旱系数)分类标准
Table 6 The criterion based on drought tolerance index
in 196 maize inbred lines

耐旱类型 Type of drought tolerance	海 南 Hainan	新 疆 Xinjiang
强 耐 旱	>0.935 7	>0.712 0
中度耐旱	0.828 6 ~ 0.935 7	0.651 5 ~ 0.712 0
中度干旱敏感	0.748 2 ~ 0.8286	0.607 3 ~ 0.651 5
干旱敏感	<0.748 2	<0.607 3

2007 年海南试验,吉 63、B84、掖 52106 等 9 份自交系表现为中度耐旱,而在 2008 年新疆试验则表现为耐旱;2007 年海南试验,红玉米、502、888-9 等 11 份自交系表现为强耐旱,而在 2008 年新疆试验表现为中度耐旱;2007 年海南试验,掖 515、鲁 2548、汶黄等 14 份自交系表现为干旱敏感,在 2008 年海南试验表现为中度干旱敏感;2007 年海南试验,ES40、郑 29、辽 138 等 15 份自交系表现为中度干旱敏感,而在 2008 年新疆试验表现为干旱敏感。但中 451、冀 53、M3005 等 43 份自交系在两种环境下对干旱的反应差异很大,这部分材料需要进一步鉴定。

3 讨 论

干旱对玉米所造成的危害涉及生长发育的各个

阶段,影响生理生化代谢的多种途径。玉米的耐旱性是复杂的综合性状,干旱胁迫环境下,植株细胞在结构、生理生化等方面发生一系列适应性反应后,最终在形态和产量上集中表现。目前,国内的玉米耐旱研究主要是在形态指标、生理生化、分子标记等方面开展工作。众多研究表明,提高玉米品种的耐旱性是减少干旱带来损失的有效途径。

玉米耐旱性鉴定需要合适的鉴定指标。多数学者认识到采用单一指标评价玉米耐旱性难以符合实际,提出了多指标的重复测定,但至今没有形成一套简单、有效、实用的指标体系。本文采用典型相关分析方法研究了玉米在两种环境、两种水分处理下对干旱的反应,将调查的性状分为形态性状和产量性状。主要是由于玉米的耐旱性最终体现在产量上,影响产量的性状很多,彼此间既相互联系又相互制约。采用典型相关分析可以综合地反映两组变量间相关的本质,并指示各性状在组内的相对重要性,可以降低和简化分析过程,协调好各个性状的相互关系,提高育种效率。本研究结果表明,产量性状组的典型变量与持绿度、叶片卷曲度、雄穗长等性状相关性不大,而与产量组成成分(如百粒重、穗行数、行粒数、结实株数百分率)之间的相关性显著,这与性状本身的特性是相关的。但这些产量构成因素的遗传力较低,而 ASI、持绿度、叶片卷曲度与子粒产量相关不显著的性状遗传力较高,而且形态性状与植株的耐旱性直接相关。在耐旱育种中,针对 ASI 等遗传力较高并且与产量相关的第二性状进行选择,会提高选择效率。在分析两个性状组的典型变量与各性状间相关性的基础上,结合生产和育种实际,提出株高、ASI、穗粒重和结实株数百分率作为玉米自交系田间耐旱鉴定的指标,这与前人研究结果基本一致。

在不同环境下对玉米耐旱性的比较研究发现,有些自交系耐旱表现出一致性,说明其耐旱性具有相对的稳定性;而另一些自交系的耐旱类型不一致。影响耐旱性不稳定的原因主要有:①玉米自交系的遗传背景。一般认为,作物耐旱性是由微效多基因控制的数量性状,玉米对不同胁迫水平响应不同,诱导表达基因差异性可能是导致不稳定性的内在因素之一。在进行玉米耐旱性鉴定时,要充分考虑玉米自交系的群体结构,不同的杂种优势群对干旱的响应有一定的差异。②玉米自交系的生育期差异。本文所选用的材料包括玉米自交系的早熟、中熟和晚熟类型。在胁迫强度与持续时间差异条件下,不同生育期的玉米自交系对水分生理代谢反应可能不同,在总体

控制干旱胁迫的时机及胁迫程度上有一定难度。③试验环境的生态条件。主要包括干旱时期、持续时间、胁迫强度、土壤类型、肥力、光照、大气温度与湿度,试验基地间生态条件存在很大区别是产生不稳定性的环境因素。④耐旱的评价指标与分级标准。不同学者采用不同耐旱评价指标和分级标准也会影响耐旱性评价的一致性。因此,玉米耐旱性评价的准确性需要不同研究结果的相互佐证。此外,不同自交系在不同环境下的差异较大,说明环境对于耐旱性表型影响很大,因此多年多点鉴定数据对于耐旱性分析十分重要。

玉米耐旱育种目的在于改变基因型对于干旱环境的反应,实现耐旱性和丰产性相结合。根据种质基础,耐旱育种策略主要有两点:一是培育耐旱回交导入系,在耐旱鉴定的基础上,选择耐旱基因供体和改良受体,组配回交群体,结合田间试验评价耐旱相关性状(如 ASI、结实株数百分率、穗粒重等),入选材料进行配合力分析后,配制杂交组合。在进行自交系的回交改良时,根据育种目标的要求,一般选择同一杂种优势群体内 2 个或 2 个以上自交系,通过杂交、回交、自交及人工选择等育种手段,选育出综合性状明显优于原基础材料的新自交系;二是耐旱群体改良,筛选耐旱种质,组建耐旱群体。我国玉米耐旱育种研究尚处于起步阶段,种质资源研究滞后,亟待挖掘耐旱基因,研究耐旱育种及种质改良方法。在耐旱育种中,组建耐旱丰产基础材料时要充分考虑从当前广泛利用的自交系、杂交种中筛选优良耐旱资源。在我国推广的杂交种或亲本中存在较高频率的耐旱等位基因,对其进行耐旱性鉴定是实现高起点快速选育耐旱玉米品种的有效途径。本文通过两点试验鉴定出耐旱性一致的自交系 58 份,其中耐旱自交系 7 份,中度耐旱自交系 14 份,这些材料为培育耐旱回交导入系和组建耐旱群体提供了材料基础。

参考文献:

- [1] 吴景社. 世界水土资源的潜力与粮食人口问题[J]. 世界农业, 1994(2): 6-8.
- [2] 李江风. 中国干旱半干旱地区气候环境与区域开发研究[M]. 北京: 气象出版社, 1990.
- [3] 兰巨生, 胡福顺, 张景瑞. 作物耐旱指数的概念和统计方法[J]. 华北农学报, 1990, 5(2): 20-25.
- [4] Bolanos J, Edmeades G O. Eight cycles of selection for drought tolerance in low land tropical maize. I. Responses in yield, biomass and radiation utilization[J]. Field Crop Res., 1993, 31: 233-252.
- [5] Ribaut J M, Hoisington D A, Deutsch J A, et al. Identification of quantitative trait loci under drought conditions in tropical maize. I Flowering parameters and anthesis-silking interval[J]. Theor. Appl. Genet., 1996, 92: 905-914.
- [6] Martiniello. P, Lorenzoni. C. Response of maize genotypes to drought tolerance tests[J]. Maydica, 1985, 30(4): 361-370.
- [7] Fropa C., Krajewski P, Di F N, et al. Genetic analysis of drought tolerance in maize by molecular markers[J]. Theor. Appl. Genet., 1999, 99: 289-295.
- [8] Bolanos J, Edmeades G O. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize[J]. Field Crop Res., 1996, 48: 65-80.
- [9] Edmeades G O, Bolanos J, Chapman S C, et al. Selection improves drought tolerance in tropical maize populations: I. Gains in biomass, grain yield, and harvest index[J]. Crop Sci., 1999, 39: 1306-1315.
- [10] Xie C X, Warburton M L, Li M S, et al. An analysis of population structure and linkage disequilibrium using multilocus data in 187 maize inbred lines[J]. Mol. Breeding, 2008, 21: 407-418.
- [11] 张世煌. 田间评价玉米杂交种的基本方法[J]. 北京农业, 2007 (26): 36-37.
- [12] 张凤路, 杨志良, Kirubi D. 耐旱性玉米筛选的形态指标研究[J]. 河北农业大学学报, 2003, 26(3): 22-29.
- [13] 黎 裕, 王天宇, 刘 成, 等. 玉米抗旱品种的筛选指标研究[J]. 植物遗传资源学报, 2004, 5(3): 210-215.
- [14] 路贵和, 戴景瑞, 张书奎, 等. 不同干旱胁迫条件下我国玉米骨干自交系的抗旱性比较研究[J]. 作物学报, 2005, 31(10): 1284-1288.
- [15] 白莉萍, 隋方功, 孙朝晖, 等. 土壤水分胁迫对玉米形态发育及产量的影响[J]. 生态学报, 2004, 24(7): 1556-1560.
- [16] 宋凤斌, 戴俊英. 干旱胁迫对玉米雌穗生长发育和产量的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2000, 22(1): 18-22.
- [17] 宋凤斌, 戴俊英. 玉米对干旱胁迫的反应和适应性 II. 玉米雌穗和雄穗生长发育对干旱胁迫的反应[J]. 吉林农业大学学报, 2005, 27(1): 1-5, 10.
- [18] 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, 29(3): 468-472.
- [19] 宋凤斌, 徐世昌. 玉米抗旱性鉴定指标的研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(1): 127-129.
- [20] 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, 23(1): 134-137.
- [21] 黎 裕, 王天宇, 石云素, 等. 应用生理学方法和分子手段进行玉米耐旱育种[J]. 玉米科学, 2004, 12(2): 16-20, 25.
- [22] Betran F J, Beck D, Banziger M, et al. Secondary traits in parental inbreds and hybrids under stress and non-stress environments in tropical maize[J]. Field Crop Res., 2003, 83: 51-65.
- [23] 陈学求, 栾立明, 贾恩吉, 等. 玉米耐旱性鉴定与耐旱性育种初报[J]. 吉林农业大学学报, 1999, 21(1): 5-9.
- [24] 刘贤德, 李新海, 张世煌. 玉米开花期耐旱相关性状的遗传及育种策略[J]. 玉米科学, 2002, 10(3): 13-18.

(责任编辑: 张 英)