

特旱条件下玉米自交系抗旱性评价

孟庆立¹, 赵宁娟¹, 张宇文¹, 屈洋¹, 张华锋¹, 胡银岗²

(1. 宝鸡市农业科学研究所, 陕西 岐山 722499;

2. 西北农林科技大学旱区作物逆境生物学国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为了发掘和利用玉米抗旱种质资源, 选育耐旱高产的玉米杂交种, 通过全生育期控水试验, 对 58 个玉米优良自交系的抗旱性进行了鉴定和评价, 并进行了抗旱性聚类分析和遗传背景分析。结果表明: 在特旱条件下, 58 个自交系减产幅度为 40.6% ~ 100%, 平均产量下降了 81.6%; 结实率、穗行数、行粒数、出籽率 4 个性状分别与抗旱系数或抗旱指数存在显著或极显著的相关性, 可作为玉米自交系抗旱性评价的关键指标; 根据抗旱性的不同, 58 个自交系可划分为 3 类, 其中第 I 类自交系 K12、PB1139、RD6 的抗旱性极强, 第 II 类自交系 CL11、郑 58、P138、特早熟、Ft45-5 具有较强的抗旱潜力。为了便于利用杂种优势, 将不同抗旱性的自交系按照其所属遗传类群进行了再次划分, 58 个自交系可划分为 2 个类群, 其中 A 群中抗旱性强的自交系有 CL11 和郑 58, B 群中抗旱性强的自交系有 K12、PB1139、RD6、Ft45-5、P138 和特早熟。

关键词: 特旱; 玉米自交系; 抗旱性; 遗传分析

中图分类号: S513 **文献标志码:** A

Evaluation of drought resistance on maize inbred lines under special drought conditions

MENG Qing-li¹, ZHAO Ning-juan¹, ZHANG Yu-wen¹, QU Yang¹,
ZHANG Hua-feng¹, HU Yin-gang²

(1. Agricultural Science Institute of Baoji, Qishan, Shaanxi 722499, China;

2. Northwest A&F University/State Key Laboratory of Crop Stress Biology for Arid Areas, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to excavate and use drought resistance maize germplasm resources, and to select high yield and drought resistance maize seeds, 58 elite inbred lines had been evaluated on their drought resistance by use of water control during the growth period. Dendrogram of drought resistance and genetic group had been clustered at the same time. The results showed that the yield decreasing range reached 40.6% ~ 100%, and the average yield was decreased by 81.6% under special drought condition. Seed setting rate, ear rows, kernels per row, and seed-producing ratio had significant or very significant correlations with drought resistance coefficients and indexes. They could be used as key indicators of drought resistance of maize inbred lines. 58 inbred lines could be divided into 3 groups according to their drought resistance. K12, PB1139, RD6 had particular resistance ability on drought stress. Inbred lines CL11, ZHENG58, P138, SPECIAL EARLY MAIZE, Ft45-5 had great potential on drought-resistance. In order to use their heterosis, 58 inbred lines could be divided to 2 groups according to their genetic distances. CL11 and ZHENG 58 belonged to A group and K12, PB1139, RD6, Ft45-5, P138 and SPECIAL EARLY MAIZE belonged to B group.

Keywords: special drought conditions; maize inbred lines; drought resistance; genetic analysis

干旱是影响玉米生产最重要的非生物胁迫因素, 近年来, 全球气候变化引发我国华北、黄淮、东北、西南多地持续干旱, 导致灌区玉米生产成本剧

增, 雨养地区玉米减产绝收。如何提高玉米杂交种的抗旱能力, 已成为新品种选育急需攻克的难关。

由于玉米自交系亲本及 F1 代间抗旱性存在一

收稿日期: 2015-09-04

基金项目: 旱区作物逆境生物学国家重点实验室开放课题基金 (CSBAA201214); 陕西省科技厅农业科技创新与攻关项目 (2016NY-004)

作者简介: 孟庆立 (1979—), 男, 河南孟州人, 主要从事玉米遗传育种及种质改良研究。E-mail: mengqingli@163.com。

通信作者: 胡银岗 (1967—), 男, 陕西韩城人, 主要从事作物逆境生物学及遗传育种研究。E-mail: huyingang@126.com。

定相关性。抗旱性强的自交系,其杂交种的抗旱性也较好;反之抗旱性弱的自交系,其杂交种抗旱性也相对较弱^[1]。因此,在抗旱玉米杂交种的选育过程中,首先要对自交系的抗旱性进行准确鉴定。

前人对自交系抗旱性开展了多方面的研究,主要集中在抗旱鉴定方法的研究^[2-3],抗旱指标的选择和抗旱评价体系的建立^[4-6],不同基因型玉米自交系抗旱性的鉴定^[7-9],不同时期抗旱性研究^[10-12],骨干自交系抗旱性分析与评价^[13-14],干旱胁迫对玉米农艺和生理性状的影响^[15-17],以及玉米自交系抗旱性 QTL 定位研究^[18-20]等方面。

上述研究中,干旱处理多从抽雄散粉期开始(萌芽期和苗期研究除外),处理时间较短,干旱程度多为中等或重度干旱。为了筛选特别抗旱的自交系材料,本试验仅在播种后灌水一次,保证出苗,之后不再灌水,从而研究特旱条件下玉米自交系的抗旱能力,为组配抗旱玉米杂交种提供基础材料。

1 材料与方法

1.1 材料

选取我国陕西、山西、河南等地常用玉米自交系 58 个。

1.2 方法

试验于 2013 年在西北农林科技大学作物抗旱节水试验场进行,干旱棚内和棚外种植相同的玉米自交系,1 行区,行长 4 m,行距 0.6 m,株距 0.2 m,重复 3 次,干旱棚内仅在播种后浇水保证出苗,以后不再浇水,棚外材料根据天气情况正常管理。

抽雄吐丝期记载散粉至吐丝间隔时间(Anthesis silking interval, ASI);在 50% 的对照材料达抽雄期时,烘干法测定干旱处理与对照 10~20 cm 深度土壤相对湿度,5 点取样;同时在对照组每行取样 3 株,从叶鞘与叶片连接处剪取穗位叶,离体叶片称重法测定叶片保水力;除取过样的植株外,收获前逐株测定株高、穗位,计算结实率;逐行收获计产,每行取样 5 穗测定穗长、穗行数、行粒数、百粒重、籽粒含水量和出籽率,不足 5 穗的按实收穗数进行考种。

1.3 数据处理

叶片保水力采用测定值/最大值的相对值(规格化以便数据比较分析),其余各指标均采用干旱胁迫处理和对照测定的相对值。

抗旱系数(DC) = 干旱胁迫后的产量/正常浇水的产量

抗旱指数(DI) = 抗旱系数(DC) × 干旱胁迫后的产量/干旱胁迫后平均产量

应用 Excel2003 和 DPS7.05 软件,计算各指标与抗旱系数和抗旱指数之间的相关系数,选择相关性达显著水平的指标计算各自交系的抗旱指数综合评价(D 值), $D = \sum [x_i (r_i / \sum |r_i|) / \sum (r_i / \sum |r_i|)] (i = 1 \cdots n)$ 。其中, x_i 为各自交系干旱处理和对照相对值, r_i 为第 i 个指标与抗旱系数或抗旱指数的偏相关系数, $r_i / \sum |r_i|$ 为指标权重值,表示第 i 个指标在所有筛选出指标中的重要程度,若存在与抗旱系数和抗旱指数相关均达显著水平的指标,选取较大的偏相关系数进行计算。

以 58 个自交系的抗旱系数、抗旱指数和抗旱指数综合评价为基础,利用 DPS7.05 软件进行抗旱性聚类分析。采用系统聚类的方法(UPGMA 类平均法),由于数据均为相对值,不再进行数据转换。

2 结果与分析

2.1 干旱处理的强度

干旱处理的土壤相对湿度为 26.09% ~ 30.97%,平均 29.18%,达到了特旱的标准^[20]($< 30\%$)。干土层的厚度为 13~16 cm,平均 14.5 cm,也达到了特旱的标准(> 12 cm)。58 个自交系减产幅度为 40.6% ~ 100%,干旱处理下自交系产量较对照平均下降了 81.6%,减产幅度也达到了特旱的标准($> 80\%$)。

2.2 抗旱评价指标筛选

与作物抗旱性相关的性状和指标很多,常用的有叶片保水力、粉丝间隔期(Anthesis - silking interval, ASI)等生理指标,株高、穗位、穗长等农艺性状,还有结实率、穗行数、行粒数、百粒重、出籽率等产量性状。这些性状和指标能够从不同侧面反映作物的抗旱能力和特点;而抗旱系数和抗旱指数是反映作物抗旱性的综合指标,与这两项指标显著相关的指标,应该可以作为评价作物抗旱性的关键指标。利用 DPS7.05 软件,将各测定指标的相对值进行相关性分析,得出各指标之间的相关性系数表(见表 1)。

从表 1 可以看出,叶片保水力和籽粒含水量与其他指标的相关性不大;粉丝间隔期与株高、结实率显著负相关,说明干旱条件下,株高越矮,粉丝间隔期越长,结实率越低;株高与穗位显著正相关;结实率与穗行数、行粒数、出籽率、抗旱指数、抗旱系数显著或极显著正相关;穗长与行粒数、百粒重显著或极显著正相关;穗行数与行粒数、出籽率、抗旱系数极显著正相关;出籽率与抗旱系数、抗旱指数极显著正相关。其中,结实率、穗行数、行粒数、出籽率 4 个性状分别与抗旱系数或抗旱指数存在显著或极显著的

相关性,因此可以作为抗旱性评价的关键指标。

2.3 玉米自交系抗旱性综合评价

从表 2 可知,58 个自交系的抗旱系数变化范围为 0.008 ~ 0.594,抗旱指数的变化范围为 0.003 ~ 1.011,抗旱指数综合评价价值的变化范围为 0.203 ~

0.899,其均值分别为 0.184、0.144 和 0.582。其中,K12 的抗旱系数和抗旱指数均最高,说明其自身抗旱能力和相对抗旱能力均强,CL11 的抗旱指数综合评价价值最高,说明其综合抗旱能力最强。

表 1 抗旱指标间的相关系数

Table 1 The correlation coefficients of drought resistance evaluation indicators

指标 Indicators	叶片保 水力 Leaf water conser- vation	粉丝间 隔时间 Anthesis silking interval	株高 Plant height	穗位 Ear positi on height	结实率 Seed setting rate	穗长 Ear length	穗行数 Ear rows	行粒数 Kernels per row	百粒重 100- seed weight	籽粒含 水量 Grain moisture	出籽率 Seed producing percentage	抗旱 系数 Drought resistance coefficient
粉丝间隔时间 Anthesis-silking interval	0.10											
株高 Plant height	-0.22	-0.27*										
穗位 Ear position height	-0.10	-0.03	0.30*									
结实率 Seed setting rate	0.17	-0.27*	0.17	-0.11								
穗长 Ear length	-0.07	0.04	-0.06	-0.11	0.10							
穗行数 Ear rows	0.22	-0.08	-0.08	-0.10	0.40**	0.17						
行粒数 Kernels per row	0.18	0.06	-0.02	-0.25	0.26*	0.28*	0.47**					
百粒重 100-seed weight	-0.24	-0.05	-0.02	-0.03	0.11	0.33**	0.23	0.08				
籽粒含水量 Grain moisture	-0.03	-0.07	0.08	0.00	0.03	-0.10	0.10	0.08	-0.02			
出籽率 Seed-producing percentage	-0.04	0.09	0.05	-0.04	0.29*	-0.04	0.52**	0.24	0.24	0.23		
抗旱系数 Drought resistance coefficient	-0.01	-0.12	0.20	0.05	0.78**	0.18	0.45**	0.26*	0.17	0.05	0.61**	
抗旱指数 Drought resistance index	0.07	-0.06	0.11	-0.16	0.47**	0.04	0.17	0.20	0.07	0.00	0.40**	0.56**

注 Note: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。

2.3.1 抗旱性聚类分析 聚类结果如图 1 所示,从图 1 可知,根据抗旱性的不同,以欧氏距离 0.50 为阈值,58 个自交系被划分为 3 类,第 III 类又可分为两个亚类(III-1, III-2):

第 I 类包括 K12、PB1139 和 RD6 共 3 个材料。其中 K12 的抗旱系数和抗旱指数均为所有材料中最高,抗旱指数综合评价价值也较高,因此是 58 个自交系中抗旱性最强的。PB1139 的抗旱系数次高,说明干旱处理对其产量影响相对较小,抗旱性极好。RD6 抗旱系数一般,抗旱指数却位居第二,反映出该自交系虽然受旱减产,但与其它自交系相比,仍有较高的籽粒产量。

第 II 类包括 CL11、郑 58、P138、特早熟、Ft45-5

共 5 个材料。CL11 的抗旱指数综合评价价值最高,是因为其抗旱性评价的 4 项关键指标(结实率,穗行数,行粒数,出籽率)均高,说明该自交系具有极强的抗旱潜力。郑 58 等其余 4 个自交系的抗旱指数综合评价价值也位居前列,因此也是抗旱潜力强的材料。

第 III-1 类包括 04-1 等 26 个自交系,抗旱能力中等。

第 III-2 类包括 M54 等 24 个自交系,抗旱能力差。

2.3.2 遗传背景分析 为了便于利用杂种优势,结合田间测配、SSR 结果和相关文献[21]、[23]、[24],将不同抗旱性的自交系按照其所属遗传类群进行了再次划分(见表 3)。58 个自交系可划分为 2 个类

群,其中 A 类包括 PA、BSSS 和旅大红骨类群, B 类包括 Lan、PB 和四平头类群。A 群中包括抗旱性强的自交系 2 个、抗旱性中等的 19 个、抗旱性差的 18

个; B 群中包括抗旱性极强和强的各 3 个,抗旱性中等的 6 个,抗旱性差的 7 个。

表 2 58 个自交系的抗旱系数、抗旱指数和抗旱指数综合评价

Table 2 Drought resistance coefficients, indexes and D values of 58 maize inbred lines

名称 Name	抗旱系数 Drought resistance coefficient	抗旱指数 Drought resistance index	抗旱指数综 合评价 D value	名称 Name	抗旱系数 Drought resistance coefficient	抗旱指数 Drought resistance index	抗旱指数 综合评价 D value
CL11	0.483	0.372	0.899	浚 9058 Xun 9058	0.304	0.009	0.586
04-1	0.209	0.279	0.826	I0604	0.166	0.037	0.586
郑 58 Zheng 58	0.413	0.252	0.819	PX 混 14 PX mix 14	0.161	0.030	0.581
178	0.369	0.135	0.818	M54	0.098	0.110	0.565
特早熟 Special early maize	0.396	0.412	0.817	2305	0.219	0.187	0.556
P138	0.525	0.301	0.801	PXA02	0.107	0.016	0.548
F145-5	0.435	0.523	0.800	776	0.031	0.079	0.543
郑 58M Zheng 58M	0.349	0.157	0.788	B3852	0.085	0.175	0.518
02051	0.332	0.091	0.775	PA1118	0.108	0.051	0.516
98-2-2	0.462	0.048	0.766	235	0.074	0.104	0.495
K12	0.594	1.011	0.760	PA1130	0.049	0.007	0.482
BJ2010PA-1	0.223	0.026	0.754	798-1	0.067	0.004	0.481
B162	0.209	0.038	0.744	铁 7922 Tie 7922	0.027	0.054	0.477
13053	0.232	0.025	0.743	DJ7	0.046	0.004	0.464
F172-2	0.307	0.142	0.734	XSQ110	0.069	0.025	0.443
RD6	0.186	0.975	0.734	H21	0.040	0.003	0.432
IB014	0.365	0.135	0.720	保 A-351 Bao A-351	0.045	0.004	0.425
9801	0.243	0.008	0.717	浚 313 Xun 313	0.042	0.047	0.421
PHB1M	0.078	0.106	0.715	F126-1	0.099	0.023	0.387
04005-3	0.219	0.159	0.708	2011	0.054	0.114	0.356
沈玉 17 Shenyu 17	0.083	0.365	0.702	2209	0.036	0.007	0.341
郑 58 变 Zheng 58 variation	0.272	0.018	0.699	F152	0.032	0.010	0.336
L239	0.266	0.035	0.697	889	0.019	0.032	0.315
C111-1	0.082	0.361	0.682	齐 319 Qi 319	0.015	0.029	0.314
Kx99-25	0.245	0.106	0.664	PH6AT	0.008	0.010	0.308
PB1139	0.583	0.679	0.643	K22	0.012	0.017	0.288
06027-3	0.197	0.009	0.593	济 533 Ji 533	0.008	0.004	0.260
自 330-8 Zi 330-8	0.062	0.202	0.590	2009	0.014	0.043	0.239
F163	0.200	0.153	0.588	97-25-2	0.015	0.009	0.203
均值 Average	0.184	0.144	0.582				

3 讨论

3.1 特旱条件下自交系抗旱性鉴定的意义

根据《气象干旱等级》国家标准^[22],可以将干旱划分为无旱、轻旱、中旱、重旱、特旱 5 个等级。路贵和等^[14]在海南、甘肃两地,利用自然干旱研究了玉米自交系的抗旱性,平均抗旱系数分别为 0.8661(海南)和 0.6304(甘肃),为轻度和中度干旱。徐蕊

等^[4]在 PVC 大棚和旱棚中对玉米自交系抗旱性评价指标进行了研究,平均抗旱系数分别为 0.47(大棚)和 0.40(旱棚),为重度干旱。韩登旭等^[13]在不同年份,对重度和中度干旱下玉米自交系的耐旱性进行了研究。其他还有很多在轻度至重度干旱胁迫条件下对玉米自交系抗旱性的研究^[1,6-9,15-17],这些研究对于揭示玉米自交系抗旱特性以及抗旱杂交种的选育具有重要意义。

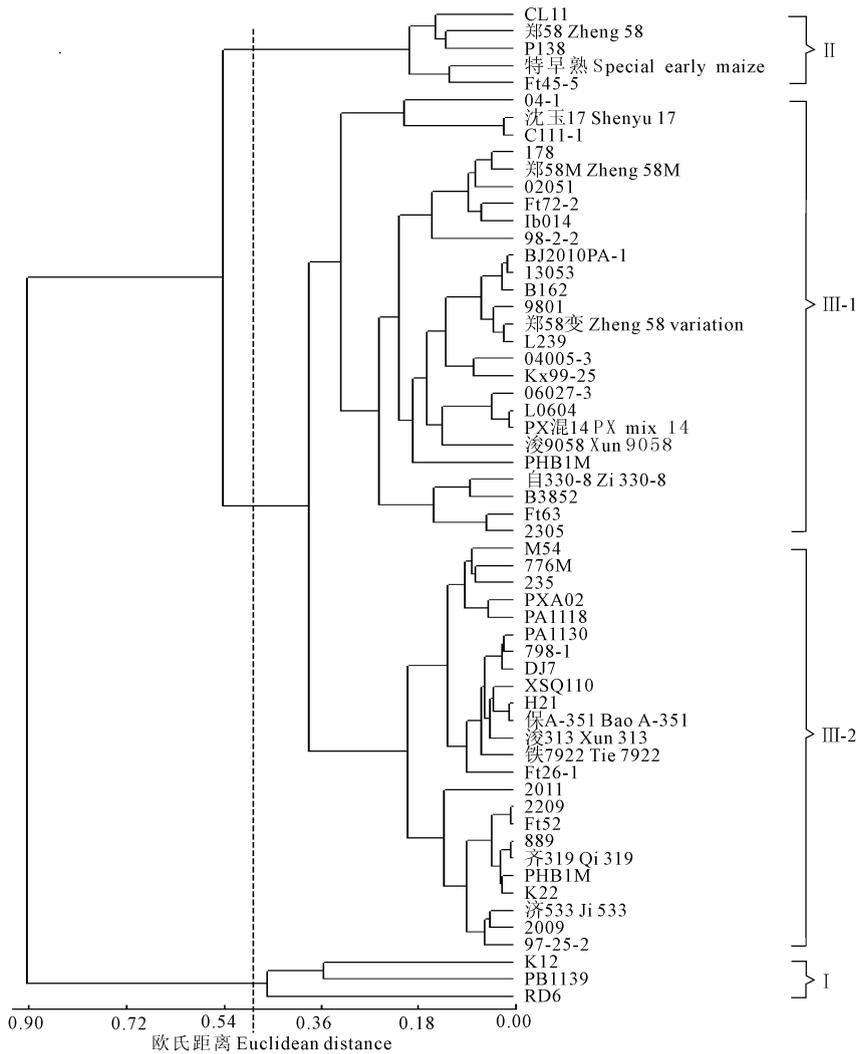


图 1 58 个自交系抗旱性聚类图

Fig. 1 Dendrogram of drought resistance for 58 maize inbred lines

表 3 58 个自交系抗旱性及遗传类群

Table 3 Classification of drought resistance and genetic backgrounds of 58 maize inbred lines

抗旱评价 Drought resistance evaluation	A 群 Group A	B 群 Group B
I. 抗旱性极强 Best drought resistance		K12、PB1139、RD6
II. 抗旱性强 Better drought resistance	CL11、郑 58 Zheng 58	Ft45-5、P138、特早熟 Special early maize
III. 抗旱性中等 General drought resistance	04-1、郑 58M Zheng 58M、郑 58 变 Zheng 58 variation、L239、02051、98-2-2、BJ2010PA-1、13053、Ft72-2、04005-3、沈玉 17 Shenyu 17、浚 9058 Xun 9058、06027-3、Ft63、2305、IB014、PX 混 14 PX mix 14、Kx99-25、L0604	9801、自 330-8 Zi 330-8、B3852、178、B162、C111-1
IV. 抗旱性差 Bad drought resistance	PXA02、PA1118、235、PA1130、铁 7922 Tie 7922、XSQ110、浚 313 Xun 313、Ft26-1、2011、2209、Ft52、889、K22、济 533 Ji 533、2009、97-25-2、M54、DJ7	776M、798-1、H21、保 A-351 Bao A-351、齐 319 Qi 319、PHB1M、PH6AT

特旱的天气在生产中并不常见,然而一旦发生,对农业生产造成的损失却最为巨大。近几年,重旱甚至特旱天气在我国部分地区时有发生,局地旱情导致粮食绝收。因此,除了在轻度至重度干旱胁迫

下鉴定自交系的抗旱性之外,还有必要将自交系置于特旱环境下进行胁迫,这将有助于甄选出特别抗旱的玉米自交系类型,对于选育抗旱玉米杂交种具有重要的价值。

3.2 抗旱评价指标的确定

通过对14个指标的相关性分析,确定了结实率、穗行数、行粒数、出籽率4个产量相关性状在抗旱性评价中的关键地位,这是因为抗旱性评价主要是以旱境产量为依据的。叶片保水力与抗旱能力相关性不高,可能是因为取样数量过少,或取样时不同自交系处于不同的生育期所致。粉丝间隔期与株高、结实率显著负相关,间接影响了生物产量和籽粒产量,但与抗旱系数、抗旱指数的负相关还未达到显著水平,这可能是因为外来周边花粉落在了延迟吐出的花丝上,一定程度上弥补了自身花期不遇的缺陷。

3.3 抗旱系数、抗旱指数和抗旱指数综合评价的内涵

以抗旱系数、抗旱指数和抗旱指数综合评价为基础对58个自交系进行抗旱性聚类的结果显示,K12、PB1139、RD6的抗旱性极强,它们具有较高的抗旱系数或抗旱指数。CL11、郑58、P138、特早熟、Ft45-5具有强的抗旱潜力,它们具有较高的抗旱指数综合评价。抗旱系数显示了自交系受旱减产的幅度,系数越高,减产幅度越小;抗旱指数主要显示了自交系受旱后与其他自交系横向的产量比较,另外还包含了抗旱系数的效应;抗旱指数综合评价则反映了4个抗旱评价指标的综合效应,有助于揭示自交系的潜在抗旱能力。

3.4 自交系抗旱类群的划分及其在玉米抗旱杂交育种中的应用

玉米杂交种的选配,以亲本间的配合力为基础。乔治军等^[23]研究了180份玉米自交系之间的亲缘关系,并对其进行分子评价。李明顺等^[24]认为过多的杂种优势群非但不能提高育种效率,反而会增加选育强优势组合的难度和工作量,同时给群体改良和导入外来种质带来困难,使种质扩增和改良研究进展缓慢。孙友位^[21]利用SSR标记分析了375个玉米自交系的遗传多样性,分别用6群法和2群法进行了类群划分。为了选配既抗旱又高产的玉米杂交种,不仅要对比自交系的抗旱性进行鉴定和评价,还要弄清楚它们的遗传来源和亲缘关系。亲本抗旱,杂交种才有抗旱的可能;亲缘关系较远,组配高产组合的概率才更高。同时将自交系的抗旱性和遗传类群进行划分,对于选配抗旱且杂种优势较强的杂交种有着更强的指导意义。

参考文献:

[1] 李凤海.玉米抗旱性指标的筛选及其遗传特性研究[D].沈阳:

沈阳农业大学,2012.

- [2] 李凤海,朱敏,葛云侠.PEG处理幼苗和盆栽水分胁迫不同玉米自交系抗旱性研究[J].种子,2012,31(11):40-46.
- [3] 袁佐清,张怀渝,王化新,等.不同玉米自交系的抗旱力与超弱发光关系的研究[J].核农学报,2003,17(1):35-40.
- [4] 徐蕊,王启柏,张春庆,等.玉米自交系抗旱性评价指标体系的建立[J].中国农业科学,2009,42(1):72-84.
- [5] 徐蕊.玉米抗旱性评价指标体系及遗传研究[D].泰安:山东农业大学,2009.
- [6] 李运朝.玉米自交系抗旱性鉴定指标体系研究[D].保定:河北农业大学,2004.
- [7] 孔祥彬,白星焕,王同芹,等.不同基因型玉米自交系抗旱性鉴定[J].山东农业科学,2011,(1):16-20.
- [8] 张卫星,赵致,柏光晓,等.不同基因型玉米自交系的抗旱性研究与评价[J].玉米科学,2007,15(5):6-11.
- [9] 潘周云,陈瑾,杨世佳,等.不同血缘玉米自交系的抗旱性鉴定[J].贵州农业科学,2013,41(10):14-18.
- [10] 张磊,耿立格,王丽娜,等.不同玉米自交系萌芽期的抗旱性研究[J].玉米科学,2010,18(4):77-81.
- [11] 冷益丰,张彪,赵久然,等.转基因玉米种子萌发期抗旱性鉴定[J].干旱地区农业研究,2013,31(1):177-182.
- [12] 冯鹏飞,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.
- [13] 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,2012,32(8):1648-1653.
- [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] 李亮,孙宝成,刘成,等.水分胁迫后玉米茎节变化与产量和抗旱性的关系研究[J].新疆农业科学,2012,49(1):16-21.
- [16] 裴二芹,石云素,刘丕庆,等.干旱胁迫对不同玉米自交系苗期渗透调节的影响[J].植物遗传资源学报,2010,11(1):14-15.
- [17] 袁佐清,张建勇,张怀渝.不同玉米自交系抗旱性生理指标的研究[J].山东理工大学学报(自然科学版),2004,18(6):71-75.
- [18] 陈志辉.玉米抗旱性QTL定位及抗旱品种选育研究[D].长沙:中南大学,2012.
- [19] 冯鹏飞.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,2014.
- [20] 王阳,刘成,王天宇,等.干旱胁迫和正常灌溉条件下玉米产量性状的QTL分析[J].植物遗传资源学报,2007,8(2):179-183.
- [21] 孙友位.利用SSR标记分析玉米自交系的遗传多样性[D].北京:中国农业科学院,2007.
- [22] 国家气候中心.GB/T 20481-2006.气象干旱等级[S].北京:中国标准出版社,2006.
- [23] 乔治军,刘龙龙,南晓洁,等.180份玉米自交系亲缘关系的分子评价[J].植物遗传资源学报,2011,12(2):211,222.
- [24] 李明顺,张世煌,李新海,等.根据产量特殊配合力分析玉米自交系杂种优势群[J].中国农业科学,2002,35(6):600-605.