

干旱胁迫下玉米自交系抗旱性评价及筛选

周玉乾,杨彦忠,周文期,连晓荣,张彦军,王兴荣,
寇思荣,何海军,刘忠祥,王晓娟

(甘肃省农业科学院作物研究所,甘肃 兰州 730070)

摘 要:以 39 份玉米自交系为材料,2017—2018 年在甘肃省张掖市设置田间自然抗旱鉴定试验,筛选抗旱鉴定指标,综合评价玉米自交系的抗旱性。结果表明:在干旱胁迫下,39 份玉米自交系的粉丝间隔时间延长了 0~3 d,株高、穗位高、穗长、穗粗、穗干重、籽粒干重、出籽率及百粒重均降低,其中,穗干重、籽粒干重和出籽率 3 个指标分别为正常灌水处理的 81.5%、79%和 88.5%。穗干重、籽粒干重和出籽率与平均抗旱系数呈显著正相关,可作为玉米自交系抗旱鉴定的主要指标。利用加权抗旱系数法综合评价筛选出强抗旱玉米自交系 10 份,其中自交系 E28、DH351、陇 1222、浚 92-8 和黄早四,抗旱性达到极强。本研究所筛选到的抗旱自交系可在选育抗旱新品种中加强利用。

关键词:玉米;干旱胁迫;抗旱性评价;骨干自交系;筛选

中图分类号:S513;S333 **文献标志码:**A

Evaluation and selection of drought resistance inbred lines of maize under drought stress

ZHOU Yuqian, YANG Yanzhong, ZHOU Wenqi, LIAN Xiaorong, ZHANG Yanjun,
WANG Xingrong, KOU Sirong, HE Haijun, LIU Zhongxiang, WANG Xiaojuan

(*Institute of Crop Sciences, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China*)

Abstract: Thirty-nine inbred lines of maize were used for a comprehensive evaluation of drought resistance under drought stress and normal irrigation in Zhangye city, Gansu Province from 2017 to 2018. The results showed that the ASI (Anthesis-silking interval) was lengthened in 39 inbred lines under drought stress, and the plant height, ear position height, ear length, ear diameter, ear dry weight, seed dry weight, seed production rate, and 100-seed weight were decreased under the drought stress. Among them, ear dry weight, grain dry weight, and kernel percentage were significantly reduced by 81.5%, 79.0%, and 88.5% over that of normal irrigation. The ear dry weight, grain dry weight, and kernel percentage were significantly positively correlated with the average drought resistance coefficient, which could be used as the main index for drought resistance identification of maize inbred lines. Ten strong drought-resistant maize inbred lines were selected by the comprehensive evaluation with weighted drought-resistant coefficient method, among which inbred lines E28, DH351, long 1222, Xun92-8, and Huangzao 4 were highly drought-resistant. The drought-resistant inbred lines selected in this study could be utilized in breeding new drought-resistant varieties.

Keywords: maize; drought stress; drought resistance evaluation; elite inbred lines; selection

干旱是全球影响范围广、持续时间长、损失巨大的气象灾害之一。干旱对农作物造成的损失在

所有非生物胁迫中占首位,每年因干旱造成的农业损失巨大^[1-2]。我国是一个干旱灾害频繁发生的国

收稿日期:2019-06-19

修回日期:2020-08-19

基金项目:国家重点研发计划(2018YFD0100202-3; 2016YFD0100103-19);国家自然科学基金(31860382);甘肃省农业科学院农业科技创新专项(2020GAAS06;2020GAAS34; 2019GAAS07)

作者简介:周玉乾(1979-),男,甘肃平川人,研究员,主要从事玉米育种研究。E-mail:yuqianzhou2008@163.com

通信作者:周文期(1985-),男,甘肃静宁人,博士,副研究员,主要从事玉米育种及基因功能研究。E-mail:zhouwenqi850202@163.com

家,干旱缺水地区面积占国土总面积的 52.5%,每年因旱灾造成的粮食损失约 300 亿公斤,约占全部灾害损失的 60%^[3]。可见,干旱是我国乃至全球农业可持续发展面临的重要问题。因此,筛选和培育抗旱农作物新品种对我国粮食生产可持续发展具有重要意义。

玉米是重要的粮食、饲料、工业原料和生物能源作物,目前玉米已经成为我国种植面积最大的作物。干旱是影响玉米产量最主要的非生物胁迫因素^[4],开展玉米抗旱育种是对抗干旱的迫切需要。不同玉米自交系对干旱的适应性和抵抗能力不同,准确地鉴定与评价玉米自交系抗旱性是培育抗旱玉米杂交种的重要前提^[5]。因此,本研究选取 39 份当前国内玉米育种和生产中的骨干自交系为材料,通过大田干旱胁迫处理试验,参考祁旭升等^[6]的加权抗旱系数法进行抗旱综合评价分析,利用筛选到的穗干重、籽粒干重和出籽率 3 个指标对玉米自交系抗旱性进行综合评价,并筛选强抗旱自交系,为玉米抗旱育种提供宝贵的耐干旱胁迫资源。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究选取的 39 份供试材料由中国农业科学院作物科学研究所提供,具体见表 1。

1.2 试验方法

1.2.1 试验地概况 试验地位于甘肃省农业科学院张掖试验站,该地区年平均降水量 129 mm,蒸发

表 1 39 份玉米骨干自交系编号及名称

Table 1 The codes and names of 39 elite maize inbred lines					
编号 Code	名称 Name	编号 Code	名称 Name	编号 Code	名称 Name
1	444	14	掖 478 Ye 478	27	京 724 Jing 724
2	昌 7-2 Chang 7-2	15	K12	28	京 92 Jing 92
3	5237	16	黄早四 Huang zao si	29	DH351
4	C103	17	郑 58 Zheng 58	30	DH382
5	掖 488 Ye 488	18	PH6WC	31	DH392
6	E28	19	PH4CV	32	B1189Z
7	Mo17Ht	20	陇 1107 Long 1107	33	D1798Z
8	Mo17	21	陇 1109 Long 1109	34	HCL645
9	Pa405	22	陇 1222 Long 1222	35	B8-2-1
10	多 229 Duo 229	23	陇 1233 Long 1233	36	京 725 Jing 725
11	黄野四 Huang ye si	24	WK858	37	冀 257 Ji 257
12	旅 28 Lv 28	25	M03	38	浚 9058 Xun 9058
13	齐 319 Qi 319	26	M5972	39	浚 92-8 Xun 92-8

量 2 047.9 mm,≥10℃年积温 2 870℃,降雨稀少、蒸发量大,光热条件充足,其独特的气候条件,非常有利于开展作物田间抗旱鉴定试验。试验地 0~20 cm 土层含有机质 18.45 g·kg⁻¹、碱解氮 76.62 mg·kg⁻¹、速效磷 22.76 mg·kg⁻¹、速效钾 244.53 mg·kg⁻¹。

1.2.2 试验材料种植 试验于 2017—2018 年在甘肃省农业科学院张掖试验站进行,试验设干旱胁迫处理和灌水对照区,处理和对照间有 3.5 m 的防渗隔离带。处理和对照均为完全随机区组设计,3 次重复,每份材料种 2 行,行长 4.0 m,行距 0.6 m,株距 0.3 m。采用“干播湿出法”播种,即播种前不灌水,播种后利用滴灌灌水 600 m³·hm⁻²保证正常出苗,干旱处理全生育期根据干旱程度控制少量灌水,或者不再灌水,对照处理在苗期、拔节期、抽雄期和灌浆期各灌 1 次水,每次灌水量 300 m³·hm⁻²,保证全生育期正常生长的需水量。

1.2.3 指标测定 记载生育期内降雨量,采用 5 点法测定各生育阶段 0~40 cm 土壤含水量,记载散粉至吐丝间隔时间(Ahthesis silking interval, ASI),成熟收获后每小区取样 5 株测量株高、穗位高、穗长、穗粗、穗干重(5 穗)、籽粒干重(5 穗)、出籽率及百粒重,以其平均值代表考察指标值。

1.2.4 抗旱性评价 参照祁旭升等^[7]的方法对 39 个参试自交系的抗旱性进行评价,抗旱级别划分参照路贵和等^[5]的逐级分类法,将 39 个品种的抗旱性划分为极强、强、中等、弱、极弱 5 个级别,见表 2,具体评价方法如下:

TR = X_d/X_w

ADC = 1/n ∑ⁿ_{i=1} TR

WDC = ∑ⁿ_{i=1} [TR × (|r_i|/∑ⁿ_{i=1} |r_i|)]

式中,TR 为性状相对值;X_d 为干旱胁迫处理性状测定值;X_w 为正常灌水处理性状测定值;ADC 为平均抗旱系数;WDC 为加权抗旱系数;r_i 为入选性状相对值与平均抗旱系数的相关系数;|r_i|/∑ⁿ_{i=1} |r_i|为指数权数,表示第 i 个指标在所有指标中的重要程度;n 为 x、y 的等级对子数,即样本容量。

表 2 抗旱性分级标准

Table 2 Classification standards of drought resistance			
等级 Grade	加权抗旱系数 WDC	类型 Type	
一级 Grade one	WDC≥1.0818	极强	Highly resistant
二级 Grade two	0.9581≤WDC<1.0818	强	Resistant
三级 Grade three	0.7368≤WDC<0.9581	中等	Moderately resistant
四级 Grade four	0.6766≤WDC<0.7368	弱	Susceptible
五级 Grade five	WDC<0.6766	极弱	Highly Susceptible

1.2.5 数据分析 采用 Excel 2007 进行数据处理,利用 DPS 9.50 软件进行描述性统计、相关数据分析。

2 结果与分析

2.1 2017—2018 年玉米主要生育期土壤含水量变化

2017 和 2018 年在玉米整个生育期内降水量分别为 120.2 mm 和 140.6 mm,由于气候原因,2018 年

降雨偏多,主要集中在苗期,抽雄期和成熟期降雨量很少,由图 1 可以看出,2018 年苗期土壤含水量明显高于 2017 年,但抽雄期和成熟期土壤含水量 2a 数据无显著差异。数据分析表明,抽雄期土壤含水量最低,其次是成熟期和苗期,抽雄期是玉米对水分较为敏感的时期,而且恰逢高温天气且降雨量较少,干旱胁迫条件充分,土壤含水量差异较小。因此,在此环境下,进行自交系抗旱性综合评价和筛选结果准确可靠。

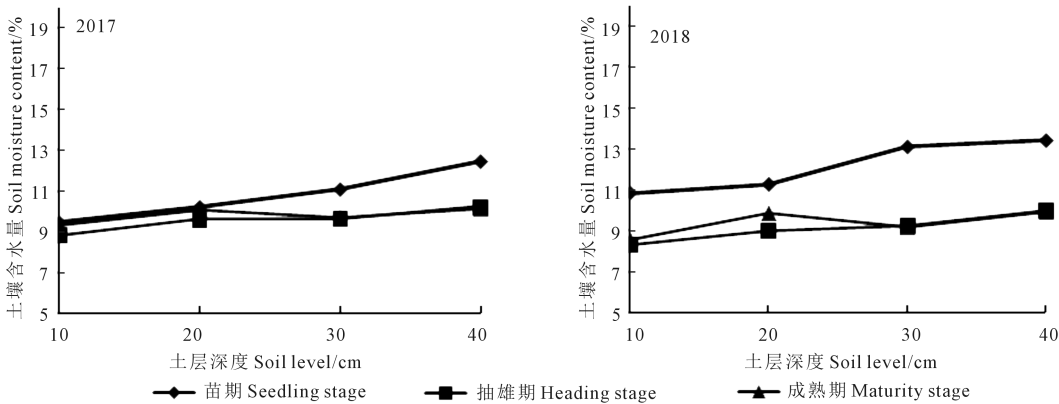


图 1 2017—2018 年玉米主要生育期土壤含水量
Fig.1 Soil moisture content during the main growth period of maize in 2017–2018

2.2 玉米自交系主要农艺性状指标的差异和相关性分析

对 39 份自交系的粉丝间隔时间、株高 (Plant height, PH)、穗位高 (Ear position height, EPH)、穗长 (Ear length, EH)、穗粗 (Ear diameter, ED)、穗干重 (Ear dry weight, EDW)、籽粒干重 (Seed dry weight, SDW)、出籽率 (Seed producing percentage, SPP) 和百粒重 (100-seed weight, 100-SW), 9 个主要农艺性状指标进行遗传多样性分析,从表 3 中可以看出,在不同处理下,9 个指标的变异系数介于 6.16%~97.7%之间,其中粉丝间隔时间变异系数最大,籽粒干重、穗干重、穗位高和百粒重次之,说明 39 份自交系之间遗传差异比较大,具有代表性。数据分析表明:与正常灌水相比,干旱胁迫使得供试材料粉丝间隔时间变长,增加 1.5~2 d,其余 8 个指标均降低,2017 年干旱处理的穗干重、籽粒干重和出籽率 3 个指标分别降低到正常灌水的 83%、80% 和 89%,差异极显著 ($P<0.01$)。2018 年干旱处理的穗干重、籽粒干重和出籽率分别降低到正常灌水的 80%、78% 和 88%,差异极显著 ($P<0.01$)。说明干旱胁迫对玉米自交系的生长发育、形态特征及最终产量均有较大的影响。

同时,对 39 份自交系的 9 个主要农艺性状指标

进行相关性分析 (表 4),结果表明,粉丝间隔时间、株高和穗位高与其他指标间相关性较小,没有显著性;穗粗与穗干重、籽粒干重间呈极显著正相关 ($P<0.01$);穗干重与籽粒干重、出籽率、穗长和穗粗呈极显著正相关,同时与百粒重呈显著正相关 ($P<0.05$); ADC 与 ASI 呈极显著正相关,这种现象说明延迟吐丝的自交系接受到周围自交系的花粉,表现出了抗旱的假象;平均抗旱系数与穗干重、籽粒干重和出籽率 3 个指标呈显著正相关,而穗干重、籽粒干重、出籽率是产量的主要指标并且与产量呈正相关,因此穗干重、籽粒干重和出籽率可作为玉米自交系抗旱性综合评价的主要指标。

2.3 玉米自交系抗旱性综合评价

作物抗旱性是一个极其复杂的机体代谢过程,评价抗旱性时需要进行多性状的综合考虑,为了能够准确评价玉米自交系的抗旱性,本研究利用筛选到的穗干重、籽粒干重、出籽率 3 个与平均抗旱系数相关的指标,采用加权抗旱系数法对其抗旱性进行综合评价,其加权抗旱系数值越大表示抗旱性越强 (表 5)。

参照路贵和等^[5]的逐级分类法,将 39 份自交系的抗旱性划分为极强、强、中等、弱、极弱 5 个级别 (表 2),其中 E28、DH351、陇 1222、浚 92-8 和黄早 4 5 份自交系抗旱等级属 1 级,京 92、黄野四、多 229、

表 3 39 份玉米自交系 9 个主要农艺性状指标统计分析
Table 3 Statistical analysis of 9 agronomic indicators of 39 maize inbred lines

年份 Year	统计值 Statistics	粉丝间隔时间 ASI/d		株高 PH/cm		穗位高 EPH/cm		穗长 EL/cm		穗粗 ED/cm		穗干重 EDW/g		籽粒干重 SDW/g		出籽率 SPP/%		百粒重 100-SW/g	
		DI	DS	DI	DS	DI	DS	DI	DS	DI	DS	DI	DS	DI	DS	DI	DS	DI	DS
2017	Max.	4.0	6.0	250.0	233.0	97.3	144.7	19.4	18.5	5.2	4.9	968.16	801.49	832.52	688.68	89.62	85.92	40.99	40.57
	Min.	0.0	0.0	147.7	144.7	45.7	34.7	9.9	9.2	3.4	3.1	183.62	154.64	126.98	106.99	64.78	64.14	15.75	14.82
	Range	4.0	6.0	102.3	88.3	51.7	110.0	9.5	9.3	1.8	1.8	784.54	646.85	705.54	581.69	24.85	21.79	25.24	25.75
	Mean	1.2	2.1	188.5	174.1	72.2	69.0	14.8	14.1	4.1	3.9	551.40	455.25	452.34	362.53	84.14	74.66	29.61	27.99
	SD	0.9	1.4	23.3	20.0	13.0	16.7	2.3	2.3	0.4	0.4	168.53	133.32	153.24	119.14	5.11	4.98	6.19	6.16
	CV/%	79.0	63.5	12.4	11.5	19.1	24.2	16.1	16.1	10.7	9.6	30.56	29.29	33.88	32.86	6.29	6.33	20.91	22.00
2018	Max.	3.0	6.0	260.3	242.0	103.4	151.8	20.2	19.0	5.4	5.0	985.29	801.49	849.37	688.68	91.55	88.79	41.62	41.11
	Min.	0.0	0.0	157.0	151.7	51.5	42.6	10.4	9.7	3.5	3.2	203.54	154.64	144.73	106.99	66.19	66.55	16.40	15.49
	Range	3.0	6.0	103.3	90.3	51.9	109.2	9.8	9.3	1.8	1.8	781.75	646.85	704.64	581.69	25.36	22.24	25.22	25.62
	Mean	0.9	1.3	198.0	182.3	73.8	66.9	15.2	14.9	4.2	4.0	569.25	455.25	470.34	362.53	85.04	74.82	30.15	28.54
	SD	0.8	1.2	24.2	20.3	13.2	16.9	2.4	2.3	0.4	0.4	170.62	135.06	154.72	120.69	5.14	4.98	6.26	6.23
	CV/%	97.7	89.6	12.2	11.1	18.0	22.5	15.7	15.6	10.4	9.2	29.97	29.67	32.90	33.29	6.19	6.16	20.76	21.83

注:DI,正常灌水;DS,干旱胁迫;Max.,最大值;Min.,最小值;Range,极差;Mean,均值;SD,标准差;CV,变异系数。下同。
Note: DI; Normal irrigation treatment; DS; Drought stress treatment; Max.; Maximum value; Min.; Minimum value; Mean; Mean value; SD; Standard deviation; CV; Coefficient of variation. The same below.

表 4 玉米自交系 9 个农艺性状指标的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of 9 agronomic indicators in maize inbred lines

性状 Phenotypic traits	ASI	PH	EPH	EL	ED	EDW	SDW	SPP	100-SW
ASI	1.0000								
PH	0.0086	1.0000							
EPH	-0.1258	0.1720	1.0000						
EL	-0.1084	0.2250	0.0170	1.0000					
ED	-0.0890	0.2072	-0.0458	-0.0002	1.0000				
EDW	-0.0351	0.3100	-0.1020	0.5230 **	0.4510 **	1.0000			
SDW	-0.0448	0.2811	-0.1165	0.5120 **	0.4260 **	0.9920 **	1.0000		
SPP	-0.0043	0.1250	-0.1683	0.2165	0.1281	0.5120 **	0.6000 **	1.0000	
100-SW	0.0590	0.2944	-0.2322	0.2809	0.3790 *	0.3880 *	0.3230 *	-0.2094	1.0000
ADC	0.9580 * *	0.1548	-0.0668	0.0749	0.0521	0.3503 *	0.3810 *	0.3721 *	0.1970

注:ADC:平均抗旱系数,* : $P<0.05$ 水平上差异显著;* * : $P<0.01$ 水平上差异极显著。

Note: ADC: Average drought coefficient, * : Significant difference at the 0.05 probability level; * * : Significant difference at the 0.01 probability level apparently.

表 5 39 份玉米自交系的抗旱性综合评价值

Table 5 Comprehensive evaluation on drought-resistance 39 maize inbred lines

名称 Name	加权抗旱系数 WDC	排序 Ranking	等级 Grade	名称 Name	加权抗旱系数 WDC	排序 Ranking	等级 Grade
E28	1.5563	1	1	京 724 Jing 724	0.8346	21	3
DH351	1.2769	2	1	Mo17Ht	0.8318	22	3
陇 1222 Long 1222	1.2653	3	1	浚 9058 Xun 9058	0.8221	23	3
浚 92-8 Xun 92-8	1.1682	4	1	冀 257 Ji 257	0.8215	24	3
黄早四 Huang zao si	1.1165	5	1	陇 1109 Long1109	0.8152	25	3
京 92 Jing 92	1.0582	6	2	PH4CV	0.8082	26	3
黄野四 Huang ye si	1.0557	7	2	B1189Z	0.7785	27	3
多 229 Duo 229	1.0287	8	2	掖 478 Ye 478	0.7437	28	3
郑 58 Zheng 58	1.0020	9	2	M5972	0.7309	29	4
D1798Z	0.9670	10	2	掖 488 Ye 488	0.7184	30	4
陇 1107 Long 1107	0.9472	11	3	昌 7-2 Chang 7-2	0.7094	31	4
陇 1233 Long 1233	0.9202	12	3	5237	0.7021	32	4
Mo17	0.9076	13	3	C103	0.6979	33	4
DH382	0.9069	14	3	京 725 Jing 725	0.6892	34	4
旅 28 Lv 28	0.9042	15	3	444	0.6771	35	4
齐 319 Qi 319	0.9017	16	3	PH6WC	0.6417	36	5
M03	0.8642	17	3	DH392	0.6353	37	5
WK858	0.8636	18	3	B8-2-1	0.6236	38	5
HCL645	0.8631	19	3	Pa405	0.5819	39	5
K12	0.8521	20	3				

郑 58 和 D1798Z 5 份自交系属抗旱性 2 级,陇 1107、陇 1233 等 18 份属 3 级,M5972、掖 488 等 7 份属 4 级,PH6WC、DH392 等 4 份属 5 级(表 5)。从玉米自交系抗旱性综合评价结果来看,我国玉米杂种优势群体中代表性的 DH351、郑 58 属改良 Reid 群,E28 属旅大红骨类群,黄早四和浚 92-8 属黄改群,均表现出极强或强抗旱性,这些自交系可在以后抗旱育种中加强利用。

3 讨 论

作物的抗旱性受基因型和环境因素两方面影响^[8-9]。抗旱鉴定条件直接影响抗旱鉴定结果的准确性,田间自然干旱条件下鉴定作物抗旱性结果更接近大田生产,但降雨量难以控制。目前作物抗旱性研究较多集中在芽期和苗期,因为此生育阶段更适宜实验室内或抗旱温棚中进行,虽然可有效控制

水分,但受空间限制和小气候影响,与大田生产相脱离,一定程度上影响了作物抗旱性鉴定与评价工作的广泛开展和深入研究^[10-11]。田间自然鉴定作物抗旱性简单易行,可进行大批量的种质资源鉴定,且获得的结果接近大田种植,可服务于生产应用,因此,符合条件的田间自然抗旱性鉴定是最理想的方法^[12],但大多数地区的降雨量、干燥度等气象因素无法满足抗旱研究要求,鉴于此,本研究在降雨量稀少、空气干燥的张掖绿洲灌溉农业区,以我国玉米骨干自交系和当前生产中大面积推广品种的亲本为试验材料,在干旱胁迫下进行了田间抗旱性研究,为探明干旱条件下玉米自交系的不同抗旱类型提供一定的理论依据。

抗旱指标的选择对抗旱性综合评价至关重要,关于抗旱指标的筛选研究报道较多,但没有形成统一的标准,因此本研究对 9 个主要农艺性状指标的相对值进行相关性分析,以便筛选出与玉米抗旱性密切相关的指标。Pagano 等^[12]研究报道,ASI 受干旱胁迫影响最敏感,抽雄及散粉期遇到高温及干旱天气,导致 ASI 明显拉长,严重影响雌花发育、授粉及结实,导致产量降低。株高及穗位高受到苗期或者拔节期干旱胁迫的影响,对玉米生长也会形成不可逆的抑制作用,它们也被作为权衡玉米抗旱性的重要指标^[13]。有研究认为干旱胁迫下,植物叶片的下垂及卷曲程度也能作为玉米抗旱指标。张振平等^[14]通过对 13 个玉米品种的抗旱性鉴定,认为平均产量、几何平均产量和耐旱指数作为玉米抗旱性鉴定的评价指标是合理的。路贵和等^[5]研究表明干旱胁迫造成的玉米产量变幅及旱地产量是评价玉米抗旱性最重要和最终的 2 项指标。而本研究通过对玉米全生育期的干旱胁迫,筛选出穗干重、籽粒干重和出籽率这 3 个与产量紧密相关的指标,与平均抗旱系数呈正相关。

作物抗旱性是由多个基因控制的较为复杂的综合表现,通过某个单一指标对其抗旱性进行评价,很难获得准确有效的结果,从形态、生理生化指标中筛选出有显著影响的几个主要指标进行综合评价才更有效^[15-16]。因此本研究对 9 个主要农艺性状指标的相对值进行相关性分析,发现平均抗旱系数与 ASI 呈极显著正相关,这与前人研究结论不同^[16],一般而言,干旱条件下,抗旱性好和差的品种相比较,强抗旱品种的 ASI 明显减小,吐丝及散粉期相对集中,对结实率影响较小;而抗旱性较差的品

种,干旱条件下 ASI 明显拉长,我们在田间表型鉴定及生育期记载中也能说明这一点。但是数据分析的结果表明平均抗旱系数与 ASI 呈极显著正相关,分析原因可能由于吐丝较晚的自交系接受到了周围其他自交系花粉,未表现出结实差的现象,造成了一种抗旱假象。在干旱条件下,株高、穗位高明显降低,这与 Jansen 等^[17]研究结果一致。抗旱性好的玉米可以通过降低株高及穗位高适应逆境环境,减少能量损耗,从而提高抗旱性。苏治军等^[18]通过相关抗旱系数分析说明了玉米株高、穗位高、穗粒重等与抗旱性呈显著正相关。本研究干旱条件下穗长、穗粗、穗干重、籽粒干重、出籽率及百粒重均不同程度降低,与杨国虎等^[19]通过对玉米农艺和产量性状进行综合因子评价结果基本吻合,说明株高、穗长、成穗率和出籽率对抗旱性具有显著影响。黎裕等^[20]认为抗旱性和产量性状都属于数量性状,由多位点多基因综合控制,其遗传网络不尽相同,因此在选择抗旱评价指标时,重点考虑抗旱性本身而不是产量潜力,但是育种工作需对这两个系统进行综合考虑。本研究结果表明平均抗旱系数与穗干重、籽粒干重、出籽率呈显著正相关,说明这 3 个农艺性状指标可作为玉米自交系抗旱性综合评价的主要指标,这与孟庆立、王喜慧等^[21-22]的研究结果相似。

前人对不同作物的抗旱性评价方法研究较多^[23-25],通过分析前人的评价方法,可归纳为四大类,第一类是利用抗旱系数进行直接评价抗旱性,根据抗旱系数大小及所划分等级比较不同品种抗旱性的强弱。第二类是利用某一指标在所有指标中所起的重要程度来综合评价抗旱性。第三类是聚类分析^[26],根据多项指标所测数据对供试材料进行系统聚类,用聚类图对材料抗旱性进行分级;第四类是灰色关联度分析,根据灰色关联度筛选出高效指标并综合评价其抗旱性。本研究参考祁旭升等人^[6-7]的加权抗旱系数法,结合第二种和第三种评价方法,将 39 份玉米自交系进行抗旱等级分类,利用筛选到的穗干重、籽粒干重、出籽率 3 个农艺性状指标对玉米自交系抗旱性进行综合评价,该方法根据不同指标贡献程度的大小对其赋予了不同权重,评价更加合理准确。本研究结果表明,改良 Reid 群的自交系 DH351、郑 58,旅大红骨类群的 E28,黄改群的黄早四和浚 92-8,这几个骨干系都具有强抗旱性。王绍新等^[25]认为,瑞德系、部分黄改

系和热带种质等含这类血缘的自交系抗旱性较强,抗旱性较强的杂交种杂优模式为瑞德系×黄改系,育种家在品种选育过程中应保留本地的瑞德系血缘,以提高品种的抗旱性。余奎军等^[27]研究表明,Reid 和 Lancaster 两大类群的抗旱性较强,P 群的抗旱性次之。这些研究结果与本研究具有相似之处,同时也有区别,可能与抗旱鉴定环境有关系,前人试验多在抗旱棚内进行,而本研究在田间自然条件下进行,抗旱结果及筛选到的抗旱自交系可应用在田间鉴定及生产的参考价值更大。因此,本研究所筛选到的强抗旱且亲缘关系较远的玉米骨干自交系可作为亲本在抗旱育种中选择应用,这为育种工作提供了新的思路。后续试验将在多生态环境干旱条件下,应用目前所鉴定出的抗旱自交系分别进行验证,并从其生理、生化指标、产量性状和存活率测定等多方面综合评价抗旱性。

4 结 论

在田间自然条件下对玉米自交系进行抗旱鉴定,通过加权抗旱系数评价其抗旱性,将 39 份自交系划分为 5 个抗旱级别,筛选出了一些抗旱自交系,其中代表性的 DH351、郑 58 属改良 Reid 群,E28 属旅大红骨类群,黄早四及浚 92-8 属黄改群,表现出极强或强抗旱性,这些自交系可在以后抗旱育种中加强利用。

参 考 文 献:

[1] 张永平,王志敏,黄琴,等. 不同水分供给对小麦叶与非叶器官叶绿体结构和功能的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(7): 1213-1219.

[2] 张强,韩兰英,张立阳,等. 论气候变暖背景下干旱灾害风险特征与管理[J]. 地球科学进展, 2014, 29(1): 80-91.

[3] 吴娟,王雅鹏. 我国粮食储备调控体系的现状与完善对策[J]. 农业现代化研究, 2011, (6): 661-665.

[4] 霍仕平,晏庆九,宋光英. 玉米抗旱性相关研究概述[J]. 园艺与种苗, 1994, (5): 20-22.

[5] 路贵和,戴景瑞,张书奎,等. 不同干旱胁迫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.

[6] 祁旭升,王兴荣,许军,等. 胡麻种质资源成株期抗旱性评价[J]. 中国农业科学, 2010, 43(15): 3076-3087.

[7] 祁旭升,王兴荣,张彦军,等.胡麻成株期抗旱指标筛选与种质抗性

鉴定[J]. 核农学报, 2015,29(8): 1596-1606.

[8] 林汉明,常汝镇,邵桂花,等. 中国大豆耐逆研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 1-2.

[9] 赵利,党占海,张建平,等. 不同类型胡麻品种资源品质特性及其相关性研究[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(5): 6-9.

[10] 王海珍,韩路,徐雅丽,等. 干旱胁迫下胡杨光合光响应过程模拟与模型比较[J]. 生态学报, 2017, 37(7): 1-10.

[11] 肖红,王芳,段春华,等. 不同扁蓿豆种质孕蕾期抗旱性综合评价[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(5): 62-68.

[12] 张小虎,张振晓,李晋花. 大豆田间抗旱性鉴定方法及评价[J]. 现代农业科技, 2011, (2): 63-64.

[13] Pagano E, Cela S, Maddonni G A, et al. Intra-specific competition in maize: Ear development,flowering dynamics and kernel set of early-established plant hierarchies. Field Crops Research, 2007, 102(3): 198-209.

[14] 张振平,齐华,李威,等. 玉米品种抗旱性筛选指标研究[J]. 玉米科学, 2007, 15(5):65-68.

[15] 张木清,陈如凯. 作物抗旱分子生理与遗传改良[M]. 北京: 科学出版社, 2005, 22-23.

[16] 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, 2011.

[17] Jansen R C, Stam P. High resolution of quantitative traits into multiple loci via interval mapping[J]. Genetics, 1994, 136(4): 1447-1455.

[18] 苏治军,郝转芳,谢传晓,等. 我国常用玉米自交系的耐旱性评价[J]. 玉米科学, 2009, (5):19-24.

[19] 杨国虎,李建生,罗湘宁,等. 干旱条件下玉米叶面积变化及地上干物质积累与分配的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(5):32-37.

[20] 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):7-12.

[21] 孟庆立,赵宁娟,张宇文,等. 特旱条件下玉米自交系抗旱性评价[J]. 干旱地区农业研究, 2016,34(4): 106-111.

[22] 王喜慧. 吉林省玉米骨干自交系抗旱指标筛选及其抗旱性综合评价[D]. 长春: 吉林农业大学, 2016.

[23] 罗俊杰,石有太,陈玉梁,等. 甘肃不同色彩陆地棉抗旱指标筛选及评价研究[J]. 核农学报, 2012, 26(6): 952-959.

[24] 谢小玉,张霞,张兵. 油菜苗期抗旱性评价及抗旱相关指标变化分析[J]. 中国农业科学, 2013, 46(3): 476-485.

[25] 王绍新,许洛,曹志艳,等. 12 个玉米杂交种及其亲本抗旱性鉴定[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(3): 66-69.

[26] 孟庆立,关周博,冯佰利,等. 谷子抗旱相关性状的主成分与模糊聚类分析[J]. 中国农业科学, 2009, 42(8): 2667-2675.

[27] 余奎军,刘晓慧,刘艳妮,等. 玉米自交系农艺性状、生理生化性状与抗旱性关系分析[J]. 宁夏农林科技, 2017, 58(12): 1-3, 18.