

引进美国玉米自交系在我国的耐旱适应性分析

梁晓玲^{1,2}, 王楠³, 王业建², 李铭东², 杨杰², 阿布来提², 雷志刚⁴,
韩登旭², 郝浩江², 陈绍江¹, 刘文欣¹, 李明顺³, 郝转芳³

(1. 中国农业大学, 北京 100193; 2. 新疆农业科学院粮食作物研究所, 乌鲁木齐 830091;
3. 中国农业科学院作物科学所, 北京 100081; 4. 新疆畜牧科学院草业研究所, 乌鲁木齐 830000)

摘要: 对210份引进美国解密玉米自交系在正常灌溉和干旱胁迫两种水分处理下进行耐旱适应性分析。通过对美国自交系和国内主要自交系耐旱相关农艺性状调查发现, 在两种水分处理下, 美国自交系产量略高于国内自交系, 其中, 行粒数是造成产量差异的主要因素。从育种角度来看, 虽然美国自交系株高高于国内自交系, 但其穗位高明明显低于国内自交系, 有利于培育品种的抗倒性。利用耐旱选择系数对自交系耐旱性进行评价, 从美国自交系选出LH149、PHBA6、S8326等26份极强耐旱性自交系, 耐旱性超过国内自交系豫12和齐319等。

关键词: 玉米; 美国自交系; 耐旱性

中图分类号: S513.034

文献标识码: A

Drought Tolerance Evaluation of American Maize Inbred Lines in China

LIANG Xiao-ling^{1,2}, WANG Nan³, WANG Ye-jian², LI Ming-dong², YANG Jie², A Bu-lai-ti², LEI Zhi-gang⁴,
HAN Deng-xu², XI Hao-jiang², CHEN Shao-jiang¹, LIU Wen-xin¹, LI Ming-shun³, HAO Zhuan-fang³

(1. China Agricultural University, Beijing 100193;

2. Institute of Food Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091;

3. Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;

4. Grassland Research Institute, Xinjiang Academy of Animal Sciences, Urumqi 830000, China)

Abstract: With 210 decrypted maize inbred lines introduced from USA, their adaptability under normal irrigation and drought stress was analyzed in this study. The results showed that the yield of US inbred lines was slightly higher than that of domestic inbred lines under the two kinds of water treatments, among which the number of grains was the main factor to variance; From the breeding point of view, although the plant height of US inbred lines was higher than the domestic inbred lines, the ear height was significantly lower than the domestic inbred lines, which was beneficial to cultivating varieties of lodging resistance. Finally, with the selection index of drought tolerance, inbred lines of drought tolerance were selected, such as LH149, PHBA6 and S8326 etc., and their drought tolerance was higher than that of the domestic inbred lines.

Key words: Maize; American inbred line; Drought tolerance

录用日期: 2017-09-19

基金项目: 国家玉米产业技术体系建设专项(CARS-02-68)、国家重点研发计划(2016YFD0101204-4)、国家自然科学基金(31560425;31661143010)、自治区公益性科研院所基本科研业务经费(KY2015066)

作者简介: 梁晓玲(1963-), 女, 甘肃临洮人, 研究员, 博士, 研究方向为玉米遗传育种。E-mail: liangxiaoling99@126.com

王楠为并列第一作者。

E-mail: wang6152496@163.com

郝转芳和陈绍江为本文通讯作者。

E-mail: haozhuanfang@caas.cn

玉米是重要的粮饲和能源作物, 其产量的稳定增长对农业可持续发展具有重要意义。在过去几十年里, 随着种质的改良创新与新品种选育, 玉米产量一直在稳步攀升。玉米是干旱敏感性作物, 随着全球气候转暖, 水资源缺乏, 干旱频发, 玉米对干旱胁迫的敏感性也同时增加^[1]。剧烈的气候变化以及不可预测的干旱灾害严重影响着玉米生产^[2,3]。进一步筛选和发掘优异耐旱玉米种质资源对玉米耐旱育种起着重要作用。在人类长期的生产和科研实践以及不同气候带及土壤环境的影响下, 有着丰富的适合各种不同生态环境条件的玉米类型和品种, 复杂

的自然条件形成丰富多样的玉米种质,具有各自不同的独特的表型和基因型特征。美国的玉米种质经过长期的进化过程演变出各种各样的适应于不同土壤、气候和耕作制度的生态型,具有丰富的遗传基础和优良的综合性状。上世纪70年以来,美国从玉米种质多样性出发,陆续对加勒比海复合种 Antigua、泰国 Suwan1、墨西哥群体 Tuxpeno 等进行了适应性混合改良,选育出耐逆性较强的 87001、78599 等杂交种。由此,不同生态类型的玉米种质互相创新利用开始发挥重要作用,如来源于瑞德黄马牙的茎秆综合种 B73,在美国应用最广,穗尖结实好,茎秆粗壮,目前仍然在生产上应用^[4]。

考虑到生产上用于改良的种质以及被改良的种质都是育种选择出来的优异基因源,遗传变异丰富,对生产上常用的资源进行遗传发掘,尤其是对其形态学及逆境环境下的适应性进行评估,才能更好地了解基因的遗传变异情况^[5]。本研究选取 210 份美国释放的生产上常用自交系(编号:AL)和 22 份国内自交系(编号:NL)作为对照,通过对其在正常灌溉和干旱胁迫两种水分处理下的表型性状比较分析,筛选耐旱或较耐旱的自交系材料,用于我国玉米耐旱育种或品种耐旱性改良。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验选取 210 份源自美国的玉米自交系以及 22 份国内自交系,材料来源于中国农业科学院作物科学研究所。于 2013、2014 年冬季在海南三亚中国农业科学院作物科学研究所耐旱鉴定基地进行。

1.2 试验设计

试验采用 alpha lattice 设计,单行区种植,行长

4 m,株距 20 cm,种植密度 90 000 株/hm²。正常灌溉(WW)和干旱胁迫两种水分处理(WS),两次重复,正常灌溉和干旱胁迫在同一地块,中间设置有隔离区,边行各设 2 行保护行。

1.3 性状调查与数据分析

干旱胁迫从大喇叭口期开始停止浇水,调查玉米开花期(DtA)和散粉期(DtS),计算开花和散粉期间隔天数(ASI);授粉一周后测量株高(PlaH)和穗位高(EarH);收获后进行小区产量(GY)、行粒数(KerN)和有效穗数(EarN)考种。玉米全生育期综合选择指数(SI)计算公式参考文献[6]。试验数据用 Excel 进行整理,方差分析用 R 软件进行计算。广义遗传力 $h^2 = \sigma^2_c / [\sigma^2_c + (\sigma^2_{GE}/n) + \sigma^2_d/(nr)]$,其中, σ^2_c 为基因型方差; σ^2_{GE} 为基因型与环境互作方差;n为环境数;r为重复数。

2 结果与分析

2.1 各性状的方差分析

210 份美国自交系的 8 个性状的方差分析结果见表 1。除了正常条件下的 ASI 的基因型与环境互作均方差为显著差异外,其他性状的基因型、环境及基因型与环境互作的均方差都为极显著差异,表明不同年份间、不同材料的表现有所差异。正常条件下,广义遗传力的变异范围为 0.72 ~ 0.90。其中,穗数的遗传力最低,为 0.72;开花期和散粉期的遗传力最高,为 0.90。说明正常条件下,在所调查的 8 个性状中,花期性状受环境影效应的影响相对较小,而穗数相对受环境影效应的影响大。干旱条件下,广义遗传力的变异范围为 0.67 ~ 0.90,其中,穗数的遗传力最低,为 0.67;开花期的遗传力最高,为 0.90。干旱条件下,除了开花期外,其他性状的广义遗传力均有所下降,说明干旱对植株的表现造成了一定影响。

表 1 正常灌溉和干旱胁迫条件下美国自交系各性状方差分析表
Table 1 Analysis of variance of ALs under normal and drought conditions

性状(正常灌溉)	变异来源	SS	P	h^2	性状(干旱胁迫)	变异来源	SS	P	h^2
Trait(normal irrigation)	Source of variation				Trait(drought stress)	Source of variation			
产量	基因型	63.51	**	0.78	产量	基因型	20.985	**	0.69
	环境	35.02	**			环境	13.349	**	
	基因型×环境	28.63	**			基因型×环境	13.95	**	
	误差	16.11				误差	9.994		
穗数	基因型	10 061	**	0.72	穗数	基因型	9 792	**	0.67
	环境	4 995	**			环境	9 723	**	
	基因型×环境	5 517	**			基因型×环境	7 134	**	
	误差	4 844				误差	5 248		
行粒数	基因型	12 524	**	0.83	行粒数	基因型	9 158	**	0.74
	环境	2 635	**			环境	107	**	

续表1 Continued 1

性状(正常灌溉)	变异来源	SS	P	h^2	性状(干旱胁迫)	变异来源	SS	P	h^2
Trait(normal irrigation)	Source of variation				Trait(drought stress)	Source of variation			
行粒数	基因型×环境	4 209	**	0.90	行粒数	基因型×环境	4 834	**	0.90
	误差	1 973				误差	3 522		
开花期	基因型	10 116	**	0.90	开花期	基因型	11 760	**	0.90
	环境	6 007	**			环境	3 796	**	
散粉期	基因型×环境	1 332	**	0.90	散粉期	基因型×环境	1 684	**	0.85
	误差	1 615				误差	1 725		
	基因型	12 489	**			基因型	11 176	**	
	环境	2 085	**			环境	1 840	**	
吐散间隔	基因型×环境	1 930	**	0.76	吐散间隔	基因型×环境	2 616	**	0.70
	误差	2 119				误差	2 883		
	基因型	2 117	**			基因型	2 617.8	**	
	环境	606	**			环境	133.8	**	
株高	基因型×环境	755.4	*	0.86	株高	基因型×环境	1 385.7	**	0.82
	误差	1 108				误差	1 709		
	基因型	9 272 987	**			基因型	257 241	**	
	环境	396 286	**			环境	224 838	**	
穗位高	基因型×环境	3 819 195	**	0.89	穗位高	基因型×环境	81 633	**	0.85
	误差	3 972 432				误差	67 577		
	基因型	94 930	**			基因型	56 219	**	
	环境	49 034	**			环境	220	**	
吐散间隔	基因型×环境	17 378	**	0.85	吐散间隔	基因型×环境	14 018	**	0.85
	误差	11 515				误差	11 601		

注: *、**分别表示在0.05、0.01水平下差异显著。下表同。

Note: * and ** indicated significant differences at the 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same below.

2.2 正常和干旱条件下玉米产量与其他性状的相关性分析

210份美国自交系产量及其他性状的相关性见表2。在正常条件下,产量与穗数和行粒数的相关性较高,与开花期和散粉期没有显著相关性,但与ASI显著负相关。干旱条件下,产量与穗数相关性高于与行粒数的相关性,说明干旱情况下,在产量性状组成中,产量的高低更取决于穗数。花期性状中,产量与散粉期和ASI相关性提高,说明干旱情况下长散粉期和ASI的材料产量相对较低;对于株型相关性状,株高和穗位高在干旱条件下与产量的相关性有所下降,但仍达显著水平,因此可以作为玉米自交系耐旱性鉴定的指标之一。

2.3 美国自交系与国内自交系表型比较分析

总体来看,美国自交系的平均产量在正常灌溉(0.76 kg)和干旱胁迫(0.34 kg)条件下均高于国内自交系对照的平均产量(0.67 kg, 0.31 kg),总穗数无显著差异,但美国自交系行粒数明显多于国内自交系,说明行粒数可能是造成产量差异的重要因素(表3)。

正常浇水条件下,国内自交系产量最高的自交系为海9-21,为1.03 kg;美国自交系中有34份材料产量高于海9-21,其中,WIL903产量最高,为1.56 kg。干旱条件下,国内自交系中产量最高的吉412,为0.52 kg,而美国自交系中,有30份材料产量高于吉412,其中,2FACC产量最高,为0.79 kg。

总体来看,美国自交系的生育期相对国内自交系较短,但差异不明显。正常条件下,美国自交系开花期和散粉期分别为61.68、63.97 d,国内自交系为62.82、64.37 d;干旱条件下,美国自交系开花期和散粉期分别为63.28、66.39 d,国内自交系为63.73、66.32 d。

在正常灌溉和干旱胁迫条件下,美国自交系和国内自交系的平均株高基本相同,美国自交系略高,为146.02、140.79、111.22、108.60 cm;但美国自交系的穗位高明显低于国内自交系,正常条件下美国自交系穗位高为47.20 cm,国内自交系为51.31 cm;干旱条件下,二者分别为34.92 cm和39.26 cm。

表2 正常灌溉和干旱胁迫条件下玉米产量与各性状间的相关性分析

Table 2 Correlation coefficients between GY and other traits under well-watered and water-stress condition

性状 Trait	产量 GY	穗数 EarN	粒数 KerN	玉米开花期 DtA	散粉期 DtS	开花和散粉期间隔天数 ASI	株高 PlaH	穗位高 EarH
产量	1	0.82**	0.73**	-0.13	-0.24**	-0.37**	0.42**	0.27**
穗数	0.74**	1	0.57**	-0.25**	-0.32**	-0.26**	0.39**	0.21**
粒数	0.75**	0.48**	1	-0.02	-0.18**	-0.38**	0.37**	0.22**
玉米开花期	-0.05	-0.19**	-0.01	1	0.87**	-0.04	0.15*	0.38**
散粉期	-0.11	-0.21**	-0.09	0.93**	1	0.38**	0.03	0.32**
开花和散粉期间隔天数	-0.28**	-0.17**	-0.22**	0.24**	0.53**	1	-0.23**	-0.13
株高	0.55**	0.53**	0.53**	0.28**	0.21**	-0.10	1	0.61**
穗位高	0.43**	0.27**	0.42**	0.41**	0.36**	-0.02	0.75**	1

注:左下为正常情况下的相关系数,右上为干旱条件下的相关系数。

Note: Lower left was the correlation coefficient under normal conditions, Upper right was the correlation coefficient under drought conditions.

表3 美国玉米自交系和国内玉米自交系相关性状的统计分析

Table 3 Statistical analysis of phenotypic traits of American inbred lines and Chinese inbred lines

性状 Trait	自交系 Inbred line	处理 Treatment	平均值 Mean value	最大值 Max.	最小值 Min.	标准差 Standard deviation	变异系数(%) Coefficient of variation
产量	AL	正常	0.75	1.56	0.04	0.28	37.78
		干旱	0.34	0.80	0.01	0.16	48.23
	NL	正常	0.67	1.25	0.03	0.27	40.30
		干旱	0.31	0.69	0.01	0.15	48.39
穗数	AL	正常	15.16	24.25	4.00	3.55	23.40
		干旱	10.95	18.25	1.50	3.55	32.39
	NL	正常	15.23	31.50	4.00	4.80	31.52
		干旱	11.10	20.00	1.00	4.12	37.12
行粒数	AL	正常	21.05	31.10	7.00	4.10	19.49
		干旱	15.94	26.23	6.32	3.64	22.82
	NL	正常	19.56	26.65	9.00	3.84	19.63
		干旱	15.63	24.35	8.50	3.39	21.69
开花期	AL	正常	61.68	71.00	50.50	3.70	6.00
		干旱	63.28	75.00	48.25	4.14	6.55
	NL	正常	62.82	70.00	52.50	3.65	5.81
		干旱	63.73	71.00	53.00	3.99	6.26
散粉期	AL	正常	63.97	77.00	51.25	4.19	6.56
		干旱	66.39	80.00	49.75	4.27	6.43
	NL	正常	64.37	71.00	55.00	4.19	6.52
		干旱	66.32	72.50	56.00	3.56	5.37
花期间隔	AL	正常	2.61	9.50	-0.50	1.65	63.20
		干旱	3.65	10.00	0.25	1.98	54.04
	NL	正常	2.32	6.50	-2.00	1.73	74.57
		干旱	3.2	8.00	0.00	2.01	62.81
株高	AL	正常	146.02	191.18	82.83	18.76	12.85
		干旱	111.22	158.70	68.35	17.68	15.89
	NL	正常	140.79	209.05	101.96	24.18	17.17
		干旱	108.60	167.75	68.10	20.17	18.57
穗位高	AL	正常	47.20	90.78	20.54	10.97	23.25
		干旱	34.92	58.22	15.85	8.42	24.13
	NL	正常	51.31	95.45	23.99	14.77	28.79
		干旱	39.26	71.05	20.35	10.49	26.72

2.4 利用选择指数选择综合性状优异的耐旱自交系

选择指数(SI)是用来评价玉米自交系耐旱性的一个重要指标,它不仅包含产量性状(GY),还包括有效穗数(EarN)、行粒数(KerN)、雌雄花间隔天数(ASI)、株高(PlaH)、穗位高(EarH)等其他一些与耐旱相关的农艺性状信息,相比于其他的耐旱性指标,选择指数是一种对玉米自交系耐旱性更为综合的评价方法。

$$S_{ij}=(x_{ij}-\mu_j)/\sigma_j \quad (1)$$

$$MP_{ij}=(S_{ijd}+s_{ijw})/2 \quad (2)$$

$$SI_i=b_1MP_{i1}+b_2MP_{i2}+\dots+b_jMP_{ij} \quad (3)$$

公式(1)中, S_{ij} 指水区和水分胁迫区自交系*i*的

性状*j*的标准表型值; x_{ij} 指基于性状*j*的自交系*i*的真实表型值; μ_j 指所有材料的性状*j*的平均值; σ_j 指性状*j*的标准差。公式(2)中, MP_{ij} 是指自交系*i*性状*j*的平均生产力; b_j 指性状*j*的重量值。公式(3)中, SI_i 是指自交系*i*的综合选择指数。

选择指数高的品种,耐旱性较强,受到干旱伤害程度较轻,植株综合表现较好。根据玉米自交系综合耐旱选择评价标准,选择指数大于2.5为耐旱性极强自交系,选择指数在1.00~2.49为强耐旱性自交系,选择指数在-0.50~0.99为中等耐旱性自交系,选择指数在-2.00~-0.49为中等干旱敏感性自交系,选择指数小于-2.0的为干旱敏感性自交系。

表4 部分美国自交系与国内自交系的选择指数对照

Table 4 SI of drought-tolerant of part inbred lines

序号 No.	自交系 Inbred line	系谱 Pedigree	杂种优势群 Heterosis group	选择指数 Selection index	耐旱性 Drought tolerance
1	LH149	(A662/B73)S1/(B73)2	SS	4.81	极强耐旱
2	S8326	(W117/Mo17)S2/Mo17	NS	4.77	极强耐旱
3	PHBA6	(PHZ51/PHG47)XA111K311K41XX	NS	4.76	极强耐旱
4	PHJ65	(PHG63/PHG65)X7XXX	SS	4.75	极强耐旱
5	LH205	LH74/LH119	SS	4.70	极强耐旱
6	740	Mo17/Mexican Deep Kernel	NS	4.32	极强耐旱
7	PHWG5	(PH814/PHG16)X73151411K21	SS	3.96	极强耐旱
8	WIL903	82C43-913-3-2-1-1-1	NS	3.94	极强耐旱
9	B109	Recovered B73	SS	3.87	极强耐旱
10	WIL901	82C232-919-1-1-1-1	NS	3.71	极强耐旱
11	E8501	387/FRMo17	NS	3.49	极强耐旱
12	PHR55	PH005/PHG84	NS	3.46	极强耐旱
13	PHT77	(814/995)X8111XX	NS	3.22	极强耐旱
14	PHV78	(G42/595)X1112X	NS	2.43	强耐旱
15	2369	(2702H/B73)/B73	SS	2.42	强耐旱
16	LH213	LH123Ht/LH51	NS	2.42	强耐旱
17	豫12(国内)	Mo17改良系	NS	1.92	强耐旱
18	齐319(国内)	Derived from hybrid 78599	SS	1.57	强耐旱
19	吉412(国内)	Derived from Mo17	NS	1.44	强耐旱
20	PHN47	(207/PHB60)X9211X	NS	0.98	中等耐旱
21	BCC03	3224/LH51	NS	0.97	中等耐旱
22	Mo17	C103/187-2	NS	0.63	中等耐旱
23	郑58(国内)	掖478改良系	SS	-0.01	中等耐旱
24	昌7-2(国内)	(Huangzao4/Wei95)/S901	NS	-0.18	中等耐旱
25	LH214	LH123Ht/LH51	NS	-0.58	中等敏感
26	B73	BSSSC5	SS	-1.05	中等敏感
27	CN962(国内)	Improved from Huangzao4	NS	-2.09	旱敏感
28	吉63(国内)	(127-32/铁84)(W24/W20)辐	NA	-2.33	旱敏感
29	PHK05	(CM7/051)XA51111XXXXX	NS	-4.84	旱敏感
30	WIL500	82C25-567-3-3-1-1-1	NS	-6.22	旱敏感

表4结果表明,美国自交系耐旱性显著高于国内自交系。选择指数1以上、耐旱性强的自交系有69份,其中国内自交系3份,分别为豫12(选择指数1.92)、齐319(选择指数1.57)和吉412(选择指数1.44),属强耐旱自交系;美国自交系LH149、S8326、PHBA6等26份选择指数大于2.5(选择指数2.59~4.81),均为耐旱性极强的自交系。PHV78、2369、LH213等40份自交系属于强耐旱性自交系,选择指数1.96~2.43,高于国内强耐旱自交系。国内自交系中,选择指数小于-2.0的自交系2个,分别为吉63(选择指数-2.24)和CN962(选择指数-2.04),属于干旱敏感性自交系;美国自交系中,有36份属于干旱敏感自交系。

3 结论与讨论

植物对耐旱的响应是一种复杂的生理生化过

程。由于干旱条件下产量性状的遗传力较低,且基因型和环境互作效应较大,一些与产量相关的第二性状常被用于玉米耐旱性评价^[6]。本研究选择的7个第二性状,除了开花期外,均与产量有一定的相关性,且这些性状在正常和干旱条件下表现为正相关关系(图1),说明在正常灌溉条件下对这些性状进行选择可以部分预测其在干旱胁迫下的表现,反之亦然^[7]。耐旱选择指数不仅包含了产量性状,而且还综合了第二性状在正常和干旱下的表现,相比于其他的耐旱评价指标,它能够更加全面地评价玉米自交系的耐旱性^[8]。本研究中,有26份美国自交系表现为极强的耐旱性,可能是由于这些自交系对海南的气候有较强的适应性,因此,对这些自交系材料仍需进行多年多点的耐旱性评价试验,从而挑选出在不同环境都表现为耐旱的优良自交系材料。

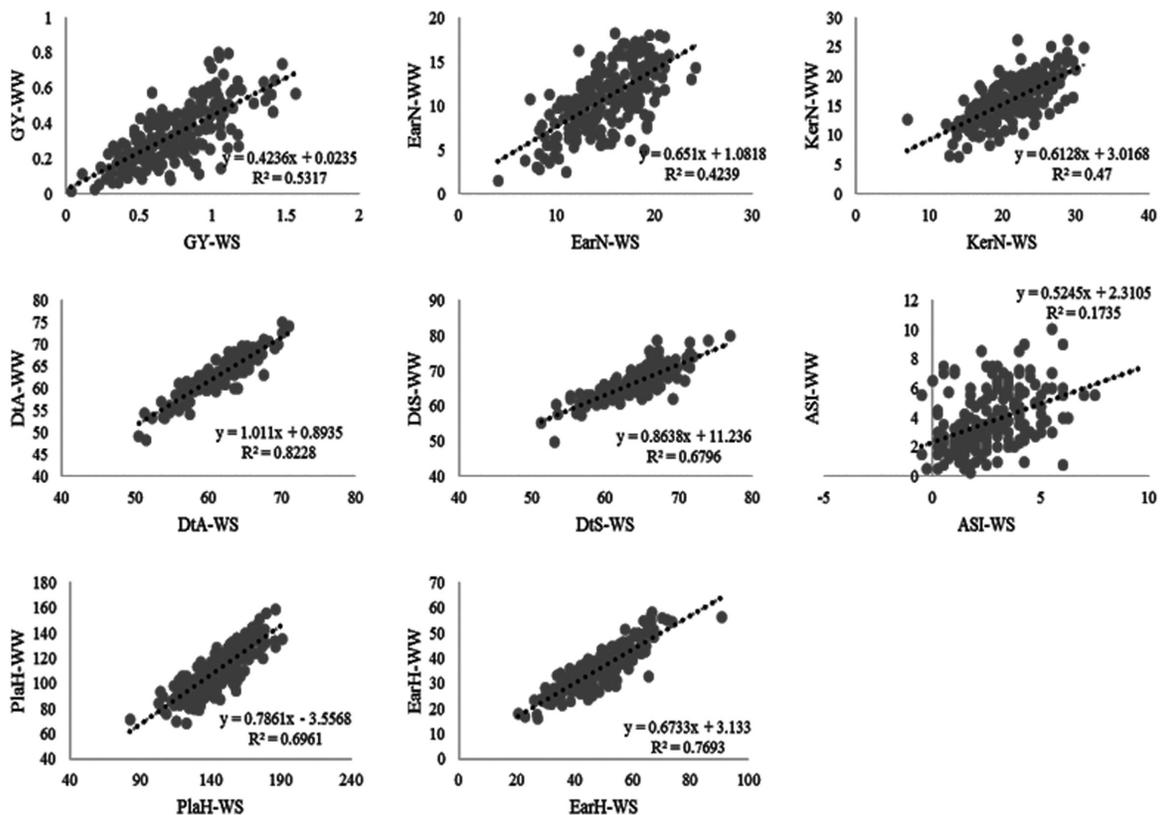


图1 不同表型性状分别在正常灌溉与干旱胁迫条件下的相关性分析

Fig.1 Relationship of the same trait between WS and WW treatments

玉米种质资源是玉米育种的前提,了解玉米自交系的亲缘关系、对玉米自交系进行划分杂种优势群有助于自交系的改良和杂交种选配^[9]。利用SSR标记或通过测序技术得到的SNP及InDel信息进行遗传多样性和杂种优势群的划分,可以更进一步了

解所收集的210份美国自交系。因此,这210份美国自交系的基因型数据的鉴定,也是之后工作的重点之一。

参考文献:

(下转第13页)

- Shi Z S, Wang Z B, Li F H, et al. Breeding report of popcorn single hybrid Shenbao No.2[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2001(4): 48-49. (in Chinese)
- [9] 祁新,牟瑛,等.爆裂玉米新品种吉爆3号[J].玉米科学,2003,11(1):45.
- Qi X, Mou Y, et al. The new variety of popcorn Jibao No.3[J]. Journal of Maize Sciences, 2003, 11(1): 45. (in Chinese)
- [10] 史振声.我国爆裂玉米科研和产业现状与发展战略[J].玉米科学,2002,10(3):3-6.
- Shi Z S. Current situation and development strategy on popcorn research and production in China[J]. Journal of Maize Sciences, 2002, 10(3): 3-6. (in Chinese)
- [11] 史振声,王志斌,李凤海.我国爆裂玉米的品种评价与区域性分析[J].玉米科学,2003,11(4):12-14.
- Shi Z S, Wang Z B, Li F H. Evaluation and regional analysis of new popcorn hybrid in China[J]. Journal of Maize Sciences, 2003, 11(4): 12-14. (in Chinese)
- [12] 王虹,史振声.种植密度对爆裂玉米产量及品质的影响[J].耕作与栽培,2014,201(6):1-4.
- Wang H, Shi Z S. Effect of plant density on yield and quality of popcorn[J]. Tillage and Cultivation, 2014, 201(6): 1-4. (in Chinese)
- [13] 史振声.美国爆裂玉米的历史和发展[J].玉米科学,2001,9(2):8-10.
- Shi Z S. The History and development of popcorn in the united states[J]. Journal of Maize Sciences, 2001, 9(2): 8-10. (in Chinese)
- (责任编辑:朴红梅)

(上接第6页)

- [1] Lobell D, Roberts M, Schlenker W, et al. Greater sensitivity to drought accompanies maize yield increase in the U.S. Midwest[J]. Science, 2014, 344: 516-519.
- [2] Boyer J, Byrne P, Cassman K, et al. The U.S. drought of 2012 in perspective: A call to action[J]. Global Food Security, 2013, 2: 139-143.
- [3] Yu C. China's water crisis needs more than words[J]. Nature, 2011, 470: 307.
- [4] Thirunavukkarasu N, Hossain F, Shiriga K, et al. Unraveling the genetic architecture of subtropical maize(*Zea mays* L.) lines to assess their utility in breeding programs[J]. BMC Genomics, 2013, 14: 877.
- [5] Li Y, Shi Y, Cao Y, et al. Establishment of a core collection for maize germplasm preserved in Chinese National Genebank using geographic distribution and characterization data[J]. Genet Resour Crop Ev, 2004, 51: 845-852.
- [6] Lu Y L, Hao Z F, Xu Y B, et al. Large-scale screening for maize drought resistance using multiple selection criteria evaluated under water-stressed and well-watered environments[J]. Field Crop Res. 2011, 124: 37-45.
- [7] Liu C L, Yang Z Y, Hu Y G. Drought resistance of wheat alien chromosome addition lines evaluated by membership function value based on multiple traits and drought resistance index of grain yield [J]. Field Crop Res., 2015, 179: 103-112.
- [8] Hao Z F, Li X H, Su Z J, et al. A proposed selection criterion for drought resistance across multiple environments in maize[J]. Breeding Science, 2011, 61: 101-108.
- [9] 林峰,梁帅强,周玲,等.玉米自交系的遗传多样性分析及杂种优势群划分[J].江苏农业科学,2015,43(11):107-109.
- Lin F, Liang S Q, Zhou L, et al. Genetic diversity analysis and heterotic grouping of maize inbred lines[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2015, 43(11): 107-109. (in Chinese)
- (责任编辑:朴红梅)