

不同类群玉米自交系苞叶性状的差异分析

贺文姝 张海波 孙宏蕾 阮燕晔 崔震海 张立军

沈阳农业大学生物技术学院/沈阳市玉米全基因组选择育种重点实验室, 沈阳 110866

摘要 为改良苞叶性状、选育适合机械收获籽粒的玉米品种,测定了我国五大类群玉米在 2 种不同环境下的苞叶性状,分析各性状的遗传特性和各个类群之间苞叶性状的差异及环境对各个类群不同苞叶性状的影响。结果表明:苞叶性状主要受遗传因素控制且变异广泛,其中苞叶长度具有高遗传力,苞叶数量、苞叶总厚度和苞叶宽度具有中等遗传力;苞叶长度与苞叶宽度达极显著正相关;不同类群间玉米苞叶性状存在显著差异,其中苞叶长度差异最显著,苞叶宽度和苞叶数量次之,苞叶总厚度无显著差异;除兰卡斯特苞叶总厚度外,各个类群的苞叶性状受环境的影响较小。因此,在育种中多数苞叶性状可直接进行遗传改良,并且以一个性状为主目标的改良可达到与之相关的其他苞叶性状改良的效果;兰卡斯特和唐四平头的苞叶数量不多且长度适中,可作为苞叶性状改良的重要种质来源。

关键词 玉米;苞叶;籽粒含水量;苞叶覆盖度;遗传特性;相关分析

中图分类号 S 513.503 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2018)04-0030-06

玉米苞叶是着生于果穗柄,包裹在果穗外部的变态叶。苞叶可为果穗发育提供良好环境^[1-2],也是其他器官运向籽粒营养物质的暂存库^[3],而且,苞叶较其他叶片有更高的光合产物转换效率,对果穗发育有较为重要的贡献^[4]。因此,苞叶形态结构对玉米果穗发育具有重要作用:若苞叶过短覆盖度不够,则导致果穗露尖,果穗易发生病虫害,造成粒腐或穗腐^[2,5];如果苞叶覆盖度过大,将减慢或延迟成熟后籽粒脱水^[6],而籽粒脱水速率慢是导致收获时籽粒含水量过高的主要原因。籽粒含水量过高是限制我国玉米机械收获的重要因素^[7]。因此,选育优良的苞叶性状品种有利于玉米成熟果穗和籽粒快速脱水以适应于机械收获。玉米苞叶性状主要包括苞叶数量、苞叶长度、苞叶宽度和苞叶厚度等^[8]。Cui 等^[8]利用 508 份关联群体自交系对 4 个苞叶性状进行了遗传基础研究,结果表明 4 个性状均主要受遗传调控,并呈现出中等水平的遗传力。何丹等^[9]研究表明,苞叶层数、苞叶总长、苞叶总宽等在遗传上主要表现为加性效应,可以通过选择合适亲本加以改良。我国玉米杂交育种中所应用的自交系主要分属兰卡

斯特、旅大红骨、瑞德、唐四平头和 PB(也称 PN78599)等五大类群^[10-11],但是尚未见关于各个类群苞叶特性的研究报道。本研究搜集了我国玉米五大类群 50 份自交系,在海南和北京 2 种环境下测定了各个类群的 4 个苞叶性状(苞叶长度、苞叶宽度、苞叶数量和苞叶总厚度),分析类群之间苞叶性状的差异及环境的影响,旨在为改良玉米苞叶性状及选育适合机械收获籽粒品种提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料由 50 个玉米自交系组成,分为 PB、兰卡斯特、旅大红骨、瑞德、唐四平头 5 个类群,每个类群均包含 10 份自交系(表 1)。

1.2 田间试验

试验材料于 2014 年在海南和 2015 年在北京种植。采用随机区组设计,2 次重复,单行区,行长 2.5 m,行间距 0.6 m,种植密度为 45 000 株/hm²。田间管理同一般生产田。

1.3 性状测定

玉米籽粒完全成熟后,于收获期同一时间田间

收稿日期:2017-09-21

基金项目:国家重点研发项目(2016YFD0101803);国家自然科学基金面上项目(31771880);辽宁省科技攻关重点研发项目(2011208001);辽宁省科技厅科技攻关重大项目(2015103001);辽宁省博士科研启动项目(201501063)

贺文姝,硕士研究生。研究方向:群体遗传学。E-mail: 254703593@qq.com

通信作者:崔震海,博士,讲师。研究方向:植物遗传育种。E-mail: zhcui@syau.edu.cn

表 1 玉米 50 份自交系及其类群划分
Table 1 Classification of 50 maize inbred lines

自交系 Inbred	类群 Heterotic group	自交系 Inbred	类群 Heterotic group	自交系 Inbred	类群 Heterotic group
龙抗 11	兰卡斯特	郑 35	旅大红骨	Ry729	瑞德
K11	Lancaster	Zheng35	Lüda Red Cob	铁 7922	瑞德
BGY	兰卡斯特	丹 360	旅大红骨	Tie7922	Reid
	Lancaster	Dan360	Lüda Red Cob	武 109	瑞德
647	兰卡斯特	丹 598	旅大红骨	Wu109	Reid
	Lancaster	Dan598	Lüda Red Cob	川 48-2	瑞德
4F1	兰卡斯特	掖 515	唐四平头	Chuan48-2	Reid
	Lancaster	Ye515	Tangsipingtou	K14	瑞德
WMR	兰卡斯特	东 46	唐四平头		Reid
	Lancaster	Dong46	Tangsipingtou	B73	瑞德
HTH-17	兰卡斯特	黄野四	唐四平头		Reid
	Lancaster	HYS	Tangsipingtou	丹 3130	PB
5213	兰卡斯特	黄早四	唐四平头	Dan3130	
	Lancaster	HZS	Tangsipingtou	丹 599	PB
杂 C546	兰卡斯特	Sy3073	唐四平头	Dan599	
ZaC546	兰卡斯特	昌 7-2	唐四平头	多黄 29	PB
四 446	兰卡斯特	Chang7-2	Tangsipingtou	DH29	
Si446	兰卡斯特		唐四平头	P138	PB
Mo17	兰卡斯特	Ry697	Tangsipingtou		
丹 598	旅大红骨	四 444	唐四平头	齐 205	PB
Dan598	Lüda Red Cob	Si444	Tangsipingtou	Qi205	
郑 22	旅大红骨	Q1261	唐四平头	齐 319	PB
Zheng22	Lüda Red Cob		Tangsipingtou	Qi319	
长 3	旅大红骨	K12	唐四平头	沈 135	PB
Chang3	Lüda Red Cob		Tangsipingtou	Shen135	
瓦 138	旅大红骨	Ry684	瑞德	沈 137	PB
W138	Lüda Red Cob		Reid	Shen137	
辽 138	旅大红骨	Ry737	瑞德	豫 87-1	PB
Liao138	Lüda Red Cob		Reid	Yu87-1	
Gy798	旅大红骨	郑 32	瑞德	中自 01	PB
	Lüda Red Cob	Zheng32	Reid	ZZ 01	
综 3	旅大红骨	U8112	瑞德		
Zong3	Lüda Red Cob		Reid		

调查苞叶长度(husk length, HL)、苞叶宽度(husk width, WD)、苞叶总厚度(total husk thickness, HT)和苞叶数量(husk number, HN)。每个自交系选 5 个长势一致的植株进行调查。测定方法:苞叶长度,选取玉米从外向内第 3 片苞叶,用软绳尺测定长度;苞叶宽度,选取测定苞叶长度的同一苞叶,用软绳尺测量苞叶 1/2 长度处的宽度;苞叶总厚度,用打孔器在玉米果穗苞叶从最外层达到最内层叶片,取出所有叶圆片用数显游标卡尺测量总厚度;苞叶数量,统计苞叶总数量。

1.4 数据分析

对于每个试验地点,以 2 次重复的均值作为表型值;对于多地点试验的总表型值,用最佳无偏线性

估计值(best linear unbiased prediction, BLUP)表示。BLUP 值是混合线性模型估计值与平均值之和。利用 SAS 软件中“PROC MIXED”程序对苞叶性状的表型变异进行分析。利用 SPSS 17.0 分析不同苞叶性状间相关性、不同类群间苞叶性状的差异,以及环境对各类群苞叶性状的影响。

2 结果与分析

2.1 苞叶性状表型及遗传力分析

如表 2 所示,4 个苞叶性状变异广泛。其中,各个性状在基因型之间存在极显著差异,且除苞叶数量外,其他苞叶性状基因型均占总变异的主要部分。

虽然对于苞叶长度、苞叶数量和苞叶宽度,基因型与环境的互作也表现出显著差异,但是其只占总变异的小部分。苞叶数量的环境方差极显著并且占总变异的大部分。另外,遗传分析表明,苞叶长度具有高

遗传力,苞叶数量、苞叶总厚度和苞叶宽度具有中等遗传力。所以,苞叶长度、苞叶数量、苞叶总厚度和苞叶宽度的变异主要源于遗传因素,但苞叶数量相较于其他苞叶性状更易受环境影响。

表 2 玉米 4 个苞叶性状的表型描述、方差组成和广义遗传力

Table 2 Phenotypic performance, variance component and broad-sense heritability of four husk traits in maize

性状 Traits	平均值/cm Means ± SD	范围/cm Range	方差组成 Variance component			广义遗传力 Broad-sense heritability
			基因型 Genotype	环境 Environment	基因型×环境 Genotype×Environment	
苞叶长度 Husk length	19.41±1.47	9.70~32.42	44.00**	0.14	8.95**	0.81
苞叶数量 Husk number	9.03±1.70	6.50~16.36	7.31**	15.38**	2.79**	0.62
苞叶总厚度 Total husk thickness	1.40 ± 0.48	0.65~3.47	0.42**	0.21	0.21	0.52
苞叶宽度 Husk width	7.49±1.64	3.81~13.38	6.41**	2.46	1.88*	0.71

注: * 表示显著相关($P < 0.05$), ** 表示极显著相关($P < 0.01$)。下同。Note: * shows significant difference ($P < 0.05$); ** show extremely significant difference ($P < 0.01$). The same as follows.

为确定不同苞叶性状之间的相关性,计算了 4 个苞叶性状间的皮尔森系数(表 3),结果显示:苞叶之间的相关系数变幅为 $-0.372 \sim 0.509$ 。其中,苞叶长度与苞叶宽度呈最大正相关,达极显著水平,这

表明苞叶的长和宽的生长和发育可能保持一致。苞叶数量与苞叶总厚度显著正相关,相关系数为 0.357,是由于苞叶数量和每层苞叶厚度是苞叶总厚度决定因素。

表 3 玉米 4 个苞叶性状间的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of four husk traits in maize

性状 Traits	苞叶长度 Husk length	苞叶数量 Husk number	苞叶总厚度 Total husk thickness	苞叶宽度 Husk width
苞叶长度 Husk length	1			
苞叶数量 Husk number	-0.240	1		
苞叶总厚度 Total husk thickness	0.070	0.357*	1	
苞叶宽度 Husk width	0.509**	-0.372**	0.157	1

2.2 不同类群苞叶性状差异比较

用“PROC MIXED”估算 BLUP 值,以尽可能消除环境影响。利用所得到的 BLUP 值进行方差分析,结果表明:不同类群之间除苞叶总厚度外其他苞叶性状存在不同显著水平的差异(图 1)。其中苞叶长度差异最为显著,其次是苞叶宽度和苞叶数量,最后是各个类群间差异不显著的苞叶总厚度。苞叶长度平均值从大到小的顺序为:PB>瑞德>旅大红骨>唐四平头>兰卡斯特,其中 PB 极显著大于兰卡斯特、唐四平头,显著大于旅大红骨,而瑞德与其他类群无显著差异。苞叶宽度平均值从大到小的顺序是唐四平头>兰卡斯特>瑞德>旅大红骨>PB,前 4 个类群苞叶宽度极显著大于 PB,但这 4 个类群间苞叶宽度差异不显著。对于苞叶数量来说,仅旅大红骨显著大于唐四平头,其他类群间差异不显著。

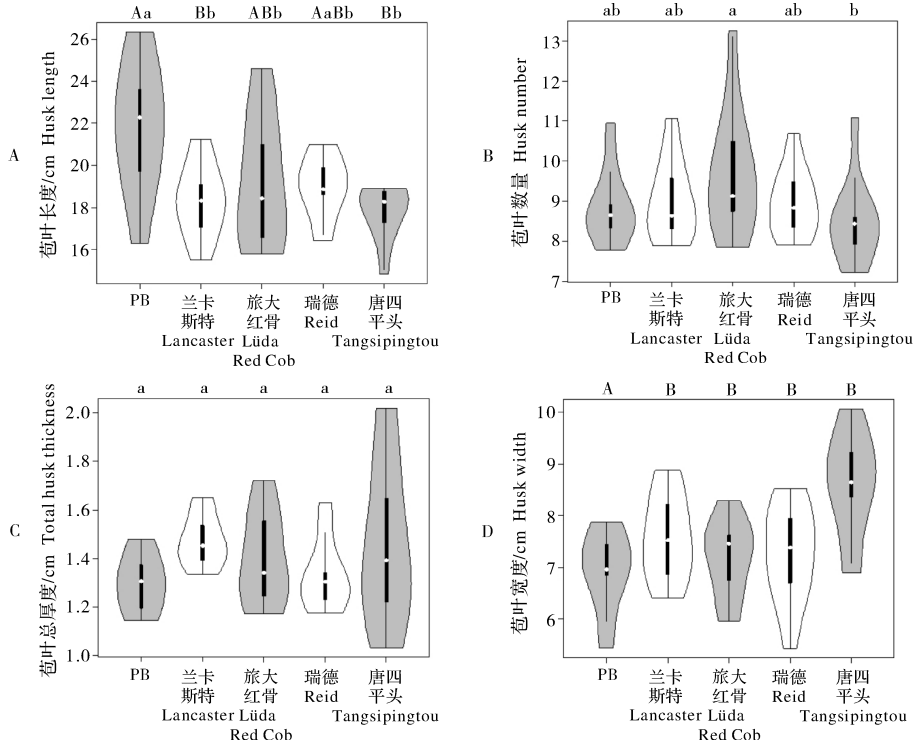
2.3 环境对不同类群苞叶性状的影响

在海南和北京不同环境下,测定的苞叶长度、数量、总厚度及宽度表型分布如图 2 所示。各类群之间苞叶性状在不同环境下的平均值大小分布与苞叶性状 BLUP 值分布基本一致。为确定环境对不同类群苞叶性状的影响,对各类群在不同环境苞叶性状进行单因素方差分析。

结果显示,尽管海南和北京的环境差异很大,但只有苞叶总厚度在兰卡斯特这一类群中出现极显著差异($P < 0.01$),其他性状均无显著差异(表 4)。表明环境对兰卡斯特的苞叶长度、苞叶数量及苞叶宽度和其他类群的所有苞叶性状的影响较小。

3 讨论

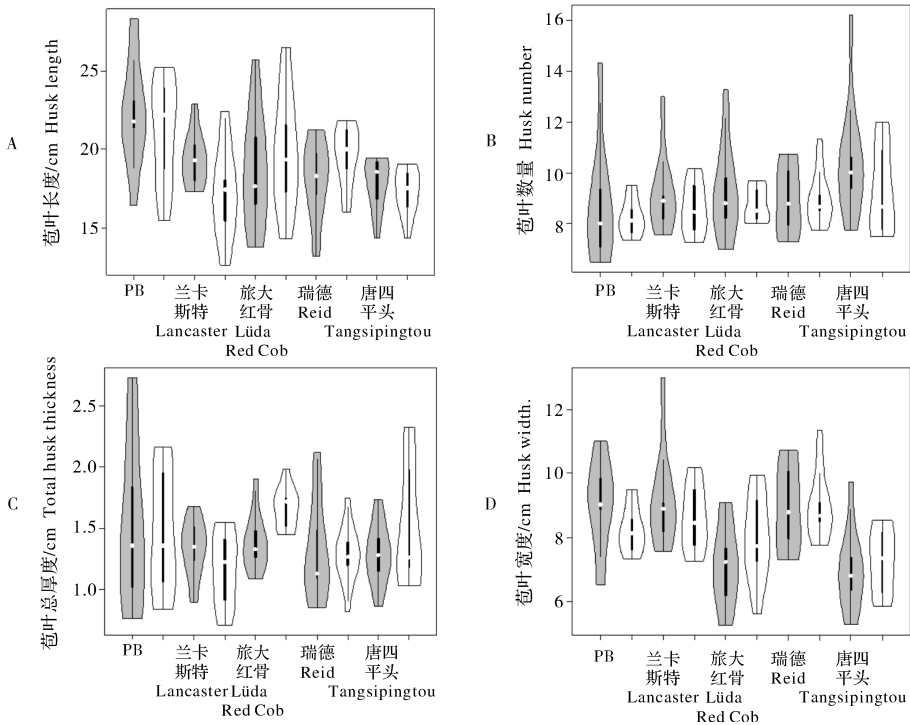
当前限制玉米籽粒机械收获的主要问题是籽粒含水多、破碎率高。收获时的籽粒含水率应低于



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。Lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$) and capital letters indicate extremely significant difference ($P < 0.01$).

图 1 玉米苞叶性状在不同类群中分布的小提琴图

Fig.1 Violin plot of husk traits distribution in different heterotic groups of maize



灰色表示海南, 白色表示北京。Gray indicates Hainan, and white indicates Beijing.

图 2 不同环境下玉米苞叶性状分布的小提琴图

Fig.2 Violin plot of husk traits distribution of maize in different environments

表 4 不同环境下玉米不同类群苞叶性状的方差分析

Table 4 Variance analysis of husk traits in different maize heterotic groups under different environments

性状 Traits	环境 Environment	类群 Heterotic group				
		PB	兰卡斯特 Lancaster	旅大红骨 Lüda Red Cob	瑞德 Reid	唐四平头 Tangspingtou
苞叶长度 Husk length	海南 Hainan	0.423	0.117	0.437	0.535	0.438
	北京 Beijing					
苞叶数量 Husk number	海南 Hainan	0.680	0.402	0.929	0.207	0.427
	北京 Beijing					
苞叶总厚度 Total husk thickness	海南 Hainan	0.905	0.005	0.887	0.218	0.224
	北京 Beijing					
苞叶宽度 Husk width	海南 Hainan	0.606	0.157	0.616	0.495	0.645
	北京 Beijing					

25%^[12], 否则籽粒容易破损, 影响最终产量^[13]。籽粒脱水速率与苞叶、穗轴、籽粒特征及果穗大小等穗部农艺性状有关, 在育种材料穗部性状的选择中, 收获期苞叶性状对籽粒脱水的影响更大^[14]。故在适宜机械收获籽粒的品种选育中, 苞叶性状应该成为一个重要指标。本研究在海南和北京对玉米五大类群的 4 个苞叶性状表型和遗传力分析表明, 4 个苞叶性状存在广泛变异, 变异的主要来源是遗传因素, 不同苞叶性状间存在显著相关性。环境方差分析显示, 除兰卡斯特的苞叶总厚度之外, 其他性状在不同环境下无显著差异。因此, 可以不考虑环境影响, 直接通过选择优良苞叶性状亲本培育适宜苞叶性状材料。而存在显著相关的苞叶性状之间, 可在以某个苞叶性状为主目标改良育种过程中, 达到改良与该主目标性状相关的其他苞叶性状的效果^[15]。

兰卡斯特、旅大红骨、瑞德、唐四平头和 PB 是国内玉米育种应用的五大主要种质类群。本研究发现不同类群间苞叶性状同样存在差异, 其中以苞叶长度差异最显著, 苞叶宽度和苞叶数量次之, 而苞叶厚度无显著差异。PB 苞叶形态呈现长窄型, 具有较少苞叶数量; 瑞德苞叶较长、宽度中等和数量较少; 旅大红骨的苞叶数量较多, 长度和宽度中等; 兰卡斯特和唐四平头苞叶形态类似, 均呈现短宽型, 苞叶数量较少。张冬梅等^[16]研究表明 PB 群、旅大红骨和瑞德灌浆速率快, 兰卡斯特和唐四平头灌浆速率慢。因此, 苞叶长度长且数量中等的玉米灌浆速率快。灌浆速率增大会加快籽粒脱水速率, 从而降低收获时籽粒含水率, 二者呈极显著正相关^[17-18]。籽粒灌浆脱水速率是决定玉米收获期籽粒含水量的重要因素^[19]。在选育机械收粒的低含水量品种时, 苞叶长度和苞叶数量是更有意义的选择性状。兰卡斯特和

唐四平头的苞叶数量不多, 同时长度适中, 更有利于籽粒脱水, 可作为品种苞叶性状改良的重要种质来源。PB 和瑞德可用于改良由苞叶过短导致果穗易发生病虫害的玉米自交系或者品种。旅大红骨苞叶数量过多, 可通过唐四平头进行改良, 既可减少苞叶数量又不增大苞叶长度, 从而加快籽粒脱水速率。但是实际育种过程中, 由于苞叶性状在遗传上主要表现为加性效应, 仅通过亲本苞叶表型的选择实现对杂交种苞叶表型控制较难, 还需要结合亲本之间的配合力, 进一步了解亲本中苞叶性状的遗传调控位点, 达到苞叶性状相对精准改良的目的。

参 考 文 献

- [1] 宋凤斌, 徐洪文. 玉米苞叶光合生理特性研究进展[J]. 玉米科学, 2008(4): 31-34.
- [2] CAO A, SANTIAGO R, RAMOS A J, et al. Critical environmental and genotypic factors for *Fusarium verticillioides* infection, fungal growth and fumonisin contamination in maize grown in northwestern Spain[J]. International journal of food microbiology, 2014, 177(3): 63-71.
- [3] 徐洪文, 宋凤斌, 童淑媛, 等. 两种基因型玉米苞叶的衰老生理特性[J]. 植物资源与环境学报, 2008, 17(3): 28-32.
- [4] KOUNOSUKE F, FUTOSHI F, OKIHIRO S, et al. Effect of defoliation and ear removal on dry matter production and inorganic element absorption in sweet corn[J]. Soil science & plant nutrition, 1994, 40(40): 581-591.
- [5] BETRÁN F J, ISAKEIT T. Aflatoxin accumulation in maize hybrids of different maturities[J]. Agronomy journal, 2004, 96(2): 565-570.
- [6] CROSS H Z, KABIR K M. Evaluation of field dry-down rates in early maize[J]. Crop science, 1989, 29(1): 54-58.
- [7] 赵东宾, 杨哲. 影响玉米机械收粒质量因素的分析[J]. 新疆农垦科技, 2016(5): 40-42.
- [8] CUI Z, LUO J, QI C, et al. Genome-wide association study (GWAS) reveals the genetic architecture of four husk traits in

- maize[J]. BMC genomics, 2016, 17(1):946.
- [9] 何丹,王秀全,刘昌明,等. 玉米苞叶几个农艺性状的相关关系及其遗传研究[J]. 玉米科学, 2001, 9(1):43-45.
- [10] 芦连勇,王帅兵. 我国玉米育种与生产中 PN78599 种质的改良与杂种优势模式利用[J]. 农业科技通讯, 2013(4):147-150.
- [11] 宁家林,高洪敏,曲岗,等. 旅大红骨种群在我国玉米育种与生产中的利用[J]. 园艺与种苗, 2002, 22(2):63-65.
- [12] 王利锋,唐保军,王振华,等. 不同类型玉米品种间籽粒脱水速率相关分析[J]. 玉米科学, 2011, 9(1):1-10.
- [13] 柴宗文,王克如,郭银巧,等. 玉米机械粒收质量现状及其与含水率的关系[J]. 中国农业科学, 2017, 50(11):2036-2043.
- [14] 王克如,李少昆. 玉米籽粒脱水速率影响因素分析[J]. 中国农业科学, 2017, 50(11):2027-2035.
- [15] 马智艳,董永彬,乔大河,等. 不同种质玉米杂交种苞叶性状特征分析[J]. 河南农业科学, 2015, 44(2):15-18.
- [16] 张冬梅,刘洋,赵永锋,等. 不同杂种优势群玉米籽粒灌浆速率分析[J]. 中国农业科学, 2014, 47(17):3323-3335.
- [17] KANG M S, ZUBER M S. Combining ability for grain moisture, husk moisture, and maturity in maize with yellow and white endosperms[J]. Crop science, 1989, 29(3):689-692.
- [18] 李淑芳,张春宵,路明,等. 玉米籽粒自然脱水速率研究进展[J]. 分子植物育种, 2014, 12(4):825-829.
- [19] 王俊强,马宝新,刘海燕,等. 玉米籽粒含水量相关因素及育种策略[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(16):8867-8868.

Variation analyses of husk traits in different maize heterotic groups

HE Wenshu ZHANG Haibo SUN Honglei RUAN Yanye CUI Zhenhai ZHANG Lijun

College of Bioscience and Biotechnology, Shenyang Agricultural University/

Shenyang Key Laboratory for Genome Select in Maize Breeding, Shenyang 110866, China

Abstract The genetic characteristics and phenotypic variations of husk traits of maize inbred lines in five heterotic groups were analyzed. Effects of environments by observing the performance of four husk traits was studied under two different environments in China. Husk traits are primarily controlled by genes. The heritability of husk length was high, but that of husk number, total husk thickness and husk width was moderate. Husk length was significantly positively correlated with husk width. The significant differences were found among maize heterotic groups in the decreasing order of husk length, husk width, number, and total husk thickness. There is no significant difference of all husk traits between two different environment except total husk thickness in Lancaster group. It is indicated that most maize husk traits can be genetically improved directly via breeding. The genetic improvement targeting one trait of husk can synchronously modify the other traits of husk significantly correlated with the target trait. The husk traits in Lancaster and Tangsipingtou are more beneficial to the grain dehydration, with modest husk number and length, indicating that the two heterotic groups might be used as the important germplasm for improving bract leaf traits.

Keywords maize; husk; moisture of kernels; coverage of husk; genetic characteristics; correlation analysis

(责任编辑:张志钰)