

王 军,李洪涛,许瀚元,等. 糯玉米茎秆穿刺强度的遗传模型分析[J].江苏农业学报,2016,32(4):752-758.

doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2016.04.006

糯玉米茎秆穿刺强度的遗传模型分析

王 军¹, 李洪涛¹, 许瀚元¹, 迟 铭¹, 王 朋², 张灿宏¹, 徐大勇¹

(1. 江苏省连云港市农业科学院,江苏 连云港 222006; 2.江苏省大华种业集团有限公司育种研究院,江苏 连云港 222344)

摘要: 为了研究控制糯玉米茎秆穿刺强度的基因遗传规律,以茎秆穿刺强度存在显著差异的2个糯玉米自交系组配的 P_1 、 P_2 、 F_1 、 BC_1 、 BC_2 、 F_2 6个世代为试验材料,运用主基因+多基因遗传模型分析方法进行分析。结果表明,糯玉米茎秆穿刺强度遗传受2对加性-显性-上位性主基因+加性-显性多基因共同控制,茎秆穿刺强度遗传以主基因遗传为主, BC_1 、 BC_2 、 F_2 群体的主基因遗传率分别为60.24%、53.58%、50.95%,多基因的遗传率分别19.34%、30.33%、36.42%,主基因+多基因总遗传率为83.62%,两者在控制糯玉米茎秆穿刺强度遗传特性上都具有重要作用,环境因素对茎秆穿刺强度影响较小。这一研究结果为糯玉米茎秆穿刺强度性状的基因定位和育种选择奠定了理论基础。

关键词: 糯玉米; 茎秆穿刺强度; 主基因+多基因; 遗传

中图分类号: S513 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2016)04-0752-07

Analysis of inheritance model for rind penetrometer resistance in waxy maize

WANG Jun¹, LI Hong-tao¹, XU Han-yuan¹, CHI Ming¹, WANG Peng², ZHANG Can-hong¹, XU Da-yong¹

(1. Lianyungang Academy of Agricultural Sciences, lianyungang 222006, China; 2. Breeding Research Institute, Jiangsu Dahua Seed Enterprise Co., Ltd., Lianyungang 222344, China)

Abstract: In order to elucidate the inheritance of rind penetrometer resistance in waxy corn, six generations (P_1 , P_2 , F_1 , BC_1 , BC_2 , and F_2) from the cross Huanjiangnuo \times LN12 were investigated with mixed major gene plus polygene inheritance model. Results showed that rind penetrometer resistance in waxy corn was controlled by two major genes with additive-dominance-epistatic effects and polygenes with additive-dominant effects, and mainly governed by major genes. The major gene heritability in BC_1 , BC_2 , and F_2 were 60.24%, 53.58% and 50.95%, respectively, and the polygene heritability in BC_1 , BC_2 , and F_2 were 19.34%, 30.33% and 36.42%, respectively. The major gene and polygene both played important roles in the inheritance of waxy corn rind penetrometer resistance, with total heritability of 83.62%, indicative of the small influence of environmental factors. Results presented here lay a foundation for rind penetrometer resistance improvement in waxy corn breeding program and the following QTL mapping.

Key words: waxy corn; rind penetrometer resistance; major gene and polygene; inheritance

收稿日期: 2016-01-17

基金项目: 江苏省自然科学基金项目 (BK2010286); 连云港市科技计划项目 (CN1404, CN1501)

作者简介: 王 军 (1982-), 男, 安徽怀宁人, 硕士, 副研究员, 主要从事玉米、大麦遗传育种和栽培技术研究。
(Tel) 15861229567; (Email) wangjun198210@163.com

玉米是重要的饲料、工业原料和粮食作物,在国民经济发展中占有重要地位^[1],2012年中国玉米种植面积达到了全国耕地总面积的21.44%。然而倒伏是玉米生产中普遍存在的问题,已经成为高产稳产的重要限制因素之一。倒伏是指由各种因素引发的茎秆从直立状态到倒折的现象^[2],玉米倒伏可以划分为根倒、茎倒(折)^[3]。据研究,倒伏的玉米

30%~60%以上为茎折^[4]。倒伏减少产量,降低品质,引发玉米病害,影响机械化收割^[5-8],严重阻碍玉米生产的进一步发展。据统计,每年因玉米倒伏而造成的产量损失为5%~25%,甚至更高^[9-11]。因此,近年来关于玉米抗倒伏能力与茎秆的机械强度关系的研究越来越引起高度关注,该研究多集中在茎秆的形态性状^[12-13]、解剖结构特征^[14-15]、茎秆化学成分含量^[16-17]、抗倒伏强度测定技术的研究^[18-19]等,而关于茎秆质量性状的遗传研究较少。茎秆质量性状主要包括茎秆折断强度与拉弯强度、茎秆压碎强度、茎秆穿刺强度^[20]。多数学者主要是从茎秆穿刺强度与玉米抗倒伏特性关系展开研究^[21-27],发现茎秆穿刺强度与玉米抗倒伏性高度相关,且与倒伏存在显著或极显著的负相关;茎秆耐穿刺力是影响茎秆倒伏的主要直接因素,并由此说明茎秆穿刺强度可作为玉米育种群体和耐密品种选择的抗倒性指标。多项研究结果表明,茎秆穿刺强度的遗传特点因研究材料和环境的差异而不甚一致。因此,对玉米茎秆穿刺强度的遗传规律还需进一步研究。关于茎秆穿刺强度测定时期和部位选择,国外学者经常选取玉米基部第2或第3节间中部作为测量部位,将乳熟期或吐丝盛期过后35 d作为测定时期^[28-29],但也有学者将开花前或抽雄前期作为测定时期^[30-31]。国内学者多数将玉米基部第3节间中部作为测定位置,将乳熟期至蜡熟期作为测定时期^[11,23,32-33]。本研究根据前人研究也选取基部第3节间中部作为测定位置;在玉米乳熟期,自然气候多变,加上植株地上部较高的生物产量,易遭受大风天气而造成茎秆倒折,因此本研究选取乳熟期作为测定时期。

盖钧铭^[34]建立了植物数量性状遗传体系主基因-多基因混合遗传模型分离分析方法体系,该体系基于混合分布理论、EM (Expectation & maximization) 算法、AIC (Akaike's information criterion) 准则、适合性检测和Bayesian 后验概率,通过分离群体数量性状观测值实际分布与包含0~4对主基因的各种遗传模型理论分布的比较,发现数量性状的最适遗传模型并鉴定分离个体或家系的主基因型,将质量性状的分离分析拓展至数量性状的分离分析,这种数量性状分离分析在中国近20年的植物遗传分析中广泛应用。本研究拟采用主基因+多基因6世代联合分析方法对糯玉米茎秆穿刺强度进行遗传分析,试图探讨糯玉米基部茎秆穿刺强度的遗

传规律,旨在为糯玉米茎秆耐穿刺的遗传改良和选育抗倒伏的玉米新品种提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用综合农艺性状较好的茎秆穿刺强度差异较大的糯玉米自交系为亲本(分别为连玉糯1号母本LN12和广西地方种质环江糯),以LN12×环江糯杂交组合的 P_1 、 P_2 、 BC_1 、 BC_2 、 F_1 、 F_2 6世代为试验材料。

1.2 试验设计

2014年夏在连云港市农业科学院试验场,利用茎秆穿刺强度差异较大的糯玉米自交系LN12(P_1)和环江糯(P_2)为亲本配置杂交组合 F_1 (LN12×环江糯);2014冬在海南三亚试验地播种亲本及 F_1 杂交种,并配置 BC_1 (LN12/环江糯//LN12)、 BC_2 (LN12/环江糯//环江糯)、 F_2 (LN12×环江糯)。2015年夏在连云港市农业科学院试验场,6世代群体同期播种,均采用随机区组设计,3次重复,不分离世代 P_1 、 P_2 和 F_1 群体每个小区各播种3行,每个群体60株,分离世代 BC_1 、 BC_2 和 F_2 群体每个小区各播种15行,每个群体300株。小区行长4.50 m,行距0.60 m,株距0.22 m。

1.3 性状测定

于玉米乳熟期,利用浙江拓普仪器有限公司生产的植物茎秆强度测定仪YYD-1A测定茎秆穿刺强度,取正常生长玉米植株,将横截面积为1 mm²的测头以茎秆的短轴方向垂直刺入地上部第3节间中部,读取并记录试验数据,连续测量3次取平均值。 P_1 、 P_2 、 BC_1 、 BC_2 、 F_1 、 F_2 6个群体分别考察50株、50株、50株、150株、150株、200株。

1.4 统计分析

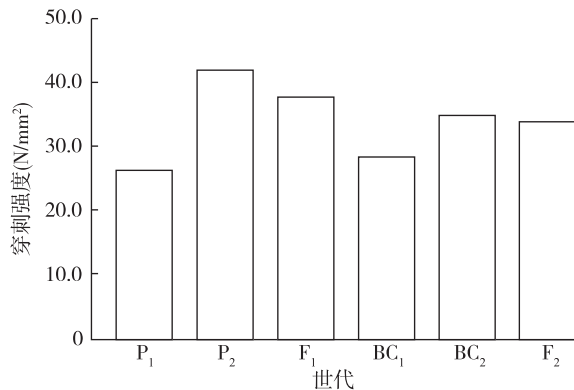
利用盖钧铭等^[34-35]提出的植物数量性状遗传体系主基因+多基因混合遗传模型分离分析方法(P_1 、 P_2 、 F_1 、 F_2 、 BC_1 、 BC_2 6个世代联合分析方法)对玉米茎秆穿刺强度进行主基因+多基因模型分析,根据所选最适模型估算玉米茎秆穿刺强度相应的主基因和多基因的遗传参数。主基因+多基因6世代联合分析软件包^[36]由南京农业大学章元明教授提供。

2 结果与分析

2.1 各世代玉米群体的茎秆穿刺强度

由图1可以看出 P_1 代糯玉米茎秆穿刺强度平

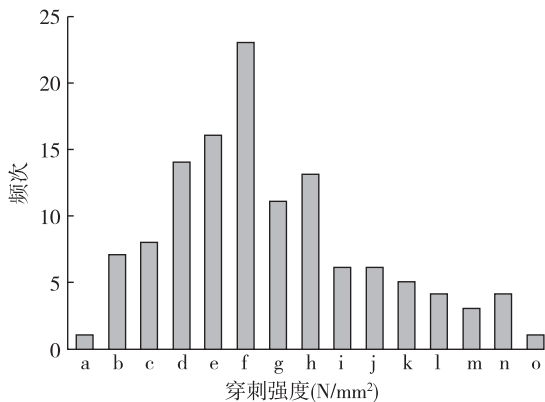
均值低于 P_2 , 说明 LN12 的耐穿刺性低于环江糯; F_1 平均值介于 P_1 与 P_2 之间, 且接近 P_2 , 说明杂种 F_1 茎秆穿刺强度杂种优势表现为正向离中亲优势, 无超亲优势。3 个分离世代群体 BC_1 、 BC_2 、 F_2 茎秆穿刺强度的次数呈多峰分布 (图 2、图 3、图 4), 表现为包含多个正态分布的混合分布, 表明茎秆穿刺强度属于受主基因和多基因共同控制的数量性状。



P_1 : LN12; P_2 : 环江糯; F_1 、 F_2 : LN12×环江糯; BC_1 : LN12/环江糯//LN12; BC_2 : LN12/环江糯//环江糯。

图1 各世代群体的茎秆穿刺强度均值

Fig.1 Average rind penetrometer resistance of each segregating generation



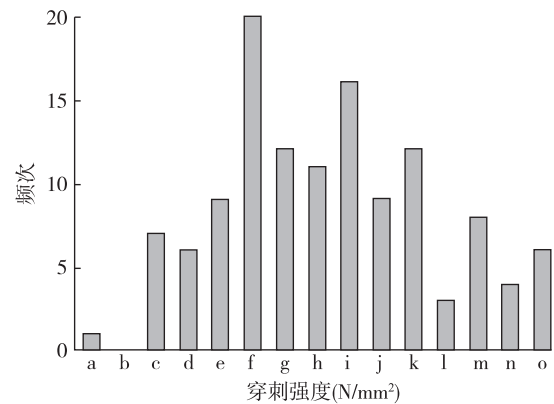
a: 18.20~19.99; b: 20.00~21.79; c: 21.80~23.58; d: 23.59~25.37; e: 25.38~27.17; f: 27.18~28.90; g: 28.91~30.75; h: 30.76~32.55; i: 32.56~34.34; j: 34.35~36.13; k: 36.14~37.93; l: 37.94~39.72; m: 39.73~41.51; n: 41.52~43.31; o: 43.32~45.10。

图2 BC_1 群体茎秆穿刺强度的次数分布

Fig.2 The frequency distribution of rind penetrometer resistance in BC_1 segregating generation

2.2 糯玉米茎秆穿刺强度遗传模型分析

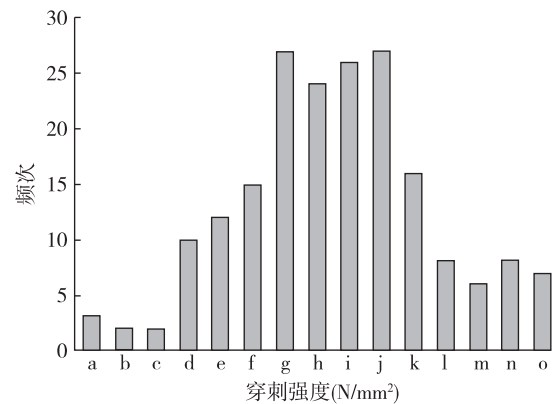
AIC 值表示观测值概率的估计分布与真实分布



a: 21.70~23.58; b: 23.59~25.46; c: 25.47~27.34; d: 27.35~29.22; e: 29.23~31.10; f: 31.11~32.98; g: 32.99~34.66; h: 34.67~36.74; i: 36.75~38.62; j: 38.63~40.50; k: 40.51~42.38; l: 42.39~44.26; m: 44.27~46.14; n: 46.15~48.02; o: 48.03~49.90。

图3 BC_2 群体茎秆穿刺强度的次数分布

Fig.3 The frequency distribution of rind penetrometer resistance in BC_2 segregating generation



a: 14.20~16.58; b: 16.59~18.96; c: 18.97~21.34; d: 21.35~23.72; e: 23.73~26.10; f: 26.11~28.48; g: 28.49~30.66; h: 30.67~33.24; i: 33.25~35.62; j: 35.63~38.00; k: 38.01~40.38; l: 40.39~42.76; m: 42.77~45.14; n: 45.15~47.52; o: 47.53~49.90。

图4 F_2 群体茎秆穿刺强度的次数分布

Fig.4 The frequency distribution of rind penetrometer resistance in F_2 segregating generation

间的适合性程度。 AIC 值最小的模型为最佳可能模型。模型间 AIC 值差异不大时, 可以有几个备选模型, 再进行一组样本分布与模型所代表的理论分布间的适合性检验, 选择参数显著差异最小的模型为最佳模型。由表 1 可知, 模型 B-1、E、E-1 的 AIC 值较小, 故为茎秆穿刺强度的备选遗传模型。根据表 2 的适合性检验选择统计量达到显著水平个数较少

的模型作为最适模型,B-1 模型有 3 个统计量达到显著或极显著差异,即有 3 个适合性检验统计量描述 B-1 模型与分离群体的分布不一致;E、E-1 模型均没有统计量达到显著或极显著差异,但由于 E-1

模型的 AIC 值低于 E 模型的 AIC 值,故本研究选择 E-1 模型为茎秆穿刺强度的最佳遗传模型,即该性状表现为 2 对加性-显性-上位性主基因+加性-显性多基因混合遗传模型。

表 1 糯玉米茎秆穿刺强度各遗传模型的 AIC 值

Table 1 AIC estimates of different genetic models for waxy maize rind penetrometer resistance

模型	遗传模式	AIC 值	模型	遗传模式	AIC 值
A-1	1MG-AD	3 384.715 0	D	MX1-AD-ADI	3 341.066 1
A-2	1MG-A	3 380.612 6	D-1	MX1-AD-AD	3 376.416 7
A-3	1MG-EAD	3 475.419 8	D-2	MX1-A-AD	3 369.447 1
A-4	1MG-AEND	3 446.667 2	D-3	MX1-EAD-AD	3 355.061 4
B-1	2MG-ADI	3 323.238 6	D-4	MX1-AEND-AD	3 358.039 7
B-2	2MG-AD	3 340.524 6	E	MX2-ADI-ADI	3 330.541 3
B-3	2MG-A	3 965.843 5	E-1	MX2-ADI-AD	3 324.625 6
B-4	2MG-EA	3 401.508 4	E-2	MX2-AD-AD	3 378.117 7
B-5	2MG-AED	3 641.805 8	E-3	MX2-A-AD	3 355.466 9
B-6	2MG-EEAD	3 640.121 4	E-4	MX2-EA-AD	3 346.709 3
C	PG-ADI	3 340.445 1	E-5	MX2-AED-AD	3 357.016 6
C-1	PG-AD	3 371.196 0	E-6	MX2-EEAD-AD	3 356.236 4

MG:主基因;A:加性效应;E:等于;D:显性效应;N 负向;I:互作(上位性效应);PG:多基因;MX:主基因+多基因,如 E 模型(MX2-ADI-ADI);2 对加性-显性-上位性主基因+加性-显性-上位性多基因混合遗传。

表 2 糯玉米茎秆穿刺强度遗传模型的适合性检验

Table 2 Test for goodness-of-fit of genetic model for waxy maize rind penetrometer resistance

候选模型	世代	U_{12}	U_{22}	U_{32}	${}_nW^2$	D_n
B-1	P_1	0.012 2(0.911 9)	0.042 5(0.836 7)	0.156 7(0.692 2)	0.068 9(>0.05)	0.047 1(>0.05)
	F_1	0.044 4(0.833 2)	0.173 7(0.676 8)	0.725 1(0.394 5)	0.059 7(>0.05)	0.061 9(>0.05)
	P_2	7.278 6(0.007 0) **	5.290 5(0.021 4) *	1.558 6(0.211 9)	0.734 9(<0.05) *	0.115 9(>0.05)
	BC_1	0.043 3(0.835 1)	0.018 9(0.890 8)	0.066 0(0.797 3)	0.044 7(>0.05)	0.006 9(>0.05)
	BC_2	0.015 4(0.901 4)	0.150 6(0.698 0)	1.149 6(0.283 6)	0.052 3(>0.05)	0.004 1(>0.05)
	F_2	0.028 0(0.867 1)	0(0.997 6)	0.404 8(0.524 6)	0.039 7(>0.05)	0.012 4(>0.05)
E	P_1	0.009 5(0.922 3)	0.000 1(0.991 7)	0.175 9(0.674 9)	0.071 8(>0.05)	0.051 2(>0.05)
	F_1	0.001 4(0.970 3)	0.032 4(0.857 0)	0.747 8(0.387 2)	0.058 8(>0.05)	0.068 1(>0.05)
	P_2	0.000 5(0.982 6)	0.006 5(0.935 8)	0.165 5(0.684 1)	0.031 3(>0.05)	0.042 6(>0.05)
	BC_1	0.002 1(0.963 6)	0.001 6(0.968 2)	0.000 3(0.986 5)	0.032 2(>0.05)	0.004 8(>0.05)
	BC_2	0(0.995 0)	0.001 6(0.968 2)	0.018 2(0.892 6)	0.026 0(>0.05)	0.019 2(>0.05)
	F_2	0.007 9(0.929 0)	0.005 7(0.939 8)	0.418 6(0.517 6)	0.048 8(>0.05)	0.014 4(>0.05)
E-1	P_1	0.000 7(0.979 0)	0.005 9(0.938 6)	0.168 4(0.681 6)	0.069 9(>0.05)	0.049 8(>0.05)
	F_1	0.015 9(0.899 5)	0.009 2(0.923 8)	0.759 8(0.383 4)	0.061 2(>0.05)	0.070 4(>0.05)
	P_2	0.039 1(0.843 3)	0.007 6(0.930 6)	0.173 8(0.676 8)	0.035 8(>0.05)	0.045 7(>0.05)
	BC_1	0.049 0(0.824 8)	0.032 3(0.857 5)	0.019 3(0.889 4)	0.036 3(>0.05)	0.004 6(>0.05)
	BC_2	0.004 2(0.948 1)	0.022 5(0.880 7)	0.121 3(0.727 6)	0.031 3(>0.05)	0.021 9(>0.05)
	F_2	0.041 7(0.838 2)	0.002 7(0.958 8)	0.340 9(0.559 3)	0.04 2(>0.05)	0.012 8(>0.05)

U_{12} 、 U_{22} 和 U_{32} 为均匀性检验统计量, ${}_nW^2$ 为 Smirnov 检验统计量, D_n 为 Kolmogorov 检验统计量。* 表示在 0.05 水平差异显著 ($P < 0.05$), ** 表示在 0.01 水平差异显著 ($P < 0.01$)。

2.3 糯玉米茎秆穿刺强度遗传参数估计

由茎秆穿刺强度最佳遗传模型的各成分分布参数估计出主基因和多基因的一阶遗传参数和二阶遗传参数(表 3)。从一阶遗传参数(表 3)可以看出,控制糯玉米茎秆耐穿刺强度的 2 对主基因的加性效应与显性效应均为减效,且 2 对主基因的加性效应(d_a 和 d_b)相等,均为-4.915 4,第 1 对主基因的显性效应略大于第 2 对,分别为-4.497 7和-4.491 4;2 对主基因的显性度基本相等,且 h_a/d_a (1.092 9)和 h_b/d_b (1.094 4)都略大于 1,说明控制糯玉米茎秆耐穿刺强度的 2 对主基因的加性效应略大于显性效应,表现为部分显性。加性×加性互作、显性×显性互作、加性×显性互作、显性×加性互作均为正值,上位性效应累计为正向,说明 2 对减效等位基因在一起,无论处于纯合还是处于杂合状态,都将增加糯玉米茎秆穿刺强度。

表 3 糯玉米茎秆穿刺强度最佳遗传模型遗传参数估计值

Table 3 Estimates of genetic parameters for rind penetrometer resistance of waxy maize under best-fitted model

一阶遗传参数	估计值	二阶遗传参数	世代	估计值
m	34.316 2	σ_{p_2}	BC ₁	31.948 4
d_a	-4.915 4	σ_{mg_2}		19.245 7
d_b	-4.915 4	σ_{pg_2}		6.178 9
h_a	-4.497 7	$h_{mg_2}(\%)$		60.240 0
h_b	-4.491 4	$h_{pg_2}(\%)$		19.340 0
h_a/d_a	1.092 9	σ_{p_2}	BC ₂	40.541 4
h_b/d_b	1.094 4	σ_{mg_2}		21.722 1
i	0.131 3	σ_{pg_2}		12.295 3
j_{ab}	1.615 3	$h_{mg_2}(\%)$		53.580 0
j_{ba}	1.644 3	$h_{pg_2}(\%)$		30.330 0
l	10.686 7	σ_{p_2}	F ₂	51.717 2
$[d]$	2.100 7	σ_{mg_2}		26.349 9
$[h]$	1.834 8	σ_{pg_2}		18.836 9
		$h_{mg_2}(\%)$		50.950 0
		$h_{pg_2}(\%)$		36.420 0
		$h^2(\%)$		83.620 0

m 是群体平均数; d 、 h 、 i 、 j 、 l 分别代表主基因的加性效应、显性效应、加性与加性互作效应、加性与显性互作效应、显性与显性互作效应; a 和 b 分别代表第 1 对和第 2 对主基因; h/d 代表显性度; $[d]$ 、 $[h]$ 分别代表多基因的加性效应、显性效应; σ_{p_2} 、 σ_{mg_2} 、 σ_{pg_2} 分别代表表型方差、主基因方差、多基因方差; $h_{mg_2}(\%)$ 、 $h_{pg_2}(\%)$ 、 $h^2(\%)$ 分别代表主基因遗传率、多基因遗传率、总遗传率(主基因遗传率+多基因遗传率)。

从二阶遗传参数(表 3)看,BC₁、BC₂、F₂ 主基因的遗传率分别为 60.24%、53.58%、50.95%,BC₁、BC₂、F₂ 多基因的遗传率分别为 19.34%、30.33%、36.42%,BC 群体与 F₂ 群体茎秆穿刺强度遗传均以主基因为主,不同的是前者主基因遗传效应大于后者。BC₁ 主基因遗传率小于 BC₂、F₂ 主基因的遗传率,多基因遗传率则相反,表明凡是以环江糯作为亲本的回交世代,其主基因遗传率就高于以 LN12 作为轮回亲本的回交世代,推测环江糯中减效主基因效应较大。主基因+多基因决定了糯玉米茎秆穿刺强度表型变异的 83.62%,说明玉米茎秆穿刺强度主要受遗传控制,环境因素对其影响较小。

3 讨论

玉米茎秆穿刺强度是一个复杂的数量性状^[37],采用主基因+多基因 6 世代联合分离分析方法对茎秆穿刺强度进行了遗传模型分析,但结果不尽相同。李得孝等^[23]、姚启伦^[33] 研究结果表明茎秆穿刺强度一般配合力方差和特殊配合力方差具有同等的重要性,基因的非加性效应略大于加性效应。有研究结果^[38] 表明茎秆穿刺强度在不同环境下不同群体间的广义遗传率范围为 81.00%~92.00%,而且加性和显性效应可解释 37.30%~65.20% 的表型变异。Hu 等^[39] 研究结果表明茎秆穿刺强度具有较高的广义遗传率,且加性效应与非加性效应可分别解释 41.00%和 59.00% 的遗传方差。Heredia 等^[40] 研究发现 12 个 RFLP 位点与茎秆穿刺强度相关,而有 3 个位点可以解释 99.00% 的表型变异。Flintgaria 等^[37] 利用 4 个玉米 F_{2,3} 群体分别获得 8 个、10 个、8 个和 9 个与茎秆穿刺强度相关的单效应 QTL,以及 4 个、2 个、0 个和 5 个上位性互作 QTL,且单效应 QTL 分别能够解释 33.40%、44.70%、48.40% 和 58.70% 的表型变异。Hu 等^[38] 利用重组自交系群体定位到 9 个与茎秆穿刺强度相关的 QTL 以及 1 个上位性互作 QTL,单效应 QTL 的遗传率范围为 1.15%~12.43%。QTL 定位结果也说明玉米茎秆穿刺强度的遗传受主基因与多基因共同控制。丰光等^[41] 研究结果表明茎秆穿刺强度符合 1 对加性-显性主基因+加性-显性-上位性多基因遗传模型(即 D 模型),主基因遗传率为 34.50%~45.70%,多基因遗传率为 41.60%~56.30%。刘小刚等^[42] 以重组自交系为试验材料,研究结果表明茎秆穿刺强度遗传

符合 3 对加性-上位性主基因+加性多基因遗传模型,主基因和多基因在控制茎秆穿刺强度遗传特性上也均具有重要的作用。而本研究结果表明,茎秆穿刺强度符合 2 对加性-显性-上位性主基因+加性-显性多基因混合遗传模型(即 E-1),这与丰光的 1 对加性-显性主基因+加性-显性-上位性多基因遗传模型和刘小刚的 3 对加性-上位性主基因+加性多基因遗传模型不同,而且控制茎秆穿刺强度的主基因对数、加性效应、显性效应、互作效应、主基因遗传率和多基因遗传率均存在一定的差异,这可能与研究材料、研究方法以及环境的不同有关。本研究中 2 对主基因的加性效应、显性效应值均为负向,互作效应以及多基因的加性效应和显性效应均为正向,充分说明了基因间互作效应在茎秆穿刺强度遗传中发挥着重要作用,因此在遗传育种实践中,为充分发挥基因间互作效应应不断通过基因聚合的方法将控制茎秆穿刺强度的不同基因聚合在一起以达到选育茎秆穿刺强度强的自交系材料或品种。本研究中控制玉米茎秆穿刺强度的主基因遗传率为 50.95%~60.24%、多基因的遗传率为 19.34%~36.42%,说明茎秆穿刺强度的遗传以主基因为主,但是多基因的作用不容忽视。因此,在选育茎秆耐穿刺的玉米自交系时,应创建轮回选择群体开展群体改良,积累有利基因提高茎秆耐穿刺强度。为避免主基因丢失过早和丢失有利的微效多基因,茎秆耐穿刺材料选育时在早代不宜进行过重的选择。同时本研究中也得出了一些与前人相同的结论,即非加性效应略大于加性效应,主基因+多基因决定了茎秆穿刺强度 80.00%以上的表型变异,说明茎秆穿刺强度具有较强的遗传基础且受环境影响小,加性效应和非加性效应在控制茎秆穿刺强度时具有同等的重要性。

参考文献:

- [1] 于振文.作物栽培学各论[M].北京:中国农业出版社,2003:92-93.
- [2] 丰光,黄长玲,邢锦丰.玉米抗倒伏的研究进展[J].作物杂志,2008(4):12-14.
- [3] BECK D L, DARRAH L L, ZUBER M S. Effect of sink level on root and stalk quality in maize[J]. Crop Science, 1988, 28(1): 11-18.
- [4] 勾玲,赵明,黄建军,等.玉米茎秆弯曲性能与抗倒能力的研究[J].作物学报,2008,34(4):653-661.
- [5] 李义钧.关于套种玉米倒伏的研究[J].北京农业科学,1984(4):11-16.
- [6] 刘站东,肖俊夫,南继琴,等.倒伏对夏玉米叶面积、产量及其构成因素的影响[J].中国农学通报,2010,26(18):107-110.
- [7] 段鹏,郑苗,王中,等.倒折倒伏与夏玉米主要农艺性状及产量的相关性研究[J].甘肃农业科学,2008(12):13-15.
- [8] 卜俊周,岳海旺,谢俊良,等.倒伏对玉米籽粒灌浆进度及产量的影响[J].河北农业科学,2010,14(6):1-2,6.
- [9] NORBER G O S, MASON S C, LOWR Y S R. Ethephon influence on harvestable yield, grain quality, and lodging of corn[J]. Agronomy Journal, 1988, 80(5):768-772.
- [10] 杜震宇,童淑媛.超密植条件下施用氮肥增效剂对玉米茎秆特性和产量的影响[J].江苏农业科学,2014,42(5):108-110.
- [11] 王文颇,李彦生,周印富.玉米倒伏及其影响因素[J].河北农业技术师范学院学报,1998,12(3):59-63.
- [12] 王娜,李凤海,王志斌,等.不同耐密型玉米品种茎秆性状对密度的响应及与倒伏的关系[J].作物杂志,2011(3):67-70.
- [13] 付志远,邵可可,陈德芝,等.穗上节间数与玉米抗倒伏能力的相关性分析[J].河南农业大学学报,2011,45(2):149-154.
- [14] 王群璞,胡昌浩.玉米茎秆抗倒特性的解剖研究[J].作物学报,1991,17(1):70-75.
- [15] 王立新,郭强,苏青.玉米抗倒性与茎秆显微结构的关系[J].植物学报,1990,20(3):34-36.
- [16] ZUBER M S, LOESCH P J. Total ash and potassium content of stalks as related to stalk strength in corn[J]. American Society of Agronomy, 1966(58):426-428.
- [17] 马延华,孙德全,李绥艳,等.玉米茎皮抗穿刺强度与形态性状和化学成分含量间的相关分析[J].黑龙江农业科学,2012(4):1-4.
- [18] 李景安,冯芬芬.3yc-1型玉米根茬拔出测力仪、3yJ-1型玉米茎秆硬度计研究报告[J].玉米科学,1994(4):76-78.
- [19] 胡建东,鲍雅萍,罗福和,等.作物茎秆抗倒伏强度测定技术研究[J].河南农业大学学报,2000,34(1):77-80.
- [20] 丰光,黄长玲,邢锦丰.玉米抗倒伏的研究进展[J].作物杂志,2008(4):12-14.
- [21] MARTIN M J, RUSSELL W A. Correlated responses of yield and other agronomic traits to recurrent selection for stalk quality in a maize synthetic[J]. Crop Science, 1984, 24(4):746-750.
- [22] DUDLEY J W. Selection for rind puncture resistance in two maize population[J]. Crop Science, 1994, 34(6):1458-1460.
- [23] 李得孝,员海燕,武玉华,等.玉米抗倒伏性状的遗传分析[J].西北农业学报,2004,13(2):43-46.
- [24] 张芳魁,霍仕平,张健,等.玉米茎秆性状与抗折断力的相关和通径分析[J].玉米科学,2006,14(6):46-49.
- [25] MARTIN S A, DARRAH L L, HIBBARD B E. Divergent selection for rind penetrometer resistance and its effects on European corn borer damage and stalk traits in corn[J]. Crop Science, 2004, 44(3):711-717.
- [26] 丰光,景希强,李妍妍,等.玉米茎秆性状与倒伏性的相关和通径分析[J].华北农学报,2010,25(S1):72-74.
- [27] JAMPATONG S, DARRAH L L, KRAUSE G F, et al. Effect of one- and two-eared selection on stalk strength and other characters

- in maize.[J]. Crop Science, 2000, 40(3):605-611.
- [28] ZUBER M S, GROGAN C O. A new technique for measuring stalk strength in corn[J]. Crop Science, 1961, 1(5):378-380.
- [29] ANDERSON B, WHITE D G. Evaluation of methods for identification of corn genotypes with stalk rot and lodging resistance[J]. Plant Disease, 1994, 78(6):590-593.
- [30] FINCHER R R, DARRAH L L, ZUBER M S. Root development in maize as measured by vertical pulling resistance[J]. Maydica, 1985, 30(4):383-394.
- [31] DUDLEY J W. Selection for rind puncture resistance in two maize populations[J]. Crop Science, 1994(6):1458-1460.
- [32] 高梦祥, 郭康权, 杨中平, 等. 玉米秸秆的力学特性测试研究[J]. 农业机械学报, 2003, 34(4):47-49.
- [33] 姚启伦. 玉米抗茎倒折性状遗传的研究[J]. 西南农业大学学报, 2003, 25(2):123-126, 137.
- [34] 盖钧镒, 章元明, 王建康. 植物数量性状遗传体系[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [35] 盖钧镒. 植物数量性状遗传体系的分离分析方法研究[J]. 遗传, 2005, 27(1):130-136.
- [36] 曹锡文, 刘 兵, 章元明. 植物数量性状分离分析 Windows 软件包 SEA 的研制[J]. 南京农业大学学报, 2013, 36(6):1-6.
- [37] LOESCH P J, ZUBER M S, GROGAN C O. Inheritance of crushing strength and rind thickness in several inbred lines of corn[J]. Crop Science, 1963, 3(2):173-175.
- [38] FLINTGARCIA S A, JAMPATONG C, DARRAH L L, et al. Quantitative trait locus analysis of stalk strength in four maize populations[J]. Crop Science, 2003, 43(1):13-22.
- [39] HU H X, MENG Y J, WANG H W, et al. Identifying quantitative trait loci and determining closely related stalk traits for rind penetrometer resistance in a high-oil maize population[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2012, 124:1439-1447.
- [40] HEREDIA D O, ALSIRT A, DARRAH L L, et al. Allelic frequency changes in the Mo SCSS maize synthetic in response to bi-directional recurrent selection for rind penetrometer resistance[J]. Maydica, 1996, 41:65-76.
- [41] 丰 光, 刘志芳, 李妍妍, 等. 玉米茎秆耐穿刺强度的倒伏遗传研究[J]. 作物学报, 2010, 35(11):2133-2138.
- [42] 刘小刚, 马飞前, 王红武, 等. 玉米茎秆穿刺强度遗传研究[J]. 作物杂志, 2014(4):27-31.

(责任编辑:陈海霞)