

文章编号: 1005-0906(2012)02-0069-06

玉米茎秆与根系抗倒的特性研究

汪黎明^{1,2}, 李建生¹, 姚国旗², 穆春华²,
孟昭东², 刘德友², 戴景瑞¹

(1. 中国农业大学 / 农业部玉米生物学与遗传育种重点实验室, 北京 100094;

2. 山东省农业科学院玉米研究所 / 山东省作物遗传改良与栽培生理重点实验室, 济南 250100)

摘要: 以 45 份杂交种、69 份自交系为材料, 研究玉米茎基部抗推力(PRBS)、穗下节间抗折力(BRFI)和拔根力(VRPR)3 个抗倒性状的差异。结果表明, 自交系 3 个性状之间呈显著正相关, 杂交种 PRBS 与 BRFI 呈显著正相关; 在自交系和杂交种中, 茎秆直径与 PRBS、BRFI 都呈极显著正相关, 茎秆抗折强度与 BRFI 呈显著正相关, 杂交种茎秆弹性模量也与 PRBS 呈显著正相关; 自交系 PRBS、BRFI、VRPR 在抽雄和灌浆两个时期都表现显著正相关; 在不同的自交系中, 兰卡斯特群自交系 3 个抗倒性状表现较差, 变异度也较小, 其他类型种质中, 材料间存在较高多样性, 现有的主要种质都存在目标性状比较优良的种质; 杂交种 PRBS、BRFI 与亲本相应性状均值呈显著正相关。

关键词: 玉米; 茎秆; 根系; 抗倒性

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Characterizations of Resistance to Stalk and Root Lodging in Maize

WANG Li-ming^{1,2}, LI Jian-sheng¹, YAO Guo-qi², et al.

(1. China Agricultural University / Key Laboratory of Maize Biology and Genetic Breeding of MOA, Beijing 100091;

2. Maize Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences/Shandong Key Laboratory of Crop Genetic Improvement and Cultivation Physiology, Jinan 250100, China)

Abstract: Three traits related to lodging, pushing resistance of the base stalk (PRBS), breaking resistance of the first inter-node below ear(BRFI), and vertical root pulling resistance(VRPR) were evaluated in this research. The results showed that the three traits of inbred lines were significantly correlated to each other, and the PRBS of hybrids was significantly correlated to their BRFI. For both inbred lines and hybrids, stalk diameter was a main factor affecting to PRBS and BRFI, and stalk normal breaking stress was significantly correlated with BRFI. For hybrids, stalk elastic modulus was significantly correlated with PRBS. The PRBS, BRFI, and VRPR of inbred lines at tassel emerging stage were significantly correlated with that at grain filling stage. Inbred lines from Lancaster group were poorest in these traits among all investigated germplasm, while all other groups were more diverse including inbred lines good in some of the traits. The PRBS and BRFI of hybrids were significantly correlated with the corresponding trait means of their parents.

Key words: Maize; Stem; Root; Lodging resistance

玉米抗倒伏是玉米育种的重要目标之一, 倒伏的发生严重影响玉米产量。因倒伏引起的玉米减产多达 5% ~ 25%^[1,2]。近年来由于栽培密度提高、极端气候条件的增多, 倒伏问题尤为突出。同时, 随着玉

米机械化收获的日益普及, 倒伏还影响玉米的收获。

玉米倒伏的发生由植株受力状态和植株支持受力能力两个因素决定^[3]。玉米植株的支持系统包括茎秆和根系。在株高为代表的植株受力系统达到一定的程度后, 提高玉米的茎秆强度和根系的固着能力对玉米的抗倒性改良尤为重要。仅仅依靠田间观察很难准确评价玉米茎秆强度, 通过测试茎秆最大抗压能力来评价茎秆强度最直接, 但是存在破坏性^[4]。有研究认为, 茎秆外皮是玉米茎秆强度的主要贡献因素, 因而可用茎秆外皮穿刺强度(Rind penetration

收稿日期: 2012-01-10

基金项目: “863”强优势玉米杂交种的创制与应用(2011AA10A103)、
山东省良种工程玉米育种项目

作者简介: 汪黎明(1964-), 男, 研究员, 从事玉米遗传育种研究。

Tel: 0531-83178583 E-mail: lmwang@saas.ac.cn

strength)来评价玉米茎秆的强度^[5]。勾玲等对茎秆第3、5、7节间进行悬臂梁弯曲试验,研究认为茎秆弹性模量、茎秆最大抗弯应力与抗倒性正相关,直径不能作为抗倒性的主要指标;抽雄期到吐丝期利用茎秆外皮穿刺强度可有效鉴定玉米的抗倒性^[6,7]。穆春华等研究了不同自交系穗下节抗折差异,表明节粗对节抗折强度起主要作用^[8]。在水稻、麦类作物中,有研究者采用在一定的高度上推压茎秆至倾斜一定角度时所需要的力(推力抗性,Pushing resistance)来评价植株的茎秆抗倒能力^[9]。丰光等通过20多个玉米品种试验,认为茎秆拉力、茎秆穿刺力、茎粗与抗倒性显著正相关^[10]。在上述研究中,试验用品种数偏少,对于众多性状在育种上如何应用仍是一个需要探讨的问题。在根系方面,研究表明玉米根的数量、总根体积、根与竖直方向夹角、根的直径都与倒伏密切相关。竖直拔根力(Vertical Root Pulling Resistance, VRPR)直接反映根系的支持能力。研究表明,VRPR与根倒呈显著负相关^[11]。国内对品种间竖直拔根力差异的研究较少。

本研究是利用新开发的玉米秸秆弹性测试仪、秸秆强度测试仪和玉米拔根测力仪进行玉米杂交种、自交系茎秆和根系抗倒性状的田间试验,分析不同性状之间的关系、抗倒相关性状在不同生育时期的差异以及不同育种材料间的差异,为玉米自交系和杂交种抗倒性改良提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

供试玉米杂交种共45份(表1)、自交系共69份(表2)。杂交种种植于山东省六一农场(齐河县),随机区组试验设计,4行区,行长5 m,行距66 cm,2次重复。2010年5月10日播种,种植密度57 000株/hm²。自交系种植于海南三亚市南滨农场,随机区组设计,2行区,行长4 m,行距66 cm,2次重复。2010年11月2日播种,种植密度为69 000株/hm²。田间管理措施同大田种植。杂交种在散粉后20 d的灌浆期测试相关指标;自交系在抽雄期(小区内50%植株抽雄)和灌浆期(散粉后15 d)两个时期分别调查相关指标。对各性状每小区均测量5株,用小区平均值进行统计分析。

1.2 抗倒性状的测量

茎基部抗推力(Pushing Resistance of Base Stalk, PRBS)测定采用玉米秸秆弹性测试仪。在玉米秸秆离地面高度为 α ($\alpha=40$ cm)的部位施加一个水平推

力,使得玉米秸秆在水平方向上移动的距离为 $\omega=2$ cm(杂交种)、4 cm(自交系),由记录仪器读出最大推力(F)。每株测量5次,除去极大值和极小值后取平均值,记为测量株的抗推力。同时用游标卡尺测量距地面20 cm附近节间的直径 d (不含叶鞘)。弹性模量 E (弹性系数)由公式(1)计算:

$$E = \frac{64F\alpha^3}{3\pi\omega d^4} \quad (1)$$

其中 $\alpha=40$ cm; F 为推力; d 为茎秆的直径; ω 为水平位移。

穗下节间抗折力(Breaking Resistance of the First Inter-node Below Ear, BRFI)测定采用玉米秸秆强度测试仪。测量时截取雌穗下第1节间(保留两边的节),要求节间中央位于测量仪两支点的中间。测量时两支点距离 $l=15$ cm,在支点中心处缓缓施力,直至秸秆折断,由仪表读出最大力值(F)即为抗折力。同时由卡尺量取节间的直径。秸秆的抗折强度由公式(2)计算:

$$\sigma = \frac{64(l-\alpha)\alpha F}{\pi l d^3} \quad (2)$$

其中 $l=15$ cm; $\alpha=7.5$ cm; d 为测量出的直径。

拔根力(Vertical Root Pulling Resistance, VRPR)测定采用玉米拔根测力仪。在植株测完上述性状后,由拔根测力仪直接测量从土壤中拔出植株根系时的最大力值。

玉米秸秆弹性测试仪、秸秆强度测试仪和拔根测力仪均由中国农业大学工学院和国家玉米改良中心联合开发。统计分析采用软件SPSS 13.0。

2 结果与分析

2.1 玉米杂交种抗倒相关性状

如图1所示,杂交种茎秆基部抗推力、穗下节间抗折力均呈近正态分布,表明这两个性状均为典型的数量遗传模式。方差分析显示,在两个性状上不同材料的差异性均达到极显著水平。两个性状小区水平广义遗传力分别达到87.1%和93.2%。表1是45份杂交种两个性状的数据比较,以BRFI数据进行排序。

玉米茎基部抗推力、穗下节间抗折力反映了茎秆不同部位的力学性状。假定玉米植株茎秆不同部位的发育存在一致性,则这两个性状也应相关。相关性分析结果表明,两个性状确实呈极显著相关($R=0.507^{**}$)。

茎基部抗推力的大小受到了茎秆弹性模量与茎秆直径的影响。根据公式(1)估算出不同材料的弹性

模量。将茎基部抗推力分别与茎秆弹性模量、茎秆直径进行相关性分析。结果表明,茎基部抗推力与茎秆直径相关性极显著,相关系数达到了 0.523;茎基部抗推力与茎秆弹性模量呈正相关,但相关性不显著,表明提高茎秆的直径可以提高玉米茎秆基部抗推力。

穗下节间抗折力受到茎秆抗折强度和茎秆直径

的影响。根据公式(2)估算出不同材料的茎秆抗折强度。对穗下节间抗折力与两个影响因素进行相关性分析,其与茎秆抗折强度和茎秆直径均呈极显著相关,相关系数分别为 0.662 和 0.491;茎秆抗折强度对茎秆的抗折力作用更高。表明在提高植株抗折力上,植株抗折强度与茎秆的直径都起到重要的作用。

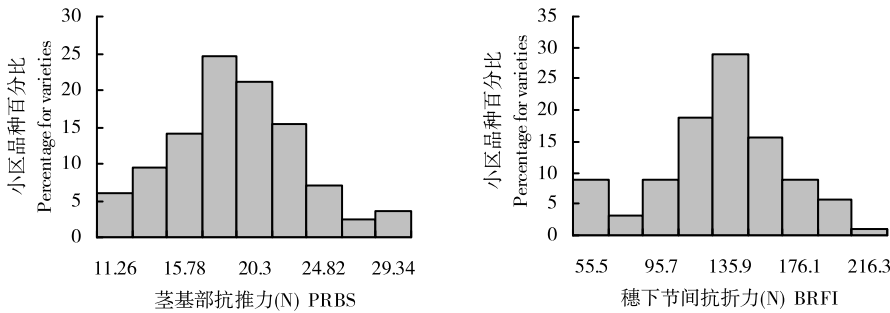


图 1 玉米杂交种茎基部抗推力与穗下节间抗折力的分布
Fig.1 Distribution of PRBS and BRFI of maize hybrids

表 1 不同杂交种灌浆期穗下节间抗折力和茎基部抗推力比较
Table 1 Means of PRBS and BRFI of hybrids at grain filling stage

N

杂交种 Hybrids	抗折力 BRFI	抗推力 PRBS	杂交种 Hybrids	抗折力 BRFI	抗推力 PRBS
豫单 936	219.96	21.45	鲁单 6003	143.64	16.76
鲁单 9032	212.12	29.48	农大 108	142.77	22.51
鲁单 8013	194.28	22.35	诺达 1 号	142.58	24.78
京单 36	192.16	23.64	鲁单 6006	141.06	23.36
MC1006	181.54	20.89	天民 12	130.03	20.65
鲁单 981	175.90	19.56	北青 210	129.71	20.40
登海 661	175.43	26.00	青农 105	128.95	17.28
鲁单 8009	174.08	22.20	大丰 26	127.73	26.20
鲁单 9002	171.85	21.00	郑单 958	126.50	17.65
豫单 937	171.60	18.41	ND622	122.44	16.79
登海 605	166.89	20.79	辽单 527	119.93	19.16
辽单 565	162.98	22.83	鲁单 9006	117.69	16.55
ND8918	162.36	22.14	鲁单 6028	113.32	14.41
MC112	157.81	22.01	浚单 20	111.88	18.10
辽 1224	155.70	27.49	金海 601	110.73	14.18
鲁单 6071	153.98	18.80	ND625	98.67	14.13
MC210	153.00	21.56	登海 662	98.39	11.94
登海 736	151.84	20.78	太单 9 号	84.70	18.60
郑单 2260	151.20	21.28	冀 257	67.47	13.05
鲁单 6041	149.42	20.24	ZB138	66.02	18.93
苏试 50608	148.09	28.49	中试 516	62.46	20.92
登海 701	144.51	14.40	郑单 1003	60.54	20.34
鲁单 818	144.11	16.19			

2.2 玉米自交系抗倒相关性状

对抽雄和灌浆两个时期测试自交系的 3 个性状

值分别进行方差分析,结果表明,不同材料在 3 个性状上均存在极显著差异。表 2 列出了灌浆期不同自

交系 3 个性状的比较(以 BRFI 数据排序)。抽雄期茎基部抗推力、穗下节间抗折力、拔根力 3 个性状小区

广义遗传力分别为 74.4%、65.7%、68.9%; 灌浆期分别达到 88.3%、77.8%、69.4%。

表 2 灌浆期不同自交系穗下节间抗折力、茎基部抗推力、拔根力比较

Table 2 Means of PRBS, BRFI and VRPR of inbred lines at grain filling stage

自交系 Inbred lines	抗折力 BRFI	抗推力 PRBS	拔根力 VRPR	自交系 Inbred lines	抗折力 BRFI	抗推力 PRBS	拔根力 VRPR
中 106	190.07	31.96	113.58	丹 340	120.48	11.17	105.32
于 40	189.89	18.58	106.43	武 314-8	119.65	11.41	102.32
京 24	177.10	9.62	134.31	LX9311	118.54	13.73	84.42
辽 3113	169.63	26.27	125.93	K11327	117.52	7.15	66.60
HR225	166.06	16.01	105.79	LX00-6A	116.27	13.78	92.97
178	165.95	20.92	102.06	H21	115.12	7.11	74.67
LX001-1	162.41	25.22	120.50	京 404	112.45	8.68	72.35
K12	161.42	12.72	82.93	Q4401	111.79	6.16	69.18
黄 C	160.77	16.20	108.84	辽 7980	110.44	12.75	101.06
835	156.52	14.16	98.06	自 330	110.30	6.66	80.96
DH351	154.82	13.01	89.13	浚 92-8	108.53	6.71	60.38
H53	154.70	8.03	66.59	9223	106.97	13.79	91.81
Q3925	153.11	15.48	111.49	9058	106.46	9.70	72.68
浚 92-6	150.05	12.43	77.71	辽 4366	103.39	10.33	89.85
Qxh0121	145.93	12.76	98.68	Z1101	102.44	8.26	77.87
齐 319	145.64	11.58	85.97	A2252	100.60	10.36	93.39
X1902	144.41	8.13	90.50	DH372	100.40	17.91	115.30
LN518	143.55	9.85	79.82	JH2631	98.88	11.63	89.62
LX03-2	143.41	16.03	140.40	LX9801	98.35	7.05	89.10
LX2394	141.03	16.39	120.76	6110	94.91	7.53	80.72
K1565	139.36	17.86	121.14	A6101	94.58	10.68	67.12
953	138.48	8.64	77.36	QX508	91.76	6.79	70.15
Q4608	137.89	9.17	84.14	LX2111	88.71	12.48	101.83
NC300	137.73	12.75	124.04	万 73-1	86.48	8.47	77.78
沈 137	137.17	16.81	104.20	C8605-2	86.36	13.56	84.31
LX3999	137.04	13.78	116.92	昌 7-2	84.58	10.47	64.28
辽 3162	134.30	15.93	84.98	丹 9046	80.54	15.84	123.27
Q3707	129.41	12.68	92.04	LX1124	76.91	7.52	72.27
Df02	128.26	12.54	101.44	LX006-B	75.57	11.32	108.24
郑 58	128.17	8.96	75.83	FX01	75.27	5.30	67.09
遗 119	124.78	9.39	74.41	LN287	64.49	4.93	54.90
S122	124.44	16.78	101.18	丹 3124	62.64	3.02	71.83
丹 598	122.98	12.55	102.35	LX3189	58.38	10.73	78.69
8205	122.21	6.53	91.58	457-1	48.00	2.84	79.27
QX901	122.09	18.80	98.79				

表 3 自交系茎基部抗推力、穗下节间抗折力、拔根力的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between PRBS, BRFI and VRPR of inbred lines

项 目 Item	抽雄期 Emerging stage	灌浆期 Filling stage
PRBS-BRFI	0.520**	0.579**
PRBS-VRPR	0.622**	0.642**
BRFI-VRPR	0.281**	0.451**

对 3 个性状之间相关性进行分析,结果表明,在两个不同生育时期,3 个性状之间均极显著相关。茎基部抗推力与拔根力间相关系数较高,在抽雄期和灌浆期分别达到 0.622 和 0.642(表 3)。

2.3 自交系不同发育时期抗倒相关性状

在玉米的发育过程中,玉米茎秆强度和根系固着能力都在进一步加强,在玉米抽雄期和灌浆期对 3 个性状的测试也证明了这一趋势(表 4)。从全部材料平均值来看,随着生育进程的发展,茎基部抗推

力、穗下节间抗折力、拔根力 3 个性状值都有所提高,提高的比例分别为 55%,24%,50%。单个材料的不同发育期比较,绝大多数自交系灌浆期 3 个性状

值较抽雄期高,但是不同材料提高的幅度不同。表 4 列出了不同杂种优势群代表自交系在两个生育时期的测定数值。

表 4 自交系抽雄期与灌浆期茎基部抗推力、穗下节间抗折力、拔根力的比较

Table 4 Comparison between PRBS, BRFI and VRPR of inbred lines at tassel emerging stage and that at grain filling stage

N

不同类群代表自交系 Inbred lines of different groups	抽雄期 Emerging stage			灌浆期 Filling stage		
	抗推力	抗折力	拔根力	抗推力	抗折力	拔根力
	PRBS	BRFI	VRPR	PRBS	BRFI	VRPR
丹 3124	2.49	55.38	48.21	3.02	62.64	71.83
齐 319	6.52	106.80	64.03	11.58	145.64	85.97
郑 58	6.04	121.71	56.00	8.96	128.17	75.83
H21	4.27	98.58	38.56	7.11	115.12	74.67
丹 598	10.54	102.23	79.52	12.55	122.98	102.35
LX2394	7.46	85.59	55.35	16.39	141.03	120.76
全部自交系均值	7.83	98.40	61.36	12.09	121.57	91.91

为明确对 3 个性状在不同生育时期进行选择是否存在一致性,进一步分析 3 个性状值不同生育时期的相关性。结果表明,茎基部抗推力、穗下节间抗折力、拔根力两个不同生育期的测试值相关系数分别为 0.626、0.481、0.443,均达到极显著水平,表明不同生育时期的选择具有一致性。

在抽雄期及灌浆期两个不同的生育时期,分别考查自交系茎基部抗推力与茎基部直径、茎秆弹性

模量以及穗下节间抗折力与穗下节间直径、穗下节间抗折强度的相关性(表 5)。所有相关系数均为正值,除灌浆期茎秆基部抗推力与茎秆弹性模量相关系数外,其他均达到极显著水平。两个生育时期的结果都表明,茎秆直径对茎基部抗推力和茎秆抗折力起到重要的作用,穗下节间抗折强度对茎秆抗折力也起到重要的作用,弹性模量对茎秆抗推力的影响相对较小。

表 5 自交系茎基部抗推力、穗下节间抗折力与茎秆直径及茎秆力学性质的相关系数

Table 5 Correlation coefficients between PRBS and BRFI of inbred lines with their stalk diameter and mechanical characters

项 目 Item	抽雄期 Emerging stage	灌浆期 Filling stage
PRBS-SBD	0.583**	0.742**
PRBS-SEM	0.264**	0.161
BRFI-FID	0.613**	0.650*
BRFI-SNBS	0.286**	0.305**

注:** 为极显著,* 为显著。SBD 为茎秆基部直径;SEM 为茎秆弹性模量;FID 为穗下节间直径;SNBS 为穗下节间抗折强度。

Note: ** represented the extreme significant. SBD: stalk base diameter; SEM: stalk elastic modulus; FID: first inter-node diameter; SNBS: stalk normal breaking stress.

2.4 不同类群自交系抗倒相关性状的差异

根据自交系灌浆期的 3 个抗倒性状平均值,按不同杂种优势群对自交系进行分类分析,结果表明,不同类群间在性状上存在差异。在 3 个测定的抗倒性状上,兰卡斯特群数值小于其他种质类型(图 2),旅大红骨群和 P 群的 3 个抗倒性状值均较高。这些结果表明,旅大红骨群、P 群在抗倒性状上有较多的

优势资源。

进一步分析每一类材料中 3 个性状的变异,考查自交系改良中的种质资源情况。表 6 列出了各类材料 3 个性状的极值,在 3 个性状上除兰卡斯特类群种质外,其他几类材料中均存在目标性状优异的种质。表明在现有的育种材料中,依赖优良育种材料的重组,可以选择出抗倒性状得到改良的新种质。

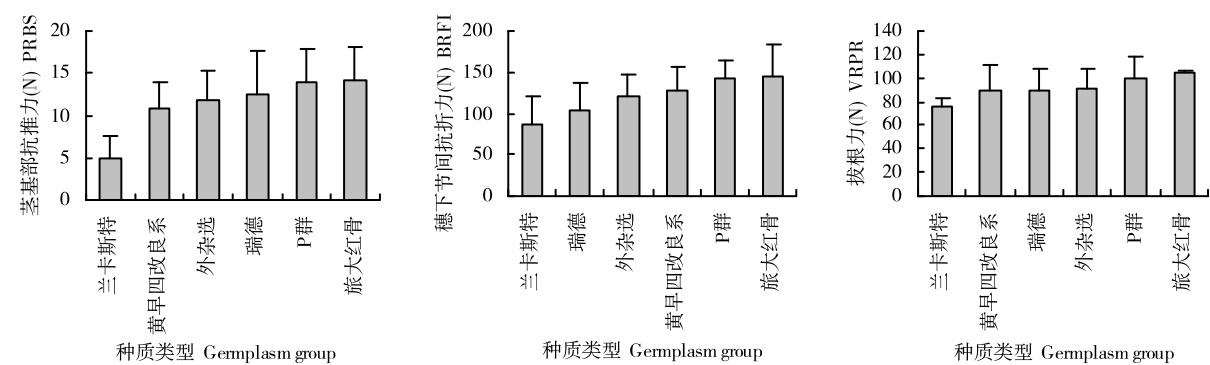


图2 不同杂种优势群自交系灌浆期茎基部抗推力、穗下节间抗折力、拔根力平均值比较

Fig.2 Means of PRBS,BRFI and VRPR of inbred line of different heterotic groups

表 6 灌浆期基部抗推力、穗下节间抗折力、拔根力变异范围

Table 6 Ranges of PRBS,BRFI and VRPR of heterotic groups at grain filling stage N

种质类群 Heterotic group	抗推力 PRBS	抗折力 BRFI	拔根力 VRPR
兰卡斯特群	3.02 ~ 6.66	62.640 ~ 110.30	71.83 ~ 80.96
黄早四群	6.71 ~ 16.20	84.580 ~ 177.10	60.38 ~ 140.40
瑞德群	2.84 ~ 25.22	48.000 ~ 162.41	54.90 ~ 123.27
外杂选系	6.16 ~ 16.39	75.570 ~ 153.11	69.18 ~ 120.76
P 群	8.13 ~ 20.92	94.575 ~ 166.06	67.12 ~ 124.04
旅大红骨群	11.17 ~ 18.58	120.480 ~ 189.89	102.35 ~ 106.43

2.5 自交系与杂交种抗倒性状的相关分析

就灌浆期茎基部抗推力、穗下节间抗折力两个性状分析表明,鲁单 981、郑单 958、农大 108、浚单 20 等 20 份杂交种与对应双亲抗倒性状上的平均值具有相关性。结果表明,杂交种 PRBS、BRFI 两个性状与双亲相应性状平均值相关系数分别为 0.509 和 0.492,均达到显著水平,表明自交系抗倒性的改良对杂交种抗倒性育种的作用十分重要。

3 讨 论

研究表明,玉米自交系 PRBS、BRFI、VRPR 存在显著相关性,杂交种 PRBS 与 BRFI 也呈显著正相关。由于玉米拔根测力仪测定杂交种比较困难,本研究没有对杂交种的 VRPR 进行测定。在育种中 3 个性状的选择具有一定的参照性,由于相关系数并不是很高,3 个性状评价不能完全替代。

弹性模量和抗折强度与 PRBS、BRFI 正相关。勾玲等研究也表明,茎秆弹性模量、茎秆抗折强度与抗倒性正相关。本研究中弹性模量和抗折强度与 PRBS、BRFI 相关系数偏低。弹性模量和抗折强度是根据茎秆的应力值与相应的直径推算过来的,两个性状值对直径的变化非常敏感,可能是导致这一结

果的一个原因。

对 PRBS、BRFI、VRPR 的分析显示,抽雄期与灌浆期相应性状均存在极显著相关性,这与勾玲等认为抽雄前期的抗倒性状与后期是一致的结论相近。本研究中相关系数值均不太高,有些品种两个阶段的一致性还较低,表明不同时期来评价玉米植株的抗倒性可以相互参考,但是不能完全相互替代。

杂交种与自交系抗倒性的相关是自交系抗倒性改良的前提。本研究表明,在 PRBS、BRFI 两个性状上,杂交种和自交系之间有显著的相关性。玉米的抗倒性是与密度高度相关的一个性状,考查不同材料的利用价值还需要研究不同密度下的表现,不同密度下的比较试验还有待进一步研究。

在自交系的评价中,兰卡斯特群的材料抗倒性状表现较差,变异度也较小,这也可能与试验中该群的样本数较少有关,但可以明确材料间存在显著差异,现有的主要种质都存在目标性状优异的种质。

参考文献:

[1] Norberg O S, Mason S C, Lowry S R. Ethephon influence on harver-stable yield, grain quality, and lodging of corn[J]. Agronomy Journal, 1988, 80: 768-772.

[2] 汪黎明,姚国旗,穆春华,等. 玉米抗倒性的遗传研究进展[J]. 玉米科学,2011,19(4):1-4.

(下转第 81 页)