

文章编号: 1005-0906(2012)05-0071-05

玉米自交系茎秆显微结构及其与茎节抗折强度的相关与通径分析

穆春华, 张发军, 李文才, 孙琦, 孟昭东

(山东省农业科学院玉米研究所, 济南 250100)

摘要: 通过测定黄淮海地区 22 个常用玉米自交系的玉米茎节抗折强度(节折强度, NSS), 并利用光学显微镜观察其茎节显微结构, 对维管束各项显微指标与节折强度进行相关及通径分析, 研究玉米节折强度与茎秆显微结构之间的关系。结果表明, 不同自交系间节折强度差异达显著或极显著水平; 对各自交系维管束显微指标进行统计分析表明, 单个维管束面积的变异系数最大, 为 25.06%, 其次是维管束数目, 为 19.97%; 茎节维管束数目增多不利于节折强度的提高($r=-0.54^{**}$, $r=-0.55^{**}$), 单个维管束面积增大有助于节折强度的提高($r=0.48^{*}$, $r=0.43^{*}$)。通径分析表明, 抽雄后 6 d 及 15 d 两个测定时期均为维管束个数对节折强度的直接效应最大, 单个维管束面积效应次之; 在花后 6 d, 维管束最小直径、平均直径等指标对于节折强度的贡献也主要通过维管束数目的间接效应起作用。

关键词: 玉米; 自交系; 茎节抗折强度; 显微结构; 相关关系

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Correlation and Path Analysis Between Node Snap Strength (NSS) and Stalk Microstructure of Maize Inbred Line

MU Chun-hua, ZHANG Fa-jun, LI Wen-cai, SUN Qi, MENG Zhao-dong

(Institute of Maize, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Ji'nan 250100, China)

Abstract: To identify the relation between node snap strength(NSS) and stalk microstructure, NSS of 22 maize inbred lines was measured and microstructure of vascular was observed through optical microscope. Based on the data, the correlation and path analysis between NSS and stalk microstructure was studied. The results showed that the NSS difference of inbred lines reached significant or extremely significant level. The variation coefficient of single vascular area, 25.06%, was maximal; which was followed by variation coefficient of vascular number, 19.97%. The increase of vascular number went against the enhancement of NSS($r=-0.54^{**}$, $r=-0.55^{**}$), but the increase of vascular area contributed to the enhancement of NSS($r=0.48^{*}$, $r=0.43^{*}$). Path analysis indicated the direct effect of vascular number to NSS was maximal followed by the muscular area at 6 days and 15 days after pollination. At 6 days after pollination, contributions of minimal diameter and average diameter of vascular affected NSS through the indirect affection of vascular number.

Key words: Maize; Inbred line; Node Snap Strength (NSS); Microstructure; Correlation

收稿日期: 2012-01-03

基金项目: 国家“863”课题(2006AA100103)、山东省农业科学院创新基金项目(2006YCX005)、山东省农业科学院博士基金项目(2006YBS020)

作者简介: 穆春华(1977-), 男, 副研究员, 博士, 主要从事玉米分子育种技术及其应用研究。

Tel: 0531-83178513 E-mail: chunhuamu@gmail.com

孟昭东为本文通讯作者。Tel: 0531-83179175

E-mail: Mengzd@saas.ac.cn

玉米茎节折断属于玉米倒折的一种类型, 因其一般发生于抽雄前后, 常使穗部或基部茎秆完全折断, 导致果穗因没有物质积累来源而大幅度减产^[1, 2], 目前已成为国家及部分省份玉米新品种区域试验考核的一项十分重要的指标。前人研究表明, 玉米节折受到多种因素的影响, 栽培措施、高氮肥、高温、较高的土壤湿度条件及生长调节剂的使用等多种因素均可导致玉米茎节折断或加大节折发生几率, 但植株本身是否具有抗折特性仍起主导作用^[3]。在显

微水平上阐明玉米抗节折的内在原因,选育高抗折性状的优良杂交种,对提高玉米品种改良效果具有重要意义。

在抗倒折能力与茎秆显微结构的相关关系方面,前人研究了小麦及水稻等茎秆的抗倒伏性能与节间细胞壁厚度、厚壁组织(机械组织)数量和强度、维管束数量、细胞壁纤维素和木质素含量等多个指标的关系^[4~9]。有关玉米自交系茎节与节间显微结构、抗节折强度及其与维管束显微指标的关系鲜见报道。本研究以黄淮海地区 22 个常用玉米自交系为材料,以最易发生节折的穗位上一节为对象,测定各自交系植株茎节抗折强度及茎节边缘维管束的最大直径($R_{\max}$)、最小直径($R_{\min}$)、平均直径(R_{mean})、数目(n)、单个维管束面积(s)、维管束总面积(S)等显微指标,探讨玉米自交系节折强度与茎节维管束显微结构之间的关系,在显微水平上分析玉米茎节的抗折机理,为抗茎折玉米新品种选育或品种改良提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验选用黄淮海地区育种常用 22 个玉米自交系,1x01-3、US5、BS17、1x01-5、1x00-1、Ye478、Tie446、BS15、BS16、1x40-2、1x03-5、1x00-6(o)、齐 318、1x02-1、

1x00-6 (n)、BS19、Q319、BS18、1x9801-44、1x9801-31、GW58、X178,编号为 1~22。2007 年 6~11 月种植于山东省德州市六一农场试验基地。试验采用随机区组设计,4 行区,3 次重复,行长 4.5 m,行距 60 cm,株距 27 cm,密度 60 000 株/hm²。

1.2 节折强度的测定

于抽雄后 6 d 和 15 d 连续选取非边株 5 株测定节折强度,测定方法参照文献[10]的方法进行。

1.3 显微结构特征分析

以进行节折强度测定的植株茎节为镜检材料作切片,切片厚度约为 20 μm 。切片置于光学显微镜(Olympus, CX31)下观察,并用数码相机(Olympus, E330)照相。

利用 Photoshop 7.0 软件选取显微照片中茎秆边缘固定面积,用 Image-Pro Plus 6.0 软件测定每个选取面积内维管束最大直径($R_{\max}$)、最小直径($R_{\min}$)、平均直径(R_{mean})、数目(n)、维管束总面积(S)等指标。单个维管束平均面积(s)由维管束总面积(S)/数目(n)。

1.4 统计分析

数据统计分析采用 Excel 软件和 DPS (V7.05) 软件。

2 结果与分析

2.1 玉米自交系节折强度分析

表 1 自交系节折强度比较

Table 1 Comparison of NSS among inbred lines

kg

自交系 Inbred line	节折强度 NSS		自交系 Inbred line	节折强度 NSS	
	花后 6 d	花后 15 d		花后 6 d	花后 15 d
	6 days after pollination	15 days after pollination		6 days after pollination	15 days after pollination
Tie 446	1.57 A	1.82 BC	1x00-6 (new)	1.09 ABC	1.15 GHI
1x03-5	1.48 AB	—	1x00-1	1.08 ABC	1.82 BC
BS16	1.43 AB	1.69 BCD	1x00-6 (O)	1.01 ABC	1.31 EFGHI
1x40-2	1.43 AB	1.47 DEF	1x02-1	0.97 ABC	1.03 IJ
Ye478	1.40 AB	2.33 A	BS19	0.93 ABC	1.26 FGHI
BS15	1.37 AB	1.36 EFGH	BS18	0.85 ABC	1.32 EFG
1x01-3	1.32 AB	2.22 A	Q319	0.83 ABC	1.41 DEFG
1x01-5	1.31 ABC	1.57 CDE	GW58	0.65 BC	0.80 JK
BS17	1.25 ABC	1.91 B	Lx9801-31	0.65 BC	1.07 HIJ
Q 318	1.15 ABC	1.53 DEF	1x9801-44	0.59 BC	0.80 JK
US5	1.14 ABC	—	X178	0.36 C	0.61 K

注:表中大写字母表示 1% 水平下差异显著。

Note: The capital letters in table indicated the significant difference at 1% level.

对参试的 22 个自交系花后 6 d 和 15 d 的茎节抗折强度进行多重比较(表 1)。结果表明,花后 6 d,

节折强度最大的自交系为 Tie446,达 1.58 kg,最小的为 X178,抗折强度仅为 0.36 kg;自交系 Tie446 与

GW58、1x9801-31、1x9801-44 及 X178 节折强度达到极显著差异水平。花后 15 d,抗折强度最大自交系为 Ye478,其次为 1x01-3,分别达到 2.33 kg 和 2.22 kg;抗折强度最小的自交系为 X178,仅为 0.61 kg。与花后 6 d 相比,花后 15 d 时各自交系的节折强度及自交系间节折强度的差异均明显加大,说明茎节抗折断性能在不同基因型自交系之间有明显差异,这种差异为选择具有较高抗节折能力的自交系奠定了基础。玉米自交系在花后 6 d 时更易发生茎节折断,随着玉米的生长发育,不同基因型玉米自交系对茎折的敏感性差异较大。

2.2 玉米自交系茎节维管束显微项目分析

运用 Photoshop 7.0、Image-Pro Plus 6.0 和 DPS 软件对测定的各玉米自交系花后 6 d 和 15 d 茎节维管束显微指标进行统计分析(表 2)。结果表明,各自交系间除花后 6 d 的维管束最小直径指标未达极显著差异水平外,两时期其他指标均达到了极显著或显著差异水平。两个测定时期,各显微指标中单个维管束平均面积的变异系数最大,分别为 25.06%和 23.98%,其次是维管束数目;花后 6 d 时单位面积内维管束总面积和平均直径的变异系数较小,花后 15 d 时维管束平均直径和最小直径的变异系数较小,说明玉米自交系的维管束平均面积、数目和形状是导致不同自交系间茎节维管束差异的主要原因。

表 2 花后 6 d 和 15 d 茎节维管束显微指标

Table 2 Comparison of microscopic index of node vascular bundle (6 days and 15 days after pollination)

自交系 Inbred line	花后 6 d 6 days after pollination						花后 15 d 15 days after pollination					
	Rmax (μm)	Rmin (μm)	Rmean (μm)	n	s (nm ²)	S (nm ²)	Rmax (μm)	Rmin (μm)	Rmean (μm)	n	s (nm ²)	S (nm ²)
Tie446	518.32±21.25 CDEF	266.03±3.85 A	372.16±0.40 CDEF	11.00±0.01 BCDE	0.117±0.006 EFGH	1.286±0.066 BCDEF	623.19±63.19 ABCDEF	298.00±19.41 ABCD	424.81±23.00 ABCDE	9.33±0.58 DEF	0.171±0.007 ABCD	1.591±0.074 AB
1x03-5	626.66±82.62 AB	288.19±30.98 A	418.70±49.79 ABC	8.25±2.22 FG	0.180±0.047 ABC	1.409±0.094 BCDE	566.90±86.86 ABCDEF	268.93±43.42 ABCD	382.96±62.54 ABCDE	10.17±1.72 DEF	0.145±0.039 BCDE	1.416±0.114 ABC
BS16	630.96±69.93 AB	346.15±64.74 A	458.39±54.84 A	8.00±1.22 G	0.183±0.024 AB	1.447±0.121 BC	584.04±80.05 ABCDEFG	321.52±4.21 AB	424.45±26.42 ABCDE	8.00±0.09 EF	0.171±0.028 ABCD	1.370±0.224 ABCDEFG
1x40-2	679.62±130.13 A	311.91±49.69 A	456.28±80.70 A	8.33±2.89 FG	0.188±0.072 A	1.437±0.222 BCD	586.54±79.09 ABCDEFG	271.84±43.00 BCDEF	392.39±56.69 BCDEFGH	8.33±0.58 DEF	0.172±0.014 ABCD	1.426±0.046 ABCDE
478	594.89±117.21 ABC	224.29±26.58 A	365.43±54.38 CDEF	10.00±2.00 CDEFG	0.127±0.033 EFG	1.223±0.166 DEFG	619.90±58.95 ABCDEF	252.33±12.98 CDEFG	401.89±11.23 ABCDEFG	9.00±1.41 DEF	0.155±0.013 BCDEF	619.90±0.103 ABCDEF
BS15	551.11±48.93 BCDE	271.46±24.79 A	382.48±33.77 CDE	10.60±1.14 BCDEF	0.133±0.014 DE	1.404±0.145 BCDE	542.45±47.97 ABCDEFG	297.95±34.44 ABCD	398.32±33.31 ABCDEFG	10.33±0.58 CDE	0.129±0.014 CDEFG	1.328±0.077 BCDEFG
1x01-3	488.90±17.25 DEF	305.73±25.72 A	377.51±18.48 CDE	9.80±1.30 CDEFG	0.127±0.019 EFG	1.229±0.152 CDEFG	682.89±74.35 AB	338.69±28.80 A	487.12±47.51 A	7.00±1.41 F	0.202±0.051 A	1.381±0.068 ABCDEF
1x01-5	454.05±51.36 EFG	268.56±18.39 A	339.59±25.12 EFGH	11.57±1.90 BC	0.106±0.025 EFGH	1.192±0.140 EFG	526.39±49.69 ABCDEFG	283.95±23.25 ABCDE	374.73±30.09 BCDEFGH	10.00±1.41 DEF	0.130±0.021 CDEFG	1.282±0.046 CDEFG
BS17	645.89±39.12 AB	320.90±10.75 A	447.77±79.61 AB	8.00±1.00 G	0.174±0.036 ABCD	1.370±0.110 BCDEF	464.15±24.04 FG	246.23±15.14 CDEFG	331.39±16.99 FGH	11.25±0.50 BCD	0.120±0.004 DEFG	1.351±0.039 ABCDEFG
Q318	446.21±53.99 FG	315.90±5.74 A	367.02±12.79 CDEF	9.50±0.71 CDEFG	0.118±0.008 EFGH	1.126±0.159 G	642.81±151.58 ABCDE	318.10±26.04 AB	457.22±68.52 AB	7.67±2.08 EF	0.199±0.064 AB	1.463±0.302 ABCD
US5	511.64±56.31 CDEF	244.05±27.47 A	357.68±41.30 DEFG	11.43±2.07 BCD	0.114±0.022 EFGH	1.268±0.107 CDEFG	432.77±38.48 G	277.64±34.57 ABCDEF	345.45±37.87 DEFGH	10.67±1.53 BCDE	0.108±0.012 EFG	1.136±0.066 EFGH
1x00-6 (N)	551.46±4.71 BCDE	328.69±23.65 A	422.56±25.60 ABC	10.00±1.41 CDEFG	0.141±0.024 CDE	1.390±0.039 BCDEF	662.98±74.91 ABCD	261.34±34.59 BCDEFG	417.64±2.60 ABCDE	10.00±0.00 CDEF	0.152±0.002 ABCDE	1.520±0.015 ABC
1x00-1	544.94±68.97 BCDEF	264.97±31.93 A	379.11±37.84 CDE	10.17±1.60 CDEFG	0.128±0.025 EFG	1.276±0.119 CDEFG	487.63±56.02 DEFG	267.27±9.02 BCDEF	349.27±30.12 DEFGH	9.00±0.35 DEF	0.098±0.012 FG	0.879±0.025 H
1x00-6 (O)	562.23±66.29 BCD	262.79±26.74 A	378.25±42.70 CDE	10.50±1.29 CDEF	0.126±0.027 EFG	1.303±0.187 BCDEF	566.91±88.63 ABCDEFG	260.38±8.53 BCDEFG	376.41±32.12 BCDEFGH	10.33±1.53 CDE	0.138±0.025 BCDEFG	1.405±0.066 ABCDEF
1x02-1	480.65±59.63 DEF	266.68±38.39 A	359.02±45.01 DEFG	10.86±2.27 BCDE	0.117±0.028 EFGH	1.215±0.101 DEFG	480.60±75.28 EFG	269.82±19.68 BCDEF	360.04±49.33 CDEFGH	9.67±1.15 DEF	0.116±0.028 DEFG	1.103±0.172 FGH
BS19	691.71±148.08 A	248.20±5.59 A	406.17±55.71 ABCD	13.00±2.83 AB	0.130±0.012 EF	1.710±0.526 A	689.63±118.34 A	302.38±31.70 ABC	445.78±61.63 ABC	9.00±2.00 DEF	0.191±0.040 ABC	1.664±0.028 A
BS18	565.56±105.16 BCD	306.34±45.00 A	422.15±69.79 ABC	8.00±2.83 G	0.209±0.117 A	1.506±0.344 AB	667.61±98.00 ABC	287.94±9.87 ABCDE	433.37±24.44 ABCD	7.67±0.58 EF	0.188±0.024 ABC	1.441±0.177 ABCDE

续表2 Continued 2

自交系 Inbred line	花后 6 d 6 days after pollination						花后 15 d 15 days after pollination					
	$R_{\max}$ (μm)	$R_{\min}$ (μm)	R_{mean} (μm)	n	s (nm^2)	S (nm^2)	$R_{\max}$ (μm)	$R_{\min}$ (μm)	R_{mean} (μm)	n	s (nm^2)	S (nm^2)
Q319 (R)	598.16 $\pm$ 49.13 ABC	261.37 $\pm$ 18.71 A	398.30 $\pm$ 25.43 BCD	8.75 $\pm$ 0.96 EFG	0.137 $\pm$ 0.011 DE	1.189 $\pm$ 0.048 EFG	488.42 $\pm$ 79.58 DEFG	238.64 $\pm$ 29.23 DEFG	337.87 $\pm$ 48.94 EFGH	10.67 $\pm$ 2.08 BCDE	0.114 $\pm$ 0.026 DEFG	1.178 $\pm$ 0.068 DEFGH
GW58	366.75 $\pm$ 21.22 G	220.78 $\pm$ 15.16 A	287.50 $\pm$ 14.36 H	15.00 $\pm$ 1.7 3A	0.080 $\pm$ 0.015 H	1.200 $\pm$ 0.280 EFG	416.64 $\pm$ 79.80 G	226.49 $\pm$ 24.95 EFG	302.29 $\pm$ 39.85 H	14.50 $\pm$ 2.12 A	0.081 $\pm$ 0.026 G	1.150 $\pm$ 0.206 EFGH
Is9801-31	481.32 $\pm$ 103.67 DEF	222.37 $\pm$ 14.09 A	315.50 $\pm$ 31.87 FGH	14.43 $\pm$ 1.72 A	0.091 $\pm$ 0.017 FGH	1.292 $\pm$ 0.134 BCDEF	509.87 $\pm$ 6.81 BCDEFG	200.73 $\pm$ 8.70 G	304.40 $\pm$ 7.13 H	13.00 $\pm$ 0.00 ABC	0.099 $\pm$ 0.002 FG	1.287 $\pm$ 0.032 BCDEFG
Is9801-44	469.65 $\pm$ 55.36 DEF	210.08 $\pm$ 14.62 A	306.93 $\pm$ 24.91 GH	15.00 $\pm$ 1.10 A	0.087 $\pm$ 0.013 GH	1.294 $\pm$ 0.129 BCDEF	524.62 $\pm$ 45.34 ABCDEFG	219.89 $\pm$ 38.86 FG	325.97 $\pm$ 24.76 GH	13.50 $\pm$ 2.12 AB	0.106 $\pm$ 0.004 EFG	1.431 $\pm$ 0.279 ABCDE
X178	521.13 $\pm$ 55.70 CDEF	265.78 $\pm$ 30.71 A	375.73 $\pm$ 30.47 CDE	10.50 $\pm$ 0.71 CDEF	0.112 $\pm$ 0.021 EFGH	1.173 $\pm$ 0.140 FG	549.85 $\pm$ 73.26 ABCDEFG	296.86 $\pm$ 17.97 ABCD	402.49 $\pm$ 37.75 ABCDEFG	10.00 $\pm$ 1.41 CDEF	0.135 $\pm$ 0.027 CDEFG	1.329 $\pm$ 0.082 BCDEFG
平均值	544.63	273.69	381.56	10.58	0.13	1.32	563.95	272.02	386.63	9.89	0.14	1.34
标准差	79.55	36.96	44.58	2.11	0.03	0.13	83.51	32.91	48.52	1.81	0.03	0.18
变异系数(%)	14.61	13.50	11.68	19.97	25.06	10.01	14.81	12.10	12.55	18.34	23.98	13.22

2.3 玉米自交系节折强度与维管束显微结构的关系

将花后 6 d 和 15 d 的茎节抗折强度与相应时期的茎节维管束显微指标进行相关分析(表 3)。结果表明,两个测定时期节折强度与茎节维管束数目均呈极显著负相关,相关系数分别为 -0.54^{**} 和 -0.55^{**} ;与单个维管束面积呈显著正相关,相关系数分别为 0.48^{*} 和 0.43^{*} 。表明茎节维管束数目越多,越不利于茎节抗折强度的提高;单个维管束面积越大,越有利于抗折强度的提高。此外,花后 6 d 时节折强度与维管束的最大直径、总面积相关性均不显著,与茎节维管束的最小直径、平均直径呈显著正相关;花后 15 d 时,茎节维管束的最小直径、平均直径与抗折强度的相关性不显著。表明茎节维管束的最大直径和茎皮边缘维管束总面积的提高并不一定有利于茎节抗折能力的提高;提高花后 6 d 时茎节维管束的最小直径、平均直径可显著提高其茎节抗折能力,但在花后

15 d 时其维管束的形状对茎节抗折能力的影响不显著。

表 3 节折强度与维管束显微指标相关关系

Table 3 The correlation between NSS and microscopic index of stem vascular bundle

项 目 Item	节折强度 NSS	
	花后 6 d	花后 15 d
$R_{\max}$	0.38	0.33
$R_{\min}$	0.48*	0.34
R_{mean}	0.49*	0.39
n	-0.54^{**}	-0.55^{**}
s	0.48*	0.43*
S	0.18	0.07

2.4 茎节节折强度与相关维管束显微指标的通径分析

表 4 茎节节折强度与相关维管束显微指标的通径分析

Table 4 The path analysis between NSS and microscopic index of stem vascular bundle

测定时间 Measurement time	因 素 Factor	$X_1 \rightarrow Y$	$X_2 \rightarrow Y$	$X_3 \rightarrow Y$	$X_4 \rightarrow Y$	$\text{ri}Y$
花后 6 d	$X_1 (n)$	-0.453 4	0.095 6	-0.079 8	-0.103 4	-0.541
	$X_2 (s)$	0.383 3	-0.113 0	0.073 5	0.110 0	0.453
	$X_3 (R_{\min})$	0.361 4	-0.083 0	0.1001	0.097 9	0.476
	$X_4 (R_{\text{mean}})$	0.386 4	-0.102 5	0.080 8	0.121 3	0.486
	回归方程	$Y=2.784-0.138 2X_1-2.1864 X_2+0.0017X_3+0.001 8X_4$				
花后 15 d	$X_1 (n)$	-0.639 9	0.090 9			-0.549
	$X_2 (s)$	0.532 1	-0.109 3			0.422
	回归方程	$Y=6.251 8-0.304 2X_1-0.280 5X_2$				

注:表中 Y 为节折强度。

Note: Y indicated NSS.

将花后 6 d 和 15 d 的节折强度与相关维管束显微指标进行通径分析(表 4)。结果表明,两个测定时期均以维管束个数对节折强度的直接效应最大(花后 6 d 时为 -0.453 4,花后 15 d 时为 -0.639 9),说明茎节维管束的数目越多,茎节抗折强度越小。

单个维管束面积在两个时期对节折强度的直接效应均为负值(花后 6 d 时为 -0.113 0,花后 15 d 时为 -0.109 3),说明此因素对抗折能力的直接效应是拮抗作用。在花后 6 d 时维管束最小直径与平均直径对节折强度的直接效应均为正值,说明二者对节折强度的直接效应均为促进作用。同时,因单个维管束面积、维管束最小直径和维管束平均直径这 3 个因素通过维管束个数对茎节抗折强度的间接作用要远大于其直接作用,无论直接效应的正负,其最终效应均与通过维管束个数的间接效应保持一致。

3 结论与讨论

玉米自交系的倒折可以分为倒伏和茎折,后者可分为节间折断与茎节折断。前人对倒伏研究较多,但对于茎节折断未见有研究报道^[11~20]。本研究的测定方法可以剔除因植株生育进程与茎秆弹性因素对节折强度造成的影响,确保了试验结果的准确性。

前人对禾本科作物的茎秆显微结构与倒伏之间的关系进行了大量研究,但结论却不尽相同,显微结构与茎节抗折断之间的关系至今尚未见详细报道。前人研究表明,玉米茎秆单个维管束的面积越大则茎秆抗倒伏能力越强。对于维管束数目与抗倒伏能力的关系,王群瑛认为外部维管束数目较多的材料抗倒伏能力强;王立新认为视野内维管束数目与抗倒伏性能呈负相关关系。本研究通过对茎节的抗折能力与显微项目的相关与通径分析表明,花后 6 d 及 15 d 茎节维管束的数目与节折能力呈极显著负相关,与罗茂春、王群英等结论相反,与王健、王立新等研究结论相同。单个维管束面积与节折能力呈显著正相关,与前人研究结论一致。除此之外,花后 6 d 时维管束最小直径、平均直径也与节折能力呈显著正相关,两个测定时期均为维管束个数对节折强度的直接效应最大,其次为单个维管束面积的直接效应;花后 6 d 时维管束最小直径和平均直径等指标对于节折能力的贡献主要通过维管束数目的间接效应起作用。

水稻、麦类、玉米茎秆显微结构与抗倒伏能力相关关系的差异可能来源于茎秆类型的不同。水稻、麦类为空心茎秆,而玉米则为实心茎秆,两种茎秆因在粗细、柔韧性、秆壁的厚薄等多个方面有较大差异,

因此对外力有不同的适应方式,茎秆抗倒伏和茎节抗折断可能存在不同的抗性机理。此外,结论的差异还可能来源于测定时期等方面的不同。本研究认为,花后 6 d 是玉米茎节折断性能最为敏感的时期,在该时期对茎折强度进行测定,可真实地反映茎节的抗折性能。前人一般在玉米乳熟期进行该项目测定,这个时期有利于茎秆维管束、薄壁组织、机械组织等的木质化或纤维化,而木质化、纤维化速度不同则会导致后期茎秆抗倒折能力的差异。

参考文献:

- [1] Brunoehler R. Break brittle snap. The corn and soybean digest, 2000, February[EB]. <http://cornandsoybeandigest.com/break-brittle-snap>.
- [2] White M, Pope R. Green snap opinions vary[J]. Integrated Crop Management, 1998, 18: 139-140.
- [3] 田保明,杨光圣. 农作物倒伏及其评价方法[J]. 中国农学通报, 2005, 21 (7): 111-114.
- [4] 王 勇,李朝恒,李安飞,等. 小麦品种茎秆质量的初步研究[J]. 麦类作物, 1997, 17(3): 28-31.
- [5] 王 健,朱锦懋,林青青,等. 小麦茎秆结构和细胞壁化学成分对抗压强度的影响[J]. 科学通报, 2006, 51(6): 679-685.
- [6] Pinthus M J. Lodging in wheat, barley and oats: the phenomenon, its causes and preventive measures[J]. Advances in Agronomy, 1973, 25: 209-265.
- [7] 王群瑛,胡昌浩. 玉米茎秆抗倒特性的解剖研究[J]. 作物学报, 1991, 17(1): 75.
- [8] 王立新,郭 强,苏 青. 玉米抗倒性与茎秆显微结构的关系[J]. 植物学通报, 1990, 7(8): 34-36.
- [9] 穆春华,孟昭东,张发军,等. 玉米倒伏研究进展[J]. 青岛农业大学学报, 2007, 24(增刊): 19-21.
- [10] 穆春华,孟昭东,张发军,等. 玉米常用自交系茎节抗折强度分析[J]. 玉米科学, 2009, 17(2): 34-37, 43.
- [11] Singh TP. Association between certain stalk traits related to lodging and grain yield in maize (*Zeamays* L.)[J]. Euphytica, 1970, 19 (3): 394-397.
- [12] Zuber MS, Grogan C O. A new technique for measuring stalk strength in corn[J]. Crop Science, 1961(1): 378-380.
- [13] 李得孝. 玉米抗倒性指标及其遗传研究[D]. 西北农林科技大学硕士学位论文, 2001.
- [14] Flint-Garcia S A. Genetic analysis of stalk strength in maize[M]. University of Missouri-Columbia, Doctor., 2001.
- [15] Kang MS, Din A K, Zhang Y, et al. Combining ability for rind puncture resistance in maize[J]. Crop Science, 1999, 31(2): 368-371.
- [16] 贾志森,白永新. 玉米自交系抗倒伏鉴定研究[J]. 作物品种资源, 1992(3): 30-32.
- [17] 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.
- [18] Kamapa A Y, Kling J G, Ajala S O, et al. The relationship between vertical root-pulling resistance and nitrogen uptake and utilization in maize breeding lines[J]. Maydica, 2002, 47(2): 135-140.
- [19] Kamara A Y, Kling J G, Menkir A, et al. Association of vertical root-pulling resistance with root lodging and grain yield in selected S₁ maize lines derived from a tropical low-nitrogen population[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2003, 189(3): 129-135.
- [20] 罗茂春,田翠婷,李晓娟,等. 水稻茎秆形态结构特征和化学成分与抗倒伏关系综述[J]. 西北植物学报, 2007, 27(11): 2346-2353.

(责任编辑:朴红梅)