

## 玉米自交系灌浆期抗倒性评价及 抗倒性状的相关分析

马延华,孙德全,李绥艳,林 红,潘丽艳,李东林

(黑龙江省农业科学院 草业研究所,黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:**为筛选抗倒伏玉米种质,利用自然环境条件对 108 份玉米自交系的抗倒性进行了田间鉴定评价。结果表明:不同自交系间倒伏率存在极显著差异,筛选出高抗倒伏自交系 12 份,可作为抗倒基因源应用于抗倒伏育种。相关和通径分析结果表明,对倒伏影响最大的是茎皮抗穿刺强度( $r=-0.576$ ),其次为次生根数,均达极显著负相关,其中茎皮抗穿刺强度具有最大的直接通径系数( $P=-0.450$ )。因此,提高茎皮抗穿刺强度,同时增加次生根数是提高玉米自交系抗倒伏的有效途径。

**关键词:**玉米;自交系;抗倒性;相关分析

**中图分类号:**S513

**文献标识码:**A

**文章编号:**1002-2767(2014)07-0005-05

倒伏是指由多种因素引发的植株茎秆从自然直立状态到倒折的现象,是玉米高产、稳产、优质的重要限制因素之一,会给收获带来严重障碍<sup>[1-2]</sup>。在玉米拔节至灌浆生长阶段,由于受品种、种植模式和自然灾害等多种因素影响,倒伏问题时有发生,对玉米高产稳产造成了很大的影响。

据调查,灌浆期倒伏可导致玉米减产 7%~30%,在倒伏严重年份减产可达 50%以上<sup>[3-5]</sup>。有关玉米倒伏形成原因、机理以及抗倒伏鉴定指标的研究很多<sup>[6-10]</sup>,然而有关抗倒伏种质鉴定、筛选的研究报道相对较少。近年来,随着玉米高密度育种和杂交种高密度生产种植技术的发展,选育耐密植、抗倒伏品种已成为玉米育种最重要的目标之一。选育和创造抗倒伏玉米种质是降低生产上因倒伏造成损失最经济有效的途径。2012 年 8 月 28 日夜至 29 日,受台风“布拉万”影响,东北三省部分地区出现强降雨大风天气,其中哈尔滨市局部地区降雨量超过 100 mm,阵风风力达 8 级

收稿日期:2014-03-31

基金项目:哈尔滨市科技创新人才研究专项资金资助项目(2012RFQXN016)

第一作者简介:马延华(1977-),男,黑龙江省延寿县,人,博士,副研究员,从事玉米遗传育种研究。E-mail:yanhua1234@163.com。

## Study on the Response Characteristics of Temperature on Heilongjiang Spring Wheat

ZHENG Mao-bo<sup>1</sup>, DING Hai-yan<sup>2</sup>, XIE Yu-feng<sup>1</sup>, XIAO Zhi-min<sup>3</sup>

(1. Harbin Normal University, Harbin, Heilongjiang 150086; 2. Daqing Normal University, Daqing, Heilongjiang 163712; 3. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150087)

**Abstract:** In order to explore the response characteristics of temperature on Heilongjiang spring wheat with different varieties, taking Heilongjiang spring wheat varieties as experimental material, under the condition of strict temperature and light control, the effect of temperature on growth stage and agronomic traits was studied through different spring wheat treated by different temperature. The results indicated that the effect of relatively high temperature had extremely significant difference between different varieties on the main production factors and agronomic characteristics. The results provided theoretical basis for artificial regulation of growth period progressed, growth and development, as well as yield formation, furthermore, the theory of Heilongjiang spring wheat breeding would be developed.

**Key words:** spring wheat; temperature; ecological type; growth period

致谢:黑龙江省农业科学院作物育种研究所小麦研究室全体老师在小麦材料及实验指导方面给予了大力支持,在此表示诚挚的谢意!

以上,造成玉米等作物大面积倒伏。该研究利用此次自然环境条件,对部分玉米自交系的抗倒性进行了田间鉴定和评价,并对主要抗倒性状进行了相关和通径分析,以期为玉米抗倒伏品种的选育提供理论依据,为深入挖掘抗倒伏相关基因提供研究基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2012 年在黑龙江省农业科学院试验基地(哈尔滨市)进行,该地区年均气温  $4.5^{\circ}\text{C}$ ,无霜期 134 d, $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的有效积温为  $2\,750^{\circ}\text{C}$ ,试验田地势平坦,土壤为黑钙土,中性,中等肥力,有灌溉条件,前茬作物为玉米。秋整地、秋施大连东立长效免追玉米专用肥(含氮 30%、磷 9%、钾 9%),施肥量  $675\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

### 1.2 材料

供试材料为黑龙江寒带植物资源研究中心历年从国内外收集及自育的 108 份玉米自交系。

### 1.3 方法

1.3.1 试验设计 田间试验采用随机区组设计,3 行区,行长 3.00 m,行距 0.65 m,株距 0.20 m,3 次重复。栽培管理同一般大田。

1.3.2 测定项目及方法 乳熟末期每行选取 5 株整齐一致且同日抽丝的植株调查株高、穗位高,量取穗下部各节间长度和节间直径。采用河南农业大学迅捷测试技术研究所研制的茎秆强度测试仪,对玉米穗下部各节中部椭圆形短轴垂直于茎

秆进行穿刺,测量玉米茎皮抗穿刺强度。在 8 月 29 日台风过后 2 d 调查玉米自交系倒伏情况,根据倒伏(茎与地面夹角小于  $30^{\circ}$ )和茎折植株占全小区植株的比率,分 5 级记载:植株无倒伏为 1 级(高抗倒); $0<\text{倒伏植株比率}\leq 25\%$  为 2 级(抗倒); $25\%<\text{倒伏植株比率}\leq 50\%$  为 3 级(中倒); $50\%<\text{倒伏植株比率}\leq 75\%$  为 4 级(易倒);倒伏植株比率  $>75\%$  为 5 级(极易倒)。成熟收获后调查植株次生根数。

1.3.3 数据分析 对于节间长度、节间直径及抗穿刺强度这 3 个性状,采用穗下各节的平均值作为统计单位进行分析。所有数据利用 Excel 2003 进行整理,采用 SPSS 19.0 软件包对数据进行差异显著性、相关性和通径分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 自交系的抗倒性鉴定与评价

方差分析表明,108 份玉米自交系间除穗下节间长度表现显著差异外,其余 5 个性状均存在极显著差异。分析各性状变异系数发现,倒伏率的变异系数最大,达到了 56.33%,说明玉米自交系之间倒伏率的差异较大。植株倒伏率变异范围为  $0\sim 100\%$ ,平均值为 53.35%(见表 1)。根据玉米自交系的倒伏(折)率将供试自交系倒伏性进行分级(见表 2)。倒伏性属于 1、2、3、4、5 级的自交系分别为 12、13、16、42、25 份,分别占供试自交系的 11.11%、12.04%、14.81%、38.89% 和 23.15%,倒伏性为 4 级的自交系所占的比例最

表 1 各性状的统计参数比较

Table 1 Comparison on statistical parameters of each characters

性状 Characters	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数/% CV	变幅 Range	F
倒伏(折)率/% Lodging rate	53.35	30.05	56.33	0~100.00	7.87**
抗穿刺强度/ $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ Rind penetrometer resistance	1492.41	322.32	21.60	779.01~2192.10	13.60**
株高/cm Plant height	169.54	27.58	16.27	105.30~235.50	3.25**
穗位高/cm Ear height	57.04	13.51	23.69	28.60~92.70	2.46**
穗下节间长/cm Internode length below ear	13.91	2.76	19.84	7.80~20.00	1.37*
穗下节间直径/cm Internode diameter below ear	1.48	0.24	16.22	0.84~2.15	2.26**
次生根数 Secondary root number	61.10	9.68	15.84	38.40~81.40	3.36**

注:\*\*\* 为在 0.01 水平差异极显著; \* 为在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: \*\*\* indicated significant difference at 0.01 level; \* indicated significant difference at 0.05 level. The same below.

表 2 108 份玉米自交系倒伏性等级  
Table 2 Lodging grades of 108 maize inbred lines

倒伏级别 Lodging grades	自交系份数 Number of inbred line	自交系名称 Inbred lines
1	12	J56、KL <sub>3</sub> 、T116、东 237、四-434、KS23、绥 703、DK1411、KLM17、宾自 903、HR36、海 268
2	13	嫩 169、绥 604、V022、HR10、合 344、南 5、D65003、HR37、克海 181、KT513、绥 607、KT422、KL709
3	16	K10、HR50、D91、绿 983、宾自 949、扎 461、KT45、宾自 905、KL4、SGY22、宾自 908、D156、冬 96、绿 951、海 014、长 3
4	42	吉 842、T935、甸莫 17、吉 853、垦自 167-1、冬 17、吉 846、龙抗 11、绥 606、A273、四-446、扎 917、T64、H172、宾自 914、KG21-9、吉 1037、北 711、吉 4112、承 351、嫩 7010、克 1034、四-495、D183、垦 44、M 美 78、四-4F1、H050、绥 609、KM038、HR30、抗甸 11A、HR16、承 18、冬黄、绥 8941、东 46、KL1、绥 701、黄牙、KT613、绥 601
5	25	讷北 1-6C、宾自 901、A576、宾自 924、D8112、HR48、四-428、克 830、绥 605、T123、MO113、J26、KF2、HB14、K1200、四-144、四-287、矮 34、辐 746、海 1134、KL2、东北虎、龙系 53、K41037、K4138

大,属于易倒伏类型。在 108 份自交系中,J56、KL<sub>3</sub>、T116、东 237、四-434、KS23、绥 703、DK1411、KLM17、宾自 903、HR36、海 268 共 12 份自交系属 1 级,高抗倒伏。

2.2 抗倒性状的相关分析

为进一步明确影响玉米倒伏的相关性状,对供试自交系调查的性状与倒伏率进行了相关分析。从表 3 可以看出,各性状与倒伏率的相关系数由大到小分别为:茎皮抗穿刺强度>次生根数>穗下节间直径>穗位高>穗下节间长>株高。其中茎皮抗穿刺强度、次生根数、穗下节间直径与倒伏率均呈极显著负相关,以茎皮抗穿刺强

度与倒伏率的相关系数最高,为-0.576。而株高、穗位高、穗下节间长与倒伏率相关性不大,未达到显著水平。说明对于自交系来说,茎皮抗穿刺强度、次生根数和穗下节间直径这 3 个性状对其倒伏性具有极重要的作用。在与茎皮抗穿刺强度的相关中,穗下节间直径与之相关系数最大( $r=0.570$ ),即穗下节间直径越大,茎皮抗穿刺强度越大。可见,在玉米自交系选育中,增强茎皮抗穿刺强度和增加次生根数对于提高自交系的抗倒性是非常重要的,而增加穗下节间的直径也有利于抗倒伏能力的提高。

表 3 玉米自交系植株性状间的相关系数  
Table 3 Correlation coefficient between plant characters in maize inbred lines

性状 Characters	倒伏(折)率 Lodging rate	抗穿刺强度 Rind penetrometer resistance	株高 Plant height	穗位高 Ear height	穗下节间长 Internode length	穗下节间直径 Internode diameter
抗穿刺强度 Rind penetrometer resistance	-0.576**					
株高 Plant height	0.046	0.090				
穗位高 Ear height	0.144	0.017	0.695**			
穗下节间长 Internode length	0.108	-0.001	-0.088	-0.156		
穗下节间直径 Internode diameter	-0.353**	0.570**	0.075	-0.031	0.031	
次生根数 Secondary rootnumber	-0.446**	0.420**	0.060	0.007	-0.037	0.206*

2.3 抗倒性状的通径分析

为进一步明确各性状对倒伏率的相对重要性,对相关系数进行了通径分析。得出通径分析

的决定系数  $R^2=0.650$ ,达到极显著水平,说明通径分析成立。表 4 为各性状与倒伏率的直接通径和间接通径系数,各性状对倒伏率的直接作用从

表 4 各性状与倒伏率的直接途径和间接途径系数

Table 4 Coefficient of direct path and indirect path of each characters to lodging rate

因子 Factors	相关系数 Correlation coefficient	直接途径系数 Direct path coefficient	间接途径系数 Indirect path coefficient					
			抗穿刺强度 Rind penetrometer resistance	株高 Plant height	穗位高 Ear height	穗下 节间长 Internode length	穗下 节间直径 Internode diameter	次生根数 Secondary root number
抗穿刺强度 Rind penetrometer resistance	-0.576**	-0.450**	—	-0.001	0.003	0.000	-0.026	-0.102
株高 Plant height	0.046	-0.007	-0.041	—	0.123	-0.011	-0.003	-0.015
穗位高 Ear height	0.144	0.177*	-0.008	-0.005	—	-0.020	0.001	-0.002
穗下节间长 Internode length	0.108	0.127	0.000	0.001	-0.028	—	-0.001	0.009
穗下节间直径 Internode diameter	-0.353**	-0.045	-0.257	-0.001	-0.005	0.004	—	-0.050
次生根数 Secondary root number	-0.446**	-0.243**	-0.189	0.000	0.001	-0.005	-0.009	—

大到小依次为抗穿刺强度、次生根数、穗位高、穗下节间长、穗下节间直径、株高。显著性检验表明,抗穿刺强度和次生根数对倒伏率的直接作用达极显著水平,表明这 2 个因子对倒伏率的直接作用非常明显。因此,选择抗穿刺强度大、次生根数多的自交系是提高抗倒伏性的关键。穗位高对倒伏率的直接作用达显著水平,其直接途径系数大于穗位高与倒伏率的相关系数,表明穗位高对倒伏率也有一定的直接作用。因此,在抗倒伏育种选择时,在注重茎秆强度和根系发达程度的同时,也应兼顾穗位高性状。穗下节间直径与倒伏率呈极显著负相关,相关系数为-0.353,但与倒伏率的直接途径系数仅为-0.045,而与抗穿刺强度的间接途径系数为-0.257,表明穗下节间直径与倒伏率的极显著相关关系来源于茎皮抗穿刺强度对倒伏率的作用。株高、节间长与倒伏率的相关系数及直接途径系数均较小,说明在抗倒玉米自交系选育时对这些性状选择标准可适当放宽。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 玉米自交系的抗倒性评价

我国拥有丰富的玉米遗传资源,不同自交系进行抗倒性鉴定与评价,对玉米耐密植育种及抗倒伏遗传研究具有重要意义。许多学者借助仪器设备测量数据来间接鉴定玉米的抗倒伏性,为玉米育种者提供了一定的参考依据<sup>[11-13]</sup>。然而,玉米倒伏是各个性状综合作用的结果,在育种过程中若过分强调某一个性状,可能会引起对其它性状不利的相关响应。实践证明,田间倒伏率是育

种者最常用、最有效的评价玉米抗倒伏能力的方法。但利用田间倒伏率进行抗倒伏性评价时,必须依赖于环境,如果没有环境外力的作用,就无法识别不同玉米种质抗倒能力的强弱。该试验充分利用了哈尔滨地区罕见的强降雨大风天气,对 108 份玉米自交系进行了抗倒伏性评价。该试验材料是黑龙江寒带植物资源研究中心多年来从我国北方春玉米区收集的自交系,其来源地比较广泛,自交系间的抗倒伏能力存在较大差异,倒伏级别从 1~5 级均有分布,表现出丰富的遗传多样性。筛选出的 12 份高抗倒伏自交系,在今后的育种实践中可针对其优异的抗倒性重点加以利用,可作为亲本材料直接用于抗倒伏玉米组合的组配,同时也可为深入挖掘抗倒基因提供遗传材料。

#### 3.2 植株性状与倒伏性的相关性

许多研究认为,玉米的倒伏性与株高、穗位高、茎粗、茎秆强度以及根等性状密切相关<sup>[14-17]</sup>。明确倒伏性与主要农艺性状的相关关系,对在玉米生长期间选育抗倒伏的种质具有重要的意义。丰光等在玉米不同生育时期对不同玉米杂交种茎秆进行穿刺试验表明,茎皮抗穿刺阻力与倒伏性呈极显著负相关<sup>[18]</sup>。王永学等选用 9 个抗倒性不同的玉米自交系配制的双列杂交组合进行倒伏性状相关分析试验表明,倒伏率与次生根数及茎粗均呈极显著负相关<sup>[19]</sup>。该研究结果表明,倒伏率与茎皮抗穿刺强度和次生根数、节间直径均呈极显著负相关,这与前人研究结果一致;然而茎皮抗穿刺强度对倒伏率影响最大,其次为次生根数,再次为穗位高,这与前人研究结果不尽相

同,分析可能与选取的试验材料不同有关。从该研究结果看,茎皮抗穿刺强度和次生根数对抗倒伏性的影响无论是从相关程度还是相对效应来看,对抗倒伏能力的贡献均较大。因此,在玉米育种工作中,应加强对茎皮抗穿刺强度以及次生根数的选择,从而提高玉米的抗倒伏能力。

在农业生产实践中,玉米从拔节至灌浆生长阶段均有发生倒伏的可能,该研究仅针对玉米灌浆期进行试验,由于是在一个生长周期、单一地点完成的,使得结果可能存在一定的误差。因此,可以对玉米不同生育时期的抗倒伏性鉴定及遗传开展更深入的研究。

#### 参考文献:

- [1] 刘战东,肖俊夫,南纪琴,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.
- [2] 田保明,杨光圣,曹刚强,等.农作物倒伏及其影响因素分析[J].中国农学通报,2006,22(4):163-167.
- [3] Norberg O S, Mason S C, Lowry S R. Ethephon influence on harvest able yield, grain quality, and lodging of corn[J]. Agronomy Journal, 1988, 80(5): 768-772.
- [4] 曹庆军,曹铁华,杨粉团,等.灌浆期风灾倒伏对玉米籽粒灌浆特性及品质的影响[J].中国生态农业学报,2013,21(9):1107-1113.
- [5] 程富丽,杜雄,刘梦星,等.玉米倒伏及其对产量的影响[J].玉米科学,2011,19(1):105-108.
- [6] 孙世贤,顾慰连.密度对玉米倒伏及其产量的影响[J].沈阳农业大学学报,1989,20(4):413-416.
- [7] 马延华,王庆祥.玉米茎秆性状与抗倒伏关系研究进展[J].作物杂志,2012(2):10-15.
- [8] Zuber M S, Colbert T R, Darrah L L. Effect of recurrent selection for crushing strength on several stalk components in maize[J]. Crop Sci, 1980, 20(6): 711-717.
- [9] Esechie H A, Rodriguez V, Al-Asmi H. Comparison of local and exotic maize varieties for stalk lodging components in a desert climate[J]. Europ. J. Agronomy, 2004, 21(1): 21-30.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Dudley J W. Selection for rind puncture resistance in two maize population [J]. Crop Science, 1994, 34(6): 1458-1460.
- [14] 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.
- [15] Esechie H A. Relationship of stalk morphology and chemical composition to lodging resistance in maize (*Zea mays* L.) in a rainforest zone[J]. The Journal of Agricultural Science, 1985, 104(2): 429-433.
- [16] 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(Z1):72-74.
- [17] Albrecht K A, Martin M J, Russell W A, et al. Chemical and *in vitro* digestible dry matter composition of maize stalks after selection for stalk strength and stalk-rot resistance[J]. Crop Science, 1986, 26(5): 1051-1055.
- [18] 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,2009,35(11):2133-2138.
- [19] 王永学,张战辉,刘宗华.玉米抗倒伏性状的配合力效应及通径分析[J].河南农业大学学报,2011,45(1):1-6.

## Evaluation of Lodging Resistance and Correlation Analysis of Lodging Resistance Characters for Maize Inbred Lines During Grain-filling Period

MA Yan-hua, SUN De-quan, LI Sui-yan, LIN Hong, PAN Li-yan, LI Dong-lin

(Pratacultural Sciences Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086)

**Abstract:** In order to screen maize germplasm with lodging resistance, 108 maize inbred lines were identified for lodging resistance in natural environment conditions. The results showed that there were extremely significant difference in lodging rate between different maize inbred lines, and 12 genotypes with high resistance were screened, which could be used in maize breeding for lodging resistance. Correlation and path analysis indicated that the greatest impact on lodging was the rind penetrometer resistance ( $r = -0.576$ ), followed by secondary root number, covering extremely significant negative correlation, in which the rind penetrometer resistance had the greatest direct path coefficient ( $P = -0.450$ ). Therefore, raising the rind penetrometer resistance and secondary root number was the effective way to improve lodging resistance of maize inbred line.

**Key words:** maize; inbred line; lodging resistance; correlation analysis