

玉米抗倒伏性评价方法的研究

刘艳丽, 田伯红, 徐玉鹏, 张立新, 周璐璐, 纪明妹

(沧州市农林科学院, 河北 沧州 061000)

摘要: 选定抗倒性不同的 10 个玉米品种, 对现有玉米抗倒伏研究方法进行比较研究, 探索玉米抗倒伏综合评价方法。相关分析结果表明, 倒伏系数是株高、单茎鲜重、茎秆机械强度和根量的综合体现, 倒伏系数与倒伏程度的相关性达到极显著水平。通径分析表明, 茎秆机械强度和根量对玉米倒伏系数有较大负作用, 单茎鲜重和株高对倒伏系数的直接和间接的效应都较小。聚类分析将 10 个品种划分为 5 个倒伏级别。以倒伏系数为评价标准, 能客观准确地反映 10 个玉米品种的抗倒性, 抗倒性强的品种倒伏系数较小, 依据倒伏系数可以建立玉米抗倒等级划分标准。

关键词: 玉米; 抗倒伏性; 评价方法; 相关分析; 通径分析

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Assessment Method of Resistance to Lodging in Corn

LIU Yan-li, TIAN Bo-hong, XU Yu-peng, ZHANG Li-xin, ZHOU Lu-lu, JI Ming-mei

(Agriculture and Forest Department of Cangzhou, Cangzhou 061000, China)

Abstract: The research methods of lodging resistance in 10 corn varieties with different resistance were compared to explore the comprehensive evaluation method of corn resistance-coefficient. The correlation analysis results showed that the correlation between the coefficient and the degree of depression was significant, the lodging coefficient was the synthesis of plant height, fresh weight per culm, mechanical strength of stem and root weight. Path analysis demonstrated that mechanical strength of stem and root weight had a negative effect on the lodging coefficient of millet, the effects of fresh weight per culm and plant height on the lodging coefficient were small, clustering analysis divided 10 species into 5 levels. Take lodging coefficient as evaluation standard, can objectively and accurately reflect the resistance of 10 corn varieties, the lodging coefficient of the varieties with strong inversion resistance was lower, the criterion of maize resistance grade can be established according to the lodging coefficient.

Key words: Corn; Lodging coefficient; Evaluation method; Path analysis

倒伏的发生严重影响玉米产量、品质, 因倒伏引起玉米减产多达 5% ~ 25%^[1-4]。玉米茎秆倒伏一般可划分为根倒、茎倒和茎折^[5], 有研究报道, 茎折占倒伏的 30% ~ 40%^[6]。玉米从拔节到乳熟灌浆期间, 均可能由于暴风雨的袭击而发生倒伏, 严重制约产量水平的提高。前人在玉米倒伏形成原因及抗倒指标的选择方面开展了大量的研究^[7, 8], 认为自然条件、栽培管理、病虫害、玉米自身形态及茎秆性状都对玉米倒伏有重要影响, 并总结出研究玉米的倒伏

方法有多种, 如风洞试验、茎秆压碎强度、硬皮穿刺强度、茎秆拉弯强度、茎秆折断强度、根拔力、茎秆解剖学和化学试验等。贾志森等^[9]研究表明, 茎秆拉弯强度能反应玉米的抗倒伏能力, 认为植株抗倒伏性影响最大的是茎粗, 而株高通过茎粗增强抗倒伏性, 穗位较高的材料可通过增加株高和茎粗增强其抗倒伏性。茎秆质量轮回选择的结论显示压碎强度与硬皮穿刺强度与茎秆的倒伏性显著相关。在水稻、麦类作物中, 有研究者采用在一定高度上推压茎秆至倾斜一定角度时所需要的力(推力抗性)来评价植株的茎秆抗倒能力^[10]。任安然等^[11]将推力仪垂直于植株茎秆穗位节中部用力直到植株与地面呈 45° 夹角, 记录推力仪显示的数值为抗推力, 来表示抗倒伏能力的强弱。勾铃等^[12]用茎秆压碎强度和外皮穿刺强度作为抗倒指标, 研究群体密度对玉米茎秆

录用日期: 2018-07-30

作者简介: 刘艳丽, 女, 河北唐山人, 助理研究员, 硕士, 主要从事作物栽培研究。E-mail: liuyanli_xy@163.com

田伯红为本文通讯作者。E-mail: tianbohong@126.com

抗倒力学的影响。李波等^[13]将穿刺强度作为抗倒指标研究施钾量对高产夏玉米抗倒伏能力的影响。汪黎明等^[14]用基部抗折力、穗下节间抗折力、拔根力作为抗倒伏指标研究玉米抗倒与根系抗倒的特性。姚启伦^[15]选择10个具有抗倒差异的玉米自交系,将抗倒伏相关性状、抗茎倒折性状、抗根倒伏性状作为抗倒指标进行测定,对玉米抗倒伏性状进行研究。

前人对玉米茎倒伏、根倒伏进行了大量的研究,茎倒伏研究较多,也都是对茎秆单一性状的测定,对于玉米抗倒伏综合指标的评价方法还未见报道。蒲定福等^[16]提出了“小麦品种倒伏系数”概念,是植株重量、株高、茎秆机械强度和根量的综合体现,能定量评价小麦品种的抗倒伏性,初步证明了其用于品种抗倒伏性评价时准确可靠。王莹等^[17]对大麦根倒伏抗性评价方法进行了研究,提出用大麦根倒伏系数来评价大麦根倒伏的抗性。Tian等^[18]证明,利用倒伏系数对谷子抗倒伏性进行评价比较客观准确,用“倒伏系数”作为评价谷子品种抗倒性的指标。在以上的研究基础上,本研究选择10个玉米品种,对玉米的形态指标及各个抗倒指标进行测定,研究玉米的综合抗倒性评价方法,为玉米抗倒伏品种的选育提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2016~2017年连续两年在沧州市农林科学院前营试验田进行。试验采用随机区组设计,3次重复,10行区,行长6米,行距55 cm,株距26 cm,小区面积33 m²,种植密度69 000株/hm²,东西、南北观察道均1 m。管理同一般大田。共10个品种,分别为登海605、邯丰79、迪卡516、京单58、锦农88、浚单20、濮玉3号、道元8号、沧玉76、浚单29。

1.2 测定项目与方法

研究认为,玉米抽雄前品种间茎秆强度差异最大,将抽雄-吐丝期作为抗倒性鉴定和筛选的最佳时期^[19]。本试验在玉米乳熟期进行,每个品种选取除边株以外5株长势一致的植株,测量推力,然后将整个植株带根(0~40 cm)取走,将根上的土冲洗干净,将根剪下后烘箱烘干,然后在室内测定各个项目。

1.2.1 植株形态指标

株高、节长(3、4、5、6、7)、穗位高、植株鲜重、穗重、基部倒数第3节直径、根干重。

1.2.2 植株力学指标

推力:将YYD-1垂直于距离植株茎秆70 cm处

用力推,直到植株与地面成60°夹角,读取读数。

茎秆穿刺强度:用YYD-1型茎秆强度测定仪探针分别垂直插入茎秆基部第3、4、5、6、7节节间的中部,仪器上显示的峰值即为玉米茎秆穿刺强度。

茎秆压弯强度:用YYD-1型茎秆强度测定仪上的U型探头压第3、4、5、6、7节节间的中部,压弯时仪器显示的峰值为茎秆压弯强度。

茎秆垂直压碎强度:用YYD-1型茎秆强度测定仪实心探头分别垂直压碎茎秆基部第3、4、5、6、7节节间的中部,仪器上显示的峰值即为玉米茎秆垂直压碎强度。

倒伏系数=株高×鲜重/(根重×第3节垂直压碎强度×3节长/2)。

1.2.3 倒伏程度调查

对每个小区的倒伏面积进行调查。

1.3 数据处理与分析

数据统计分析采用Microsoft Excel和SPSS17.0、DPS7.05软件处理。

2 结果与分析

2.1 倒伏程度与测定性状的相关性分析

表1、表2、表3表明,3、4、5、6节长与倒伏面积呈极显著负相关关系,穿刺强度和压弯强度与倒伏面积无显著相关关系。株高与倒伏面积无显著相关关系,株高不能作为评价玉米品种抗倒伏能力强弱的主要指标^[20]。根重与第3节垂直压碎强度与倒伏面积呈极显著负相关,玉米茎秆压碎强度与茎倒伏呈显著负相关^[21]。推力与倒伏面积呈负相关关系,但不显著,与推力呈显著相关性的有株高、第3节垂直压碎强度。研究表明,玉米地上部茎秆第三茎节力学性状差异最显著^[22],实际生产中玉米倒伏茎节弯曲多发生在第3节,第3节的机械强度对致倒伏力的抵抗至关重要,用第3节所承受的最大力矩(茎秆机械强度=第3节垂直压碎强度×3节长/2)表示茎秆的机械强度。本研究以株高(H)和单茎鲜重(G)的乘积与根量(W)和茎秆机械强度的乘积之比作为玉米的倒伏系数。

2.2 玉米倒伏系数与倒伏程度的比较

从图1至图5中可以看出,推力、压弯强度、穿刺强度、垂直压碎强度与倒伏程度的趋势不一致,各品种的倒伏系数与倒伏程度趋势比较一致。对倒伏程度与倒伏系数进行相关分析,结果表明,相关关系达到极显著水平,从而用倒伏系数来评价玉米倒伏抗性是准确可靠的。登海605、邯丰79、迪卡516、京单58、锦农88的倒伏系数较小,抗倒性比较强,

在田间未发生倒伏;浚单20、濮玉3号、道元8号、沧玉76、浚单29的倒伏系数较大,抗倒性较弱,两年期

间在田间不同程度的发生了倒伏。

表 1 形态性状与倒伏程度的相关性

Table 1 The correlation between morphological characters and lodging degree

性 状 Trait	3 节长 3NL	4 节长 4NL	5 节长 5NL	6 节长 6NL	7 节长 7NL	根 重 Root weight	株 高 Plant weight	穗位高 Ear height	鲜 重 Fresh weight	穗 重 Panicle weight	3 节直径 3-section diameter
4 节长	0.92**										
5 节长	0.86**	0.98**									
6 节长	0.85**	0.93**	0.94**								
7 节长	0.63*	0.65*	0.61*	0.80**							
根重	0.39	0.59	0.70*	0.64*	0.36						
株高	0.42	0.36	0.38	0.21	0.14	0.25					
穗位高	-0.09	0.01	0.06	-0.04	-0.28	0.02	0.31				
鲜重	-0.36	-0.25	-0.17	-0.24	-0.11	0.23	0.5	0.28			
穗重	-0.27	-0.15	-0.09	-0.11	0.04	0.28	0.13	-0.13	0.80**		
3 节直径	-0.46	-0.44	-0.36	-0.15	0.12	0.09	-0.27	-0.31	0.15	0.07	
倒伏面积	-0.74**	-0.76**	-0.79**	-0.77**	-0.58	-0.80**	-0.35	0.32	0.06	-0.08	0.04

注:*为5%水平显著,**为1%水平极显著。下表同。

Note: * is significant at 5% level, and ** is extremely significant at 1% level. The same below.

表 2 穿刺强度、压弯强度与倒伏程度的相关性

Table 2 The correlation between puncture strength, bending strength and lodging degree

性 状 Trait	穿刺3 PS 3	穿刺4 PS 4	穿刺5 PS 5	穿刺6 PS 6	穿刺7 PS 7	压弯3 BS 3	压弯4 BS 4	压弯5 BS 5	压弯6 BS 6	压弯7 BS 7
穿刺4	0.53									
穿刺5	0.71*	0.91**								
穿刺6	0.54	0.90**	0.77**							
穿刺7	0.64*	0.85**	0.89**	0.80**						
压弯3	0.21	0.3	0.32	0.46	0.45					
压弯4	0.21	0.22	0.28	0.42	0.44	0.93**				
压弯5	0.05	0.26	0.28	0.41	0.41	0.92**	0.95**			
压弯6	-0.03	0	0.03	0.26	0.17	0.78**	0.92**	0.89**		
压弯7	-0.1	0.22	0.03	0.51	0.27	0.72*	0.79**	0.81**	0.84**	
倒伏面积	-0.04	-0.33	-0.39	-0.03	-0.17	0.42	0.38	0.38	0.43	0.54

表 3 垂直压碎强度、推力与倒伏程度的相关性

Table 3 The correlation between vertical crushing strength, thrust and lodging degree

性 状 Trait	垂直压碎3 PVCS 3	垂直压碎4 PVCS 4	垂直压碎5 PVCS 5	垂直压碎6 PVCS 6	垂直压碎7 PVCS 7	推 力 Thrust
垂直压碎4	0.02					
垂直压碎5	0.02	0.85**				
垂直压碎6	-0.16	0.72*	0.67*			
垂直压碎7	0.31	0.43	0.51	0.43		
推 力	0.61*	0.42	0.46	0	0.23	
倒伏面积	-0.92**	0.21	0.24	0.47	-0.01	-0.5

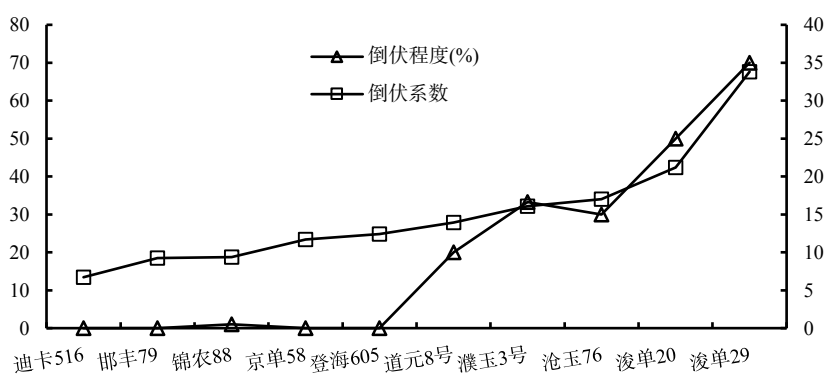


图1 玉米倒伏系数与倒伏程度的比较

Fig.1 Compared of corn lodging coefficient and lodging degree

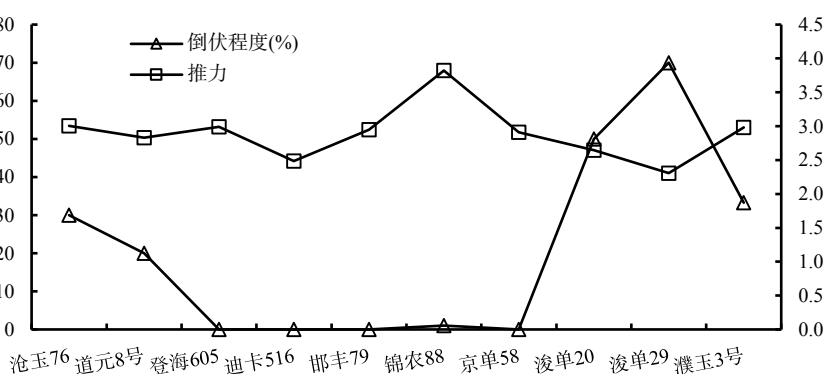


图2 玉米推力与倒伏程度的比较

Fig.2 Compared of thrust and lodging degree

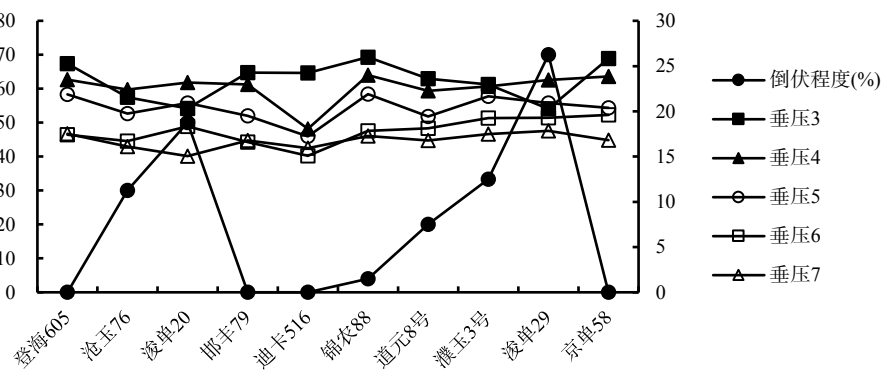


图3 不同玉米节位垂直压碎强度与倒伏程度的比较

Fig.3 Compared of different corn joint position vertical crushing strength and lodging degree

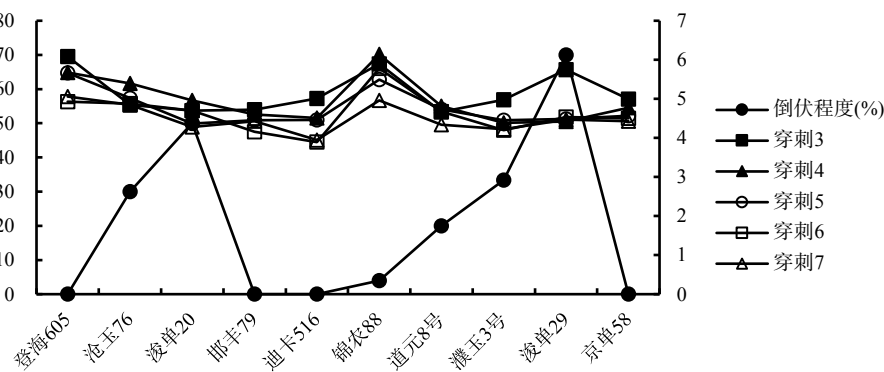


图4 不同玉米节位穿刺强度与倒伏程度的比较

Fig.4 Compared of different corn joint position puncture strength and lodging degree

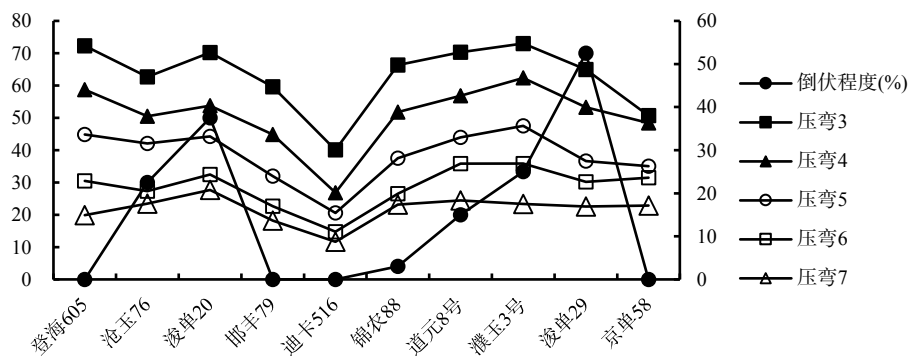


图5 不同玉米节位压弯强度与倒伏程度的比较

Fig.5 Compared of different corn joint bending strength and lodging degree

2.3 倒伏系数与其构成因素的相关分析

表4数据表明,倒伏系数与株高、单茎鲜重呈不显著正相关关系,倒伏系数与3节长、根重、第3节垂直压碎强度,茎秆机械强度呈极显著负相关关系,说明玉米品种的3节长、根重、第3节垂直压碎强度、茎秆机械强度的值越大,玉米品种的倒伏系数越小,品种的抗倒伏能力越强;但每个性状所起的作用不一定是均等的,因此,对构成倒伏系数的4个因素进行通径分析。

2.4 倒伏系数与构成因素的相关分析和通径分析

由表5可以看出,机械强度对倒伏系数的直接作用最大($P4 \rightarrow y = -0.617\ 2$),通过根量还有一定的间

接负效应($P4 \rightarrow 3 \rightarrow y = -0.278\ 3$),虽通过株高($P4 \rightarrow 2 \rightarrow y = 0.062\ 8$)、单茎鲜重($P4 \rightarrow 2 \rightarrow y = 0.032\ 7$)有间接正效应,但没有大的影响;根重与倒伏系数也存在较大的负效应($P1 \rightarrow y = -0.407\ 7$),通过机械强度还有较大间接负效应($P1 \rightarrow 4 \rightarrow y = -0.421\ 2$),株高和单茎鲜重还有较小的负效应;株高对倒伏系数有一定的正效应($P2 \rightarrow y = 0.352\ 4$),但单茎鲜重和机械强度还有间接的负效应,最终导致株高与倒伏系数的相关性也小;单茎鲜重对倒伏系数的直接作用及其通过其他3个性状的间接作用都比较小,与倒伏系数的相关性也小。

表4 各性状间的相关系数

Table 4 Correlation coefficient among each characters

性 状 Trait	3节长 3NL	根 重 Root weight	株 高 Plant weight	鲜 重 Fresh weight	垂直压碎强度3 PVCS 3	茎秆机械强度 SBS	倒伏系数 LC
根 重	0.53						
株 高	0.19	-0.22					
单茎鲜重	-0.36	0.16	0.3				
垂直压碎强度3	0.66*	0.78**	0.08	-0.03			
茎秆机械强度	0.94**	0.68*	0.18	-0.25	0.87**		
倒伏系数	-0.69*	-0.93**	0.29	0.07	-0.82**	-0.80**	
倒伏面积	-0.74**	-0.88**	0.13	0.06	-0.92**	-0.88**	0.95**

表5 玉米倒伏系数与其构成因素的通径分析

Table 5 Path analysis of corn lodging coefficient and its component factors

自变量 Independent variable	相关系数 $r(i,y)$ Correlation coefficient	1→y	2→y	3→y	4→y
根重X(1)	-0.93**	-0.407 7	-0.077 4	-0.020 3	-0.421 2
株高X(2)	0.29	0.089 6	0.352 4	-0.039 4	-0.11
单茎鲜重X(3)	0.07	-0.063 5	0.106 5	-0.130 3	0.155
机械强度X(4)	-0.80**	-0.278 3	0.062 8	0.032 7	-0.617 2

2.5 根据有关倒伏系数的各个性状对品种进行聚类分析

根据玉米倒伏系数及其构成因素对10个品种进行聚类分析,将10个品种被分为5类,迪卡516为

I类;邯丰79、锦农88和京单58为Ⅱ类;登海605、道元8号和沧玉76为Ⅲ类;濮玉3号和浚单20为Ⅳ类;浚单29为Ⅴ类(图6)。将10个品种的抗倒伏性划分为5个级别,极强、较强、一般、较弱、极弱(表4)。

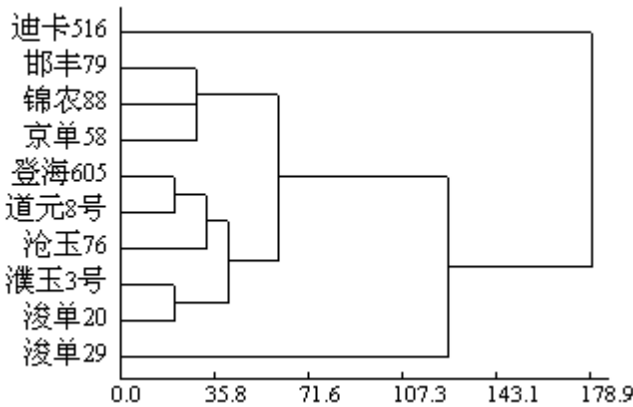


图6 10个玉米品种倒伏系数及其构成因素的聚类分析

Fig.6 Cluster analysis of lodging coefficient and its components factors of 10 maize varieties

表6 10个玉米品种抗倒级别的划分

Table 6 Resistance inverted grade of 10 corn varieties divided by lodging coefficient

类 别	品种名称	抗倒级别
Category	Name of cultivar	Resistance inverted grade
I	迪卡516	极强
Ⅱ	邯丰79、锦农88、京单58	较强
Ⅲ	登海605、道元8号、沧玉76	一般
Ⅳ	濮玉3号、浚单20	较弱
Ⅴ	浚单29	极弱

3 结论与讨论

在小麦、谷子、玉米的抗倒伏研究基础上,通过推力、垂直压碎强度(3~7节)、穿刺强度(3~7节)、压弯强度(3~7节)等14项指标的测定和分析,各个力学指标与玉米倒伏程度相关性不能达到极显著,单个力学指标不能测量玉米品种抗倒伏能力的强弱,综合评价指标倒伏系数能准确评价玉米抗倒伏能力,相关系数达到 $r=0.95^{**}$,用倒伏系数评价玉米的抗倒伏能力是准确可靠的。

通径分析表明,倒伏系数是株高、单茎鲜重、茎秆机械强度和根量的综合体现,机械强度越大,倒伏系数越小,抗倒伏能力越强;根量越大,倒伏系数越小,抗倒伏能力越强;玉米品种的株高、单茎鲜重不是产生倒伏的必然因素,因此在玉米抗倒伏育种的选育过程中,应选择根系发达、茎秆机械强度大。植株高矮不是决定因素,一般中等为好,植株过高使得重心升高,产生倒伏的潜在因素增大。

本文研究玉米抗倒伏较准确的综合评价方法,在此研究基础上,可选定一个对照品种,对现有玉米育成品种进行倒伏系数测定,对现有育成品种进行抗倒级别划分,为判断玉米倒伏能力的强弱建立统一的标准,为玉米育种者选择抗倒伏品种提供理论依据。

参考文献:

[1] 汪黎明,李建生,姚国旗,等.玉米茎秆与根系抗倒的特性研究[J].玉米科学,2012,20(2):69-74,81.
Wang L M, Li J S, Yao G Q, et al. Characterization of resistance to stalk and root lodging in maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2012, 20(2): 69-74, 81. (in Chinese)

[2] Lang Y, Yang X, Wang M, et al. Effects of lodging at different filling stages on rice yield and grain quality[J]. Rice Science, 2012, 19(4): 315-319.

[3] 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.
Wang L M, Yao G Q, Mu C H, et al. Advances in genetic research of maize lodging resistance[J]. Journal of Maize Sciences, 2011, 19(4): 1-4. (in Chinese)

- [4] 赵洪建. 玉米倒伏的发生原因和预防措施[J]. 中国种业, 2006(3): 30.
Zhao H J. The causes and preventive measures of maize lodging[J]. Chinese Seed Industry, 2006(3): 30. (in Chinese)
- [5] 任安然, 武丽芬, 关红辉, 等. 不同种植密度下玉米茎秆纤维性状和抗倒性相关分析[J]. 植物遗传资源学报, 2017, 18(4): 653–664.
Ren A R, Wu L F, Guan H H, et al. Stalk fiber related traits and lodging resistance correlation analysis under different planting density in maize[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(4): 653–664. (in Chinese)
- [6] 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).
Gou L, Zhao M, Huang J J, et al. Bending mechanical properties of stalk and lodging resistance of maize[J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(4). (in Chinese)
- [7] 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.
Feng G, Huang C L, Xing J F. The research progress in lodging resistance of maize[J]. Crops, 2008(4): 12–14. (in Chinese)
- [8] 王永学. 玉米抗倒伏有关性状遗传的初步研究[D]. 硕士学位论文, 河南农业大学, 2011.
- [9] 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.
Jia Z S, Bai Y X. Study on the lodging resistance identification of maize inbred lines[J]. China Seeds, 1992(3): 30–32. (in Chinese)
- [10] Takayuki K, Ishimaru K. Identification and functional analysis of a locus for improvement of lodging resistance in rice[J]. Plant Physiology, 2004, 134(2): 676–683.
- [11] 马青美, 裴玉贺, 葛兆鹏, 等. 玉米茎秆抗推力的遗传效应分析[J]. 西南农业学报, 2017, 30(11): 2425–2428.
Ma Q M, Pei Y H, Ge Z P, et al. Genetic effect of maize stalk anti-thrust[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2017, 30(11): 2425–2428. (in Chinese)
- [12] 勾玲, 黄建军, 张宾, 等. 群体密度对玉米茎秆抗倒力学和农艺性状的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(10): 1688–1695.
Gou L, Huang J J, Zhang B, et al. Effects of population density on stalk lodging resistant mechanism and agronomic characteristics of maize[J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(10): 1688–1695. (in Chinese)
- [13] 李波, 张吉旺, 崔海岩, 等. 施钾量对高产夏玉米抗倒伏能力的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(11): 2093–2099.
Li B, Zhang J W, Cui H Y, et al. Effects of potassium application rate on stem lodging resistance of summer maize under high yield conditions[J]. Acta Agronomica Sinica, 2012, 38(11): 2093–2099. (in Chinese)
- [14] 郭书磊, 陈娜娜, 齐建双, 等. 不同密度下玉米倒伏相关性状与产量的研究[J]. 玉米科学, 2018, 26(5): 71–77.
Guo S L, Chen N N, Qi J S, et al. Study on the relationship between yield and lodging traits of maize under different planting densities[J]. Journal of Maize Sciences, 2018, 26(5): 71–77. (in Chinese)
- [15] 姚启伦. 玉米抗倒伏性状的研究——般配合力效应(GCA)及其在育种上的应用[J]. 重庆师范学院学报(自然科学版), 2003, 20(2): 48–51.
Yao Q L. The GCA of the lodging resistance traits of maize and its utilization in breeding[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2003, 20(2): 48–51. (in Chinese)
- [16] 蒲定福, 李邦发, 周俊儒, 等. 小麦抗倒性评价方法研究初报[J]. 绵阳经济技术高等专科学校学报, 1999, 16(2): 1–5.
Pu D F, Li B F, Zhou J R, et al. A study on the evaluation method of wheat lodging resistance[J]. Mianyang Research Institute of Agricultural Science and Technology, 1999, 16(2): 1–5. (in Chinese)
- [17] 王莹, 杜建林. 大麦根倒伏抗性评价方法及倒伏系数的途径分析[J]. 作物学报, 2001, 27(6): 941–945.
Wang Y, Du J L. Evaluation method of root lodging resistance and its path analysis in barley[J]. Acta Agronomica Sinica, 2001, 27(6): 941–945. (in Chinese)
- [18] Tian B H, Wang J G, Zhang L X, et al. Assessment of resistance to lodging of landrace and improved cultivars in foxtail millet[J]. Euphytica, 2010, 172(3): 295–302.
- [19] 勾玲, 黄建军, 孙锐, 等. 玉米不同耐密植品种茎秆穿刺强度的变化特征[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 156–162.
Gou L, Huang J J, Sun R, et al. Variation characteristic of stalk penetration strength of maize with different density tolerance varieties[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(11): 156–162. (in Chinese)
- [20] 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.
Cheng F L, Du X, Liu M X, et al. Lodging of summer maize and the effects on grain yield[J]. Journal of Maize Sciences, 2011, 19(1): 105–108. (in Chinese)
- [21] 刘鑫, 谢瑞芝, 牛兴奎, 等. 种植密度对东北地区不同年代玉米生产主推品种抗倒伏性能的影响[J]. 作物杂志, 2012(5): 126–130.
Liu X, Xie R Z, Niu X K, et al. Effects of planting density on lodging resistance performance of maize varieties of different eras in north-east China[J]. Crops, 2012(5): 126–130. (in Chinese)
- [22] 刘卫星, 王晨阳, 王强, 等. 不同玉米品种茎秆抗倒特性及其与产量的关系[J]. 河南农业科学, 2015, 44(7): 17–21.
Liu W X, Wang C Y, Wang Q, et al. Stalk lodging-resistance property and its correlation with yield among different maize varieties[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2015, 44(7): 17–21. (in Chinese)

(责任编辑: 栾天宇)