

基于综合评价法的大豆抗倒伏性研究

屈晓坤¹,陈海涛¹,邱丽娟²,王业成¹

(1. 东北农业大学 工程学院,黑龙江 哈尔滨 150030;2. 中国农业科学院 作物科学研究所,北京 100081)

摘要:以7个品种(系)大豆秸秆为研究对象,在弯曲试验和多重比较分析的基础上,以秸秆弯曲强度、弹性模量和刚度为评价指标,应用综合评价分析方法,对大豆抗倒伏性能进行了分析研究。结果表明,各品种秸秆弯曲强度、弹性模量和刚度存在显著性差异;供试大豆品种抗倒伏能力由强到弱依次为621、1357、625、726、Willims2、中品03-6025、1305。研究结果为大豆抗倒伏品种选育提供了参考依据。

关键词:大豆;抗倒伏;弯曲强度;综合评价法

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2012)06-0899-04

Lodging Resistance of Soybean Based on Comprehensive Evaluation Method

QU Xiao-shen¹, CHEN Hai-tao, QIU Li-juan², WANY Ye-cheng¹

(1. Engineering College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang; 2. Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on the bending test and multiple comparison, lodging resistance of soybean were analysed with comprehensive evaluation method, in which bending strength, elasticity modulus and stiffness were selected as evaluation index, and seven kinds of soybean stalks were chosen as research objects. The result showed that the differences of bending strength, elasticity modulus and stiffness of stalks were significant and lodging resistance of these soybean varieties in descending order were 621, 1357, 625, 726, Willims2, ZP03-6025 and 1305. The results will provide reference for breeding varieties of soybean with lodging resistance.

Key words: Soybean; Lodging resistance; Bending strength; Comprehensive evaluation method

在中国植株倒伏已成为大豆高产、稳产和优质的重要限制因素之一,每年由大豆倒伏所造成的产量损失为5%~25%^[1]。大豆倒伏可划分为根倒伏和茎倒伏,根倒伏指茎秆倾斜或弯曲而产生的植株歪倒状态,茎倒伏指茎秆弯曲或折断产生的植株倒伏^[2]。倒伏是一个综合而复杂的现象,作物会受外界风雨等气候因素影响而引起倒伏,生长条件和栽培措施等也会引发或加重倒伏程度,但不同基因型存在抗倒伏能力差异^[3]。长期以来,国内外学者对作物倒伏进行了大量研究,提出了一些抗倒伏评价方法,主要包括田间直观评价法和单项指标评价法^[4-9],但前者受制于试验期间气候条件的影响,后者则由于涉及因素少,局限性较大,评价结果具有单一性。因此,建立不受气候条件影响并且能综合评价抗倒伏性的评价方法,对于深入评价和发掘大豆抗倒伏种质资源具有重要意义。

本研究以7个品种大豆秸秆为试验材料,在大豆秸秆弯曲特性试验的基础上,应用综合评价方法,得到供试大豆品种抗倒伏能力的综合排序,为大豆抗倒伏品种的选育提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与仪器

大豆秸秆: Willims2、中品03-6025、1305、621、625、1357和726收获后的秸秆,由内蒙古呼伦贝尔农业科学研究所2011年种植,每个品种选取5个样本进行测定。

试验仪器:微机控制电子式万能试验机(型号:WDW-5,示值最大误差:示值±0.1%,济南试金有限公司制造)、自制夹具(图1)和电子式游标卡尺等。

1.2 秸秆弯曲特性测定

首先将整株秸秆平均分为三段,并对其下段和中段分别进行四点弯曲试验。测试时下压头3固定不动,上压头1以恒定速度(20 mm·min⁻¹)向下移动,当秸秆发生弯曲失效时,记录下F₁、F₂。并保存试验过程力一位移曲线。

弯曲强度 σ_{\max} 按式(1)计算。

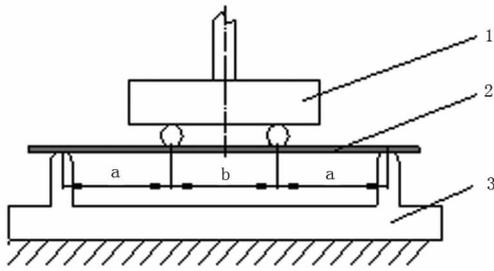
$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{Fa}{W} \quad (1)$$

收稿日期:2012-04-13

基金项目:黑龙江省科技攻关重点课题(GA09B501-1);“十二五”农村领域国家科技计划课题;国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2006AA100104);现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-04)。

第一作者简介:屈晓坤(1985-),女,在读硕士,研究方向为农业机械装备及生物质材料。E-mail: sea_1144@163.com。

通讯作者:陈海涛(1963-),男,教授,博士生导师,从事农业机械装备及生物质材料研究。E-mail: htchen@neau.edu.cn。



1-上压头;2-大豆秸秆;3-下压头
1-upper chuck;2-soybean stalk;3-lower chuck

图1 自制夹具示意图

Fig.1 Homemade fixture

$$\omega(x) = \begin{cases} \frac{F}{4EI}[-\frac{x^3}{3} + (a^2 + ab)x] & (0 < x < a) \\ \frac{F}{4EI}[-\frac{x^3}{3} + \frac{(x-a)^3}{3} + (a^2 + ab)x] & (a < x < a+b) \\ \frac{F}{4EI}[-\frac{x^3}{3} + \frac{(x-a)^3}{3} + \frac{(x-a-b)^3}{3} + (a^2 + ab)x] & (a+b < x < 2a+b) \end{cases} \quad (2)$$

式中, $\omega(x)$ -夹头 CD 的位移, mm; x -秸秆各截面位置, mm; b -夹具结构尺寸(图 1), $b = 26$ mm; F -压头作用力, N; EI -秸秆的弯曲刚度, Mpa; E -秸秆材料的弹性模量, Mpa; I -截面对中性轴的惯性距, mm^4 。

当 $x = a$ 时,

$$EI = \frac{F}{\omega_c}(\frac{a^3}{6} + \frac{a^2b}{4}) \quad (3)$$

$$E = \frac{F}{\omega_c} \cdot \frac{64}{\pi d^4}(\frac{a^3}{6} + \frac{a^2b}{4}) \quad (4)$$

式(3)、(4)中, $I = \frac{\pi d^4}{64}$; ω_c -夹头 CD 的位移,

mm; F -压力, N; d -秸秆直径, mm。

1.3 数据处理方法

采用综合评价法,由秸秆弯曲特性多重比较分析的结果选取秸秆下段弯曲刚度 EI_1 和下段弯曲强度 σ_1 为根部抗倒伏评价指标,选取中段弯曲刚度 EI_2 、中段弹性模量 E_2 、中段弯曲强度 σ_2 为茎部抗倒伏评价指标,再结合根倒伏和茎倒伏进行大豆抗倒

式(1)中: W -抗弯截面系数; M -压折时的最大弯矩; F -压折时的最大力值; a -夹具结构尺寸(如图 1), $a = 27$ mm。

秸秆弯曲刚度测定方法:在秸秆压折失效前,力与变形曲线近似为一直线,应用 MATLAB 软件中的最小二乘法对压折前的一段力 - 变形曲线进行直线拟合,获得直线斜率。

对 AB 段秸秆的变形进行分析,由于产生弯曲变形秸秆的长度较短(80 mm),近似认为其是等截面均质梁,则秸秆的近似挠曲线方程如式(2)所示。

伏的综合评价,评价结果以分值表示参评品种“综合状况”的排序。指标值的计算方法为打分排队法,将指标体系中各指标实际值,按照优劣程度分别排队。其中,正指标从大到小排列,负指标从小到大排列,指标排在第一位得 100 分,最后位得 0 分,居于中间位的得分按式(5)计算,之后乘以每个指标的权重数,参考相关研究^[10-11],本文各指标取等权重数,各指标的得分之和为品种总得分,按照各品种总得分排队,确定各品种排序。

$$X_i = 100 - \frac{n-1}{N-1} \times 100\% \quad (5)$$

式(5)中, X_i -第 i 项指标得分, N -第 i 项指标的排队品种总数, n -第 i 项指标排列名次数。

2 结果与分析

2.1 大豆秸秆弯曲特性多重比较分析

2.1.1 整株秸秆不同部位弯曲特性方差分析 如表 1 所示,各品种下段与中段的弯曲刚度、弹性模量

表 1 不同部位方差分析

Table 1 ANOVA of different position

项目 Item		材料 Materials						
		Willims2	中品 03-6025	625	1305	1357	726	621
EI	F 值	2.40	2.47	11.02	8.43	43.07	0.53	11.66
	P 值	0.1723	0.1674	0.0160 *	0.0272 *	0.0006 *	0.4935	0.0142 *
I	F 值	0.00	0.06	1.21	9.86	0.63	2.33	0.69
	P 值	0.9750	0.8214	0.3137	0.0200 *	0.4568	0.1779	0.4392
E	F 值	0.64	4.97	1.59	0.31	3.99	1.21	4.84
	P 值	0.4526	0.0674 *	0.2541	0.5984	0.0926 *	0.3132	0.0700 *
σ	F 值	3.95	7.60	0.68	4.99	2.80	0.22	4.03
	P 值	0.0939	0.0330 *	0.4406	0.0669 *	0.1455	0.6575	0.0914 *

量和弯曲强度的 P 值多数小于 0.1, 表明在 0.1 的信度下, 各品种下段与中段间的各项指标差异显著; 而下段与中段的惯性矩的 P 值均大于 0.1, 表明在 0.1 的信度下, 各品种下段与中段间对于惯性矩指标差异不显著。

2.1.2 不同品种大豆秸秆弯曲特性方差分析

表 2 不同品种方差分析

Table 2 ANOV of different varieties

项目 Item	差异源 Source	自由度 df	均方和 Mean Square	F 值 F Value	P 值 Prob > F
EI ₁	组间 Inter-group	6	1498.64	4.89	0.0028
	组内 Intra-group	21	306.27		
	总和 Total	27			
EI ₂	组间 Inter-group	6	311.51	3.30	0.0189
	组内 Intra-group	21	94.30		
	总和 Total	27			
E ₁	组间 Inter-group	6	540813.64	2.01	0.1091
	组内 Intra-group	21	268610.34		
	总和 Total	27			
E ₂	组间 Inter-group	6	185496.33	4.81	0.0031
	组内 Intra-group	21	38531.12		
	总和 Total	27			
σ_1	组间 Inter-group	6	715.67	2.42	0.0616
	组内 Intra-group	21	295.61		
	总和 Total	27			
σ_2	组间 Inter-group	6	186.71	3.37	0.0173
	组内 Intra-group	21	55.34		
	总和 Total	27			

表 2 可知, 下段弯曲刚度、下段弯曲强度、中段弯曲刚度、中段弹性模量、中段弯曲强度的 P 值均小于 0.1, 表明不同品种间的各项指标差异显著; 而下段弹性模量的 P 值大于 0.1, 表明在 0.1 的信度下, 不同品种间的下段弹性模量指标差异不显著。

2.2 大豆抗倒伏性综合评价

如表 3 所示, 7 种大豆的抗倒伏能力由强到弱依次为 621、1357、625、726、Willims2、中品 03-6025、1305。

3 讨论

有研究表明, 作物的株高、近地节间长度、茎粗、单位茎节重量及茎秆的力学性能等因素与茎倒有关^[12], 而茎粗对植株的抗倒性能影响最大^[13]。关于茎秆弯曲抗倒力学测定方法, 贾志森和白永新^[14]通过人为将玉米植株拉弯, 测定茎秆抗拉弯的最大拉力, 得出茎粗对茎秆倒伏力的直接效应最大。董学会等^[15]在室内将玉米茎秆一端固定, 距固定端 6 cm 处加力测定茎秆弯曲折断最大力, 得出穗下部节间在折断最大力提高的同时, 茎节的粗度也增加的结论。Goodman 等^[16]用三点弯曲法比较被

固定的和自由生长的玉米茎秆, 发现前者基部节间直径明显变细, 但弯曲强度和抗弯刚度没有显著差异。结合以上茎秆弯曲力学特性测定方法, 本文将整株秸秆平均分为三段, 并对其下段和中段进行四点弯曲试验得出, 同一品种节间直径越大, 刚度、弹性模量和弯曲强度越高, 但不同类型品种间有一定差异, 如中品 03-6025 节间平均直径较粗, 惯性矩较高, 而茎秆弹性模量和弯曲强度最低; 而 621 节间平均直径较细, 惯性矩较低, 但茎秆弹性模量和最大抗弯应力却较高。这可能与茎秆中干物质的积累和分配、茎秆的结构、紧实度以及机械强度不一致有关, 还有待进一步深入研究。本文结合秸秆的弯曲特性对大豆抗倒伏能力加以综合评价, 其结果能够直接反应出品种间抗倒伏能力的优劣, 为进一步选育抗倒伏品种提供了参考依据。

表3 抗倒伏评价结果

Table 3 Evaluation results of lodging resistance

序号 No.	品种 Varieties	根部抗倒伏评价 Evaluation of root lodging resistance			茎部抗倒伏评价 Evaluation of stem lodging resistance			综合评价 Comprehensive evaluation		
		评价指标 Evaluation indexes	评价指标 权重 Weight of evaluation indexes	各评价指标 得分 Scores of evaluation indexes	评价指标 Evaluation indexes	评价指标 权重 Weight of evaluation indexes	各评价指标 得分 Scores of evaluation indexes			
1	621	El ₁	1/2	33.5	El ₂	1/3	27.7	158.1		
		σ ₁	1/2	41.5	E ₂	1/3	27.7			
2	1357	El ₁	1/2	50.0	σ ₂	1/3	27.7			
		σ ₁	1/2	33.5	El ₂	1/3	16.7			
3	625	El ₁	1/2	41.5	E ₂	1/3	16.7		128.0	
		σ ₁	1/2	25.0	σ ₂	1/3	11.0			
4	726	El ₁	1/2	8.5	El ₂	1/3	11.0			
		σ ₁	1/2	16.5	E ₂	1/3	11.0			
5	Willims2	El ₁	1/2	0.0	σ ₂	1/3	22.3	110.8		
		σ ₁	1/2	50.0	El ₂	1/3	16.7			
6	中品 03-6025	El ₁	1/2	25.0	E ₂	1/3	33.3		97.3	
		σ ₁	1/2	8.5	σ ₂	1/3	16.7			
7	1305	El ₁	1/2	16.5	El ₂	1/3	5.7			83.3
		σ ₁	1/2	0.0	E ₂	1/3	0.0			
					σ ₂	1/3	33.3	78.2		
					El ₂	1/3	33.3			
					E ₂	1/3	5.7		44.5	
					σ ₂	1/3	0.0			

4 结论

7种大豆秸秆下段弯曲刚度为10.2~59.79 kN·mm²,下段弯曲强度为28.61~61.43 MPa,中段弯曲刚度为5.57~27.29 kN·mm²,中段弹性模量为152.34~790.58 MPa,中段弯曲强度为12.73~29.87 MPa。抗倒伏能力由强到弱依次为621、1357、625、726、Willims2、中品03-6025、1305。

同一品种节间直径越大,刚度、弹性模量和弯曲强度越高,但不同类型品种间有一定差异,因此,不能简单地以秸秆的直径大小来判断大豆的抗倒伏能力,而应结合秸秆的力学特性加以综合评价。

参考文献

[1] 周蓉,沙爱华,张晓娟,等.大豆种质的倒伏性调查及其相关农艺性状分析[J].大豆科学,2007,26(4):484-489. (Zhou R, Sha A H, Zhang X J, et al. Analysis of lodging and some related

agronomic characters in soybean[J]. Soybean Science, 2007, 26(4):484-489.)

- [2] 周蓉,王贤智,张晓娟,等.大豆种质倒伏抗性评价方法研究[J].大豆科学,2007,26(1):41-44. (Zhou R, Wang X Z, Zhang X J, et al. Evaluation method of lodging resistance in soybean germplasm[J]. Soybean Science, 2007, 26(1):41-44.)
- [3] 周蓉,周新安.大豆倒伏性及其相关性状的QTL分析[J].作物学报,2009,35(1):57-65. (Zhou R, Zhou X A. QTL analysis of lodging and related traits in soybean[J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(1):57-65.)
- [4] Menchey E K, Aycock Jr M K. Anther-derived dihaploids for lodging improvement in tobacco[J]. Crop Science, 1998, 38:698-701.
- [5] 马均,马文波,田彦华,等.重穗型水稻植株抗倒伏能力的研究[J].作物学报,2004,30(2):143-148. (Ma J, Ma W B, Tian Y H, et al. The culm lodging resistance of heavy panicle type of rice[J]. Acta Agronomica Sinica, 2004, 30(2):143-148.)
- [6] 王滢,杜建林.大麦根倒伏抗性评价方法及其倒伏系数的通径分析[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.)

(下转第906页)

参考文献

- [1] 赵可夫,李法曾. 中国盐生植物[M]. 北京:科学出版社,1999. (Zhao K F, Li F Z. China halophyte [M]. Beijing: Science Press,1999.)
- [2] 蔡一荣,李望丰,刘立侠,等. 大豆品质改良的基因工程育种概况[J]. 大豆科学,2006,25(1):62-66. (Cai Y R, Li W F, Liu L X, et al. Genetic engineering on improving soybean quality traits in breeding[J]. Soybean Science,2006,25(1):62-66.)
- [3] 江香梅,黄敏仁,王明麻. 植物抗盐碱、耐干旱基因工程研究进展[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2006,25(5):57-61. (Jiang X M, Huang M R, Wang M X. A review on salt and drought resistance gene engineering in plants[J]. Journal of Nanjing Forestry University(Natural Sciences Edition),2006,25(5):57-61.)
- [4] 化焯,才华,朱延明,等. 植物耐盐基因工程研究进展[J]. 东北农业大学学报,2010,41(10):150-156. (Hua Y, Cai H, Zhu Y M. Research progress on plant salt stress tolerance genetic engineering[J]. Journal of Northeast Agricultural University,2010,41(10):150-156.)
- [5] 周延清,王娜,苑保军,等. 大豆遗传转化研究进展[J]. 武汉植物学研究,2004,22(2):163-170. (Zhou Y Q, Wang N, Yuan B J, et al. Current review on genetic transformation of soybean[J]. Journal of Wuhan Botanical Research,2004,22(2):163-170.)
- [6] 张家榕,李贵全. 大豆农艺性状与抗旱性研究[J]. 山西农业大学学报,2006,26(2):143-145. (Zhang J R, Li G Q. Studies on agricultural property and drought resistance of soybean[J]. Journal of Shanxi Agricultural University,2006,26(2):143-145.)
- [7] Geisler M, Erangne N, Gomès E, et al. The ACA4 gene of *Arabidopsis* encodes a vacuolar membrane calcium pump that improves salt tolerance in yeast[J]. Plant Physiology,2000,124(4):1814-27.
- [8] Qudeimat E, Faltusz A M C, Wheeler G, et al. A P1B-type Ca^{2+} -ATPase is essential for stress adaptation in *Physcomitrella patens* [J]. PNAS,2008,105(49):19555-19560.
- [9] 武维华. 植物生理学[M]. 北京:科学出版社,2003. (Wu W H. Plant physiology[M]. Beijing: Science Press,2003)
- [10] 范玲玲,陈刚,戴绍军,等. $NaHCO_3$ 胁迫下星星草根中 Ca^{2+} 与 Ca^{2+} -ATPase 的超微细胞化学定位[J]. 植物学报,2010,45(3):337-344. (Fan L L, Chen G, Dai S J, et al. Ultracytochemical Localization of Ca^{2+} and Ca^{2+} -ATPase in the root of *Puccinellia tenuiflora* under $NaHCO_3$ stress[J]. Chinese Bulletin of Botany,2010,45(3):337-344.)
- (上接第902页)
- [7] 蒲定福,周俊儒,李邦发,等. 根倒伏小麦抗倒性评价方法研究[J]. 西北农业学报,2000,9(1):58-61. (Pu D F, Zhou J R, Li B F, et al. Evaluation method of root lodging resistance in wheat [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica,2000,9(1):58-61.)
- [8] 傅志强,黄璜,李小平. 水稻抗倒伏模型研究进展[J]. 作物研究,2009,23(1):60-62. (Fu Z Q, Huang H, Li X P. Research progress of model lodging resistance in rice [J]. Crop Research,2009,23(1):60-62.)
- [9] 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. (Tian B M, Yang G S. The performance of lodging and developing standard test for lodging resistance in crops [J]. Chinese Agronomical Bulletin,2005,21(7):111-114.)
- [10] 郭玉明,袁红梅,阴妍,等. 茎秆作物抗倒伏生物力学评价研究及关联分析[J]. 农业工程学报,2007,23(7):14-18. (Guo Y M, Yuan H M, Yin Y, et al. Biomechanical evaluation and grey relational analysis of lodging resistance of stalk crops [J]. Transactions of the CSAE,2007,23(7):14-18.)
- [11] 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. (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):653-661.)
- [12] 李永忠. 玉米根茎倒伏的调查研究[J]. 国外农学-玉米,1990(2):5-9. (Li Y Z. The survey of study on stem and root system of maize [J]. Agronomy Overseas-Maize,1990(2):5-9.)
- [13] 孙世贤,戴俊英,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. (Sun S X, Dai J Y, Gu W L. Effects of plant density on stalk lodging and yield in maize [J]. Journal of Shenyang Agricultural University,1989,20(4):413-416.)
- [14] 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. Identification of lodging resistance in inbred lines corn [J]. Crop Genetic Recourses,1992(3):30-32.)
- [15] 董学会,段留生,孟繁林,等. 30%已·乙水剂对玉米产量和茎秆质量的影响[J]. 玉米科学,2006,14(1):138-140,143. (Dong X H, Duan L S, Meng F L, et al. Effects of spraying 30% DTA-6 ethphon solution on yield and straw quality of maize [J]. Journal of Maize Science,2006,14(1):138-140,143.)
- [16] Goodman A M, Ennos A R. The responses of field-grown sunflower and maize to mechanical support [J]. Annual Botany,1997,79:703-711.