

玉米秸秆力学参数与抗倒伏性能关系研究^{*}

陈艳军¹ 吴科斌¹ 张俊雄¹ 农克俭¹ 李建生² 李伟¹

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100193)

【摘要】 玉米秸秆强度和弹性模量是影响玉米抗倒伏性能的重要因素。对5个玉米品种的秸秆进行了力学性能测试,表明不同品种的玉米秸秆强度及弹性模量存在明显的差异。探讨了玉米秸秆的弯曲强度和弹性模量的测定方法。设计了基于简支梁模型的玉米秸秆弯曲强度测定仪和基于悬臂梁模型的弹性模量测定仪,采用拉压力传感器、MCK-Y液晶显示控制仪等作为主要的电子元器件,辅以手动施力机构,实现了玉米秸秆弯曲强度和弹性模量的数字显示。利用设计的仪器对5个不同品种的玉米秸秆的弯曲强度和弹性模量进行了测定。结果表明:不同玉米品种的抗倒伏能力与其强度和弹性模量均呈正相关关系。

关键词: 玉米 秸秆 抗倒伏 力学特性 弯曲强度 弹性模量

中图分类号: S237; S313 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)06-0089-04

Relationship between Corn Lodging Resistance and Mechanical Parameters

Chen Yanjun¹ Wu Kebin¹ Zhang Junxiong¹ Nong Kejian¹ Li Jiansheng² Li Wei¹

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract

Corn stalk strength and elastic modulus are important influence factors in lodging resistance of corn. Through the mechanical experiments testing of the five varieties of corn stalk, it indicated that the stress and elastic modulus of different varieties of corn stalk strength were significantly different. The method of determining the bending strength and elastic modulus of the corn stalk was discussed. The corn stalk tester based on the simple beam model and the corn stalk elasticity tester based on the cantilever model were designed. The stretching pressure sensor, MCK-Y automatic display apparatus as the main part of electronic components, with force-loading mechanism by manual force realized digital display of bending strength and elastic modulus. The bending strength and elastic modulus of five different corn stalks were tested by using the two instruments. The comparison showed that the lodging resistance of different corn stalks was proportional to the bending strength and elastic modulus.

Key words Corn, Stalk, Lodging resistance, Mechanical parameters, Bending strength, Elastic modulus

引言

为确定表征玉米抗倒伏能力的参数,很多学者展开了相应的研究。高梦祥等通过对玉米秸秆的力学性能测定得出力学特性是其固有的特性,具有统计学规律。玉米秸秆所固有的力学特性与玉米的抗倒伏能力密切相关^[1]。Martin等通过对玉米茎秆强

度的轮回选择选育出了抗倒伏强的玉米品种^[2]。袁志华等通过建立力学模型得出玉米茎秆抗倒伏与多种参数的关系式^[3-5]。勾玲等通过对玉米秸秆进行悬臂梁弯曲试验,认为玉米茎秆基部节间的弹性模量和最大抗弯应力能较好地反映玉米茎秆抗倒伏能力^[6]。郭玉明等通过弯折试验得出玉米茎秆的弹性模量和抗弯折强度对玉米抗倒伏能力影响最

收稿日期: 2010-07-07 修回日期: 2010-07-21

^{*} 国家玉米产业技术体系资助项目(nycyt-02)

作者简介: 陈艳军, 硕士生, 主要从事农业机器人和计算机视觉检测技术研究, E-mail: 522068343@163.com

大^[7]。杨洪昌等利用性状相关、通径分析后将重心高度和茎秆机械强度等参数作为表征甜高粱的倒伏系数^[8]。

本文利用电子万能试验机对不同品种玉米秸秆的强度和弹性模量进行测定,并以简支梁和悬臂梁模型作为理论依据,设计玉米秸秆弯曲强度测试仪和弹性模量测试仪,利用这两个仪器对不同的玉米品种进行相关试验。

1 玉米秸秆抗压强度和弹性模量测定

为探索不同品种玉米秸秆之间的参数差异以进一步明确表征其抗倒伏能力的参数,以中国农业大学上庄实验站玉米育种试验基地的5个玉米品种的秸秆样本为对象进行了参数测定。测定时将不同品种的玉米秸秆取根上第二节一定长度制作成测定样本,利用电子万能试验机测定不同品种样本的弹性模量和截面方向上的抗压强度。测定结果如表1所示。由表1可知,不同品种的玉米秸秆的强度和弹性模量存在明显的差异。

表1 玉米秸秆参数测定表

Tab.1 Measurement results of corn stalk

品种名称	秸秆直径 /mm	长度 /mm	最大压力 /N	弹性模量 /Pa	抗压强度 /MPa
吉853	17.00	62.00	1 174.29	92.03	5.17
840	15.00	61.50	886.00	127.83	5.01
昌-72	18.00	53.00	1 410.00	127.40	5.54
127	16.00	58.00	2 501.43	544.79	12.44
竖秆 BSSS	23.00	69.00	2 035.72	212.98	4.90

2 测定仪工作原理

2.1 弯曲强度测定原理

将指定部位的玉米秸秆制作成长度为 l_1 的测定样本,将其截面两端分别置于两个V型块上。在距其中一端距离为 a 的位置施加给玉米秸秆一个竖直向下的力 F_1 ,构成简支梁,如图1a所示。

所测玉米秸秆的弯曲强度为^[9]

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_z} = \frac{F_A a}{\frac{\pi d^3}{32}} = \frac{32F_1(l_1 - a)a}{\pi l_1 d^3} \quad (1)$$

式中 M_{\max} ——最大弯矩, N·m

W_z ——截面系数, m^3

F_A ——支撑点A对秸秆的支持力, N

F_1 ——竖直向下压力, N

l_1 ——支撑点A、B之间的距离, m

a ——施力点距离支撑点A的距离, m

d ——玉米秸秆直径, m

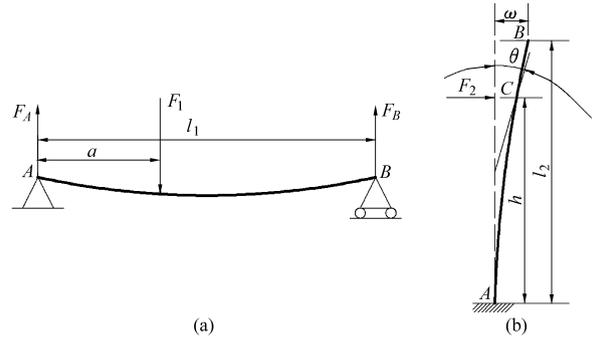


图1 玉米秸秆力学性质测定原理图

Fig.1 Schematic diagram of determining corn stalk parameters

(a) 弯曲强度 (b) 弹性模量

为减少测量过程中变量的个数以实现操作的简便,对不同品种玉米进行测定时,测定样本长度 l_1 以及施力点距秸秆截面一端的距离 a 固定,即 l_1 、 a 均为已知常量,力 F_1 和直径 d 为未知变量。测定时预先设定玉米秸秆的直径为 d' ,拉压力传感器力 F_1 的信号经显示仪处理后输出相应的弯曲强度 σ' ,利用游标卡尺测得玉米秸秆的实际直径 d ,即可得出玉米秸秆弯曲强度 $\sigma = \sigma'(d'/d)^3$ 。

2.2 弹性模量测定原理

根据玉米在田间时根部固定、茎秆悬空这一生长特性,给玉米秸秆离地面高度为 h 的部位施加一水平推力 F_2 ,使得玉米秸秆在水平方向上移动距离为 ω ,构成悬臂梁模型,如图1b所示。悬臂梁的挠曲线方程为^[9]

$$\omega = -F_2 h^3 / (3EI) \quad (2)$$

从而得出弹性模量为

$$E = -\frac{F_2 h^3}{3I\omega} = -\frac{32h^3 F_2}{3\pi\omega d^4} \quad (3)$$

式中 E ——弹性模量 I ——惯性矩, $kg \cdot m^2$

ω ——水平移动距离, m

F_2 ——水平推力, N

h ——水平推力作用点离地面高度, m

同理,为使得操作更加简便,在针对不同品种的玉米进行测定时,玉米秸秆受力点离地面高度 h 以及水平方向移动距离 ω 固定,即式中 ω 、 h 均为已知常量,力 F_2 和直径 d 为未知量。测定时预先设定玉米秸秆的直径为 d' ,拉压力传感器力 F_2 的信号经显示仪处理后输出相应弹性模量值 E' ,利用游标卡尺测得玉米秸秆的实际直径 d ,即可得出玉米秸秆弹性模量 $E = E'(d'/d)^4$ 。

3 测定仪整体结构及元器件选择

3.1 弯曲强度测定仪

根据确定原理,综合考虑机械零部件的加工工艺,以及仪器野外使用的工作环境等因素,设计了一

种基于简支梁模型、手动操作的玉米秸秆强度测定仪,整体结构如图2a所示。

玉米秸秆强度测定仪主要由施力机构和定位机构组成。定位机构由两个V型块构成,用于放置待测的玉米秸秆。施力机构主要由手柄、推杆、传感器、压头构成。仪器整体外形尺寸(长×宽×高)为:220 mm×150 mm×400 mm,质量约为3.5 kg,直流供电,满足野外工作要求。

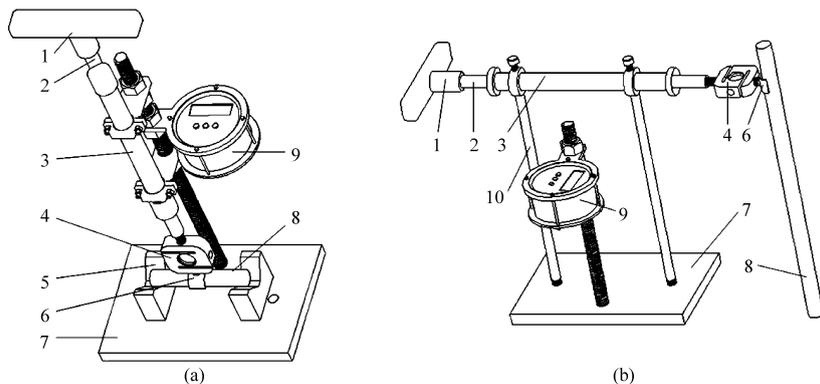


图2 玉米秸秆测定仪结构简图

Fig.2 Structure diagram of corn stalk tester

(a) 弯曲强度测定仪 (b) 弹性模量测定仪

1.手柄 2.推杆 3.外筒 4.拉压力传感器 5.V型块 6.压头 7.底座 8.秸秆 9.MCK-Y型液晶显示控制仪 10.支撑环

3.2 弹性模量测定仪

设计了一种基于悬臂梁模型的玉米秸秆弹性模量测定仪。整体结构如图2b所示,由施力机构和支撑环等组成。施力机构与弯曲强度测定仪的施力机构相同。仪器外形尺寸(长×宽×高)为:350 mm×150 mm×400 mm,质量约为2.5 kg。

弹性模量测试仪操作过程为:将仪器置于平地,使得测定仪的压头弧面与长在田地间的待测玉米秸秆表面相切。待仪器清零后,操作者双手握住手柄水平向前平推使得秸秆在水平方向上移动40 mm(靠仪器的限位结构保证)。在此过程中,液晶显示控制仪将自动显示压缩力峰值和相应的弹性模量 E' ,待测出秸秆实际的直径后,即可得出玉米秸秆弹性模量 E 。

3.3 传感器的选择

根据测定原理,在测定过程中需拾取秸秆所受压缩力信号。根据多次试验结果,并考虑测定范围和测定精度等因素,选用量程为300 N的MCL-S0系列S式拉压力传感器。

3.4 显示仪表的选择

传感器拾取力的信号之后,需将力的模拟信号转换为数字信号进行显示。考虑实际需要选用MCK-Y系列液晶显示控制仪。该仪表集成了数据采集模块、存储模块、LCD、串口通讯模块和主控制模块等于一体,直流供电,可接收模拟信号,能够很

仪器操作过程为:取长度约为150 mm玉米秸秆对称置于V型座上,使得压头弧面(压头位于两个V型座的正中间)与玉米秸秆表面相切。将液晶显示控制仪清零后,操作者双手握住手柄竖直向下推动推杆挤压玉米秸秆直至秸秆发生不可恢复性损坏。液晶显示控制仪将自动显示此过程的压缩力峰值和相应的弯曲强度 σ' ,待测出秸秆实际的直径后,即可得出玉米秸秆弯曲强度 σ 。

好地实现与MCL-S0系列S式拉压力传感器配套测量,可实现对力的实时显示和峰值显示。经过设计改造后,该仪表可存储数据100组,满足离线分析与研究需求。

4 试验与分析

利用设计的玉米秸秆弯曲强度测定仪和弹性模量测定仪,对成熟期的5个玉米品种秸秆进行了测定。所测玉米为中国农业大学上庄实验站种植,传统种植模式,水肥条件等一般。测定数据包括不同品种玉米秸秆的弯曲强度、弹性模量以及直径等。对不同品种的玉米秸秆,测定5~10株相应参数后取平均值,以减少不同品种玉米的生长种植条件等略微不同所引起的误差。

用弹性模量测定仪测量数株同一品种的玉米秸秆的弹性模量,再将所测的几株玉米秸秆相同部位(如穗下第二节)切成150 mm的测定样本,置于弯曲强度测定仪的V型块上,测出其弯曲强度,测定结果如表2所示。其中,玉米抗倒伏性能是国家玉米改良中心在同等种植条件下,对成熟期各个品种的玉米倒伏株数占种植总株数的比例进行统计,并综合多年玉米育种经验得出。

由表2可知,对于不同玉米品种的秸秆,当其弯曲强度从大到小递减时,其抗倒伏性能也相应的由

表2 不同玉米品种参数值

Tab.2 Parameters of different maize varieties

玉米品种	弯曲强度/MPa	弹性模量/Pa	抗倒伏性能
H127R	9.9	1458.7	优
齐单6	7.6	791.0	良
辽508	6.2	818.8	中
天泰33	6.1	978.2	良
吉853	3.4	769.9	差

优逐渐递减至差;同时,当玉米秸秆的弹性模量由大到小递减时,其抗倒伏性能也相应的由强到弱。由此可得出:玉米秸秆的抗倒伏性能与其弯曲强度近似呈正相关关系,与其弹性模量也近似呈正相关关系。

5 结论

(1)利用电子万能试验机测定5个不同抗倒伏性能的玉米秸秆抗压强度和弹性模量,得出不同品种玉米秸秆抗压强度和弹性模量存在明显差异。

(2)设计了基于简支梁和悬臂梁模型的玉米秸秆弯曲强度测定仪和弹性模量测定仪,达到了适合野外工作、便于携带等要求,实现了压力与相应参数的同步瞬时显示和峰值显示,实现了测定数据的自动存储,便于数据离线分析和研究。

(3)利用测定仪,对5个不同品种的玉米秸秆进行了测定并与其抗倒伏性能进行关联性分析。试验结果表明,不同玉米品种的弯曲强度和弹性模量与秸秆抗倒伏性能均呈正相关关系。

参 考 文 献

- 高梦祥,郭康权,杨中平,等. 玉米秸秆的力学特性测试研究[J]. 农业机械学报,2003,34(4):47~49.
Gao Mengxiang, Guo Kangquan, Yang Zhongping, et al. Study on mechanical properties of cornstalk[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2003,34(4):47~49. (in Chinese)
- 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.
- 袁志华,李云东,陈合顺,等. 玉米茎秆的力学模型及抗倒伏分析[J]. 玉米科学,2002,10(3):74~75.
Yuan Zhihua, Li Yundong, Chen Heshun, et al. Dynamic model and lodging resistance analysis of maize stem[J]. Journal of Maize Sciences,2002,10(3):74~75. (in Chinese)
- 赵安庆,袁志华. 玉米茎秆抗倒伏的力学机制研究[J]. 生物数学学报,2003,18(3):311~313.
Zhao Qing'an, Yuan Zhihua. Dynamic studies on maize stem lodger resistance[J]. Journal of Biomathematics, 2003,18(3):311~313. (in Chinese)
- 袁志华,冯宝萍,赵安庆,等. 作物茎秆抗倒伏的力学分析及综合评价探讨[J]. 农业工程学报,2002,18(6):30~31.
Yuan Zhihua, Feng Baoping, Zhao Anqing, et al. Dynamic analysis and comprehensive evaluation of crop-stem lodging resistance[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2002,18(6):30~31. (in Chinese)
- 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 Ling, Zhao Ming, Huang Jianjun, et al. Bending mechanical properties of stalk and lodging-resistance of maize[J]. Acta Agronomica Sinica,2008,34(4):653~661. (in Chinese)
- 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 Yuming, Yuan Hongmei, Yin Yan, et al. Biomechanical evaluation and grey relational analysis of lodging resistance of stalk crops[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007,23(7):14~18. (in Chinese)
- 杨洪昌,范源洪,吴正焜,等. 甜高粱抗倒伏性状评价及其倒伏系数初探[J]. 作物杂志,2008(3):54~56.
Yang Hongchang, Fan Yuanhong, Wu Zhengkun, et al. Preliminary study of evaluation of lodging resistance and coefficient on sweet sorghum[J]. Crops,2008(3):54~56. (in Chinese)
- 刘鸿文. 材料力学[M]. 北京:高等教育出版社,2004.

(上接第102页)

- 伦冠德. 拖拉机液压悬挂装置的建模及仿真分析[J]. 机床与液压,2007,35(6):539~541.
Lun Guande. Modeling and simulation analysis to the tractor hydraulic hitch system[J]. Machine Tool & Hydraulics,2007,35(6):539~541. (in Chinese)
- 王国强,张进平,马若丁. 虚拟样机技术及其在ADAMS上的实践[M]. 西安:西北工业大学出版社,2002:108~131.
- Li S P, Meng Y M. Research on the working mechanism and virtual design for a brush shape cleaning element of a sugarcane harvester [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002,129(1~3):418~422.
- 中国农机化科学研究院. 农业机械设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,1990:50~150.