

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.017

小麦茎秆力学特性测试系统*

吕宗迎 侯加林 郎需强 王凤杰 蒋 韬

(山东农业大学机械与电子工程学院, 泰安 271018)

【摘要】 设计了一种测定小麦茎秆力学特性的试验系统,该测试系统主要由控制部分、执行机构、信息采集模块和显示模块4部分组成,运用比较精确的数据采集系统技术,可对不同性状的小麦进行分类试验,试验操作简单易懂。试验结果表明,该仪器稳定可靠,数据采集误差不超过0.1%,满足系统检测要求,可以对小麦茎秆的力学和生物学特性进行试验。

关键词: 小麦茎秆 力学特性 试验装置

中图分类号: S183 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)S0-0084-06

Development of Measuring System for Mechanical Properties Test of Wheat Stalk

Lü Zongying Hou Jialin Lang Xuqiang Wang Fengjie Jiang Tao

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

Abstract

With the aim to study the mechanical properties of wheat stalks fracture, a kind of control system for the mechanics testing of wheat stalks was developed. The test equipment mainly included control section, executive body, information collection and display module, among which the quite accurate data acquisition system was very simple to operate. The experiment results show that the system is stable and reliable, with the deviation of collection data lower than 0.1%, which can fulfill the system requirements and test the wheat stalks feature in mechanics and physics. It provides an effective and reliable method and tool for material mechanics.

Key words Wheat stalk, Mechanical properties, Experimental device

引言

小麦的茎秆力学特性是影响小麦倒伏的重要因素之一,是选育小麦高产及抗倒伏优良品种的主要参考依据。小麦茎秆力学性能的研究,已经成为农作物物料力学领域的一个重要分支。其研究途径和方法也大大促进了农业机械的研究、设计和改进。前期有学者对小麦的茎秆力学作了一些研究^[1],王勇等使用茎秆吊砝码的方法对抗折力进行研究,误差较大^[2]。后期学者普遍使用万能试验机进行拉

伸和剪切等试验,精度大大提高^[3]。张晋国等使用自制秸秆切碎试验台对小麦茎秆力学特性进行的研究,以及吴子岳等借助自制茎秆切割试验台的茎秆力学研究^[4],都对小麦的优良育种,农机具的研制,秸秆的综合利用提供了理论上的支持。

然而,小麦的茎秆力隶属农业物料力学范畴^[5],具有茎秆细小(茎秆力小)、材质不均、易变形、不规则的特性,不容易采集合适的样品进行分析,所以茎秆力学特性的测定较难实现。目前所使用的设备和方法并不完善,一是设备仪器的精度有

收稿日期:2012-07-07 修回日期:2012-08-06

*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B04-03)

作者简介:吕宗迎,硕士生,主要从事检测技术与自动化装置研究,E-mail:lvzhyh@126.com

通讯作者:侯加林,教授,博士生导师,主要从事电子信息技术在农业中的应用研究,E-mail:jlhou@sdau.edu.cn

待提高,另一方面在实际生产过程中,由于环境复杂多变等,取得试验测试参数比较困难。为了获得较为准确的数据参数,研究小麦的茎秆力学特性,本文设计一种小麦茎秆力学特性测试系统,研究小麦茎秆在生长过程中表现出的力学特性,尤其在小麦灌浆时期茎秆表现出的易倒伏特性,并对试验数据进行分析。

1 总体构成

如图1所示,系统分为控制系统、执行机构、数据采集和显示模块4部分,主要由主机架、步进电动机、平行载物台、传感器、导程丝杠、控制和数据采集器、工作探头、限位开关等部件构成。

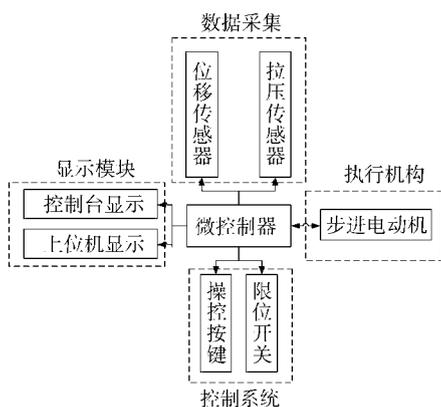


图1 小麦茎秆力学测试系统结构简图

Fig.1 Schematic of wheat stalk mechanics of system

2 系统设计

2.1 执行机构

该执行机构的主要作用是提供给小麦茎秆一定的运动速度,与传感器进行拉压或剪切,要求运行平稳、无振动,能实现连续调节,其效果直接影响传感器的数据采集。执行机构主体包括步进电动机、平行载物台、导程丝杠、百分尺、限位开关等,如图2所示。

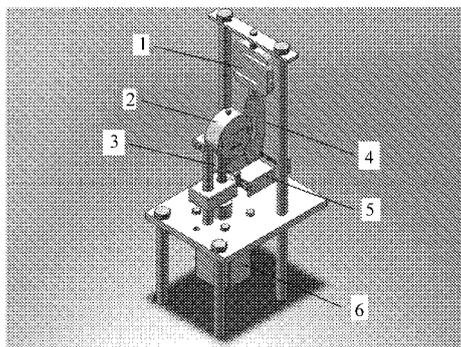


图2 执行机构主体结构简图

Fig.2 Schematic of main mechanical structure

1. 传感器 2. 百分尺 3. 导程丝杠 4. 探头 5. 载物台 6. 步进电动机

2.1.1 传动部分设计

传动部分设计采用导程丝杠配合丝杠螺母带动载物台运动工作。其具体结构如图3所示。

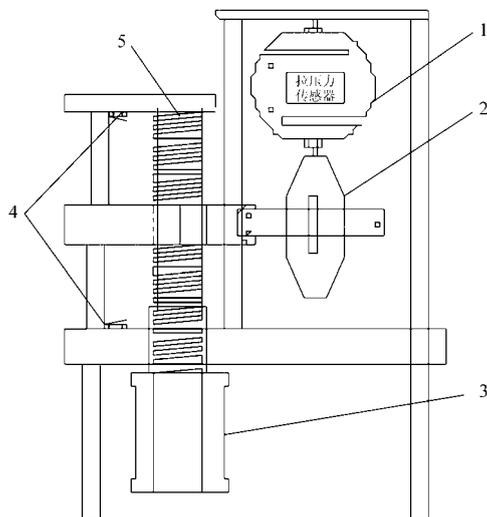


图3 主机架剖面图

Fig.3 Mechanical profile map of frame

1. 传感器 2. 探头 3. 步进电动机 4. 限位开关 5. 导程丝杠

设导程丝杠间距 L , 步进电动机的步进角为 α , 电动机的控制频率为 P , 试验速度设为 V , 行程位移设置为 S , 平行载物台的线速度计算公式可表示为

$$V = \frac{S}{T}$$

$$T = \frac{360S}{L\alpha P}$$

其中

式中 T ——载物台试验所需时间

2.1.2 载物台设计

载物台设计如图4所示。载物台的功能是将小麦茎秆以一定的速度送至传感器探头,与探头接触进行力学试验。考虑到小麦的茎秆长度和运动速度,载物台设计为水平式。载物台两侧水平支架的宽度设计为可伸缩式,以适应小麦不同长短茎秆节间的试验。按照小麦茎秆的长度设定载物台宽度以及所需运动速度后,控制电动机传动机构进行各种检测试验。为了限制载物台不超出工作位移量程,在载物台最大和最小量程处安置行程开关,确保试验安全性。

2.2 探头和传感器选定

传感器和探头是硬件的核心,直接影响试验的有关参数。试验采用如图5所示的探头。

根据农作物物料力学知识可知,生长期小麦茎秆力取值范围为 $0 \sim 50 \text{ N}$, 所以系统选用 YHLY-YS 型应变式拉压力传感器,额定载荷为 50 N , 综合精度 0.02% , 灵敏度 0.2% , 具有灵敏度好、精度高的优点,传感器外部由合金钢构成,形变引起的应变可

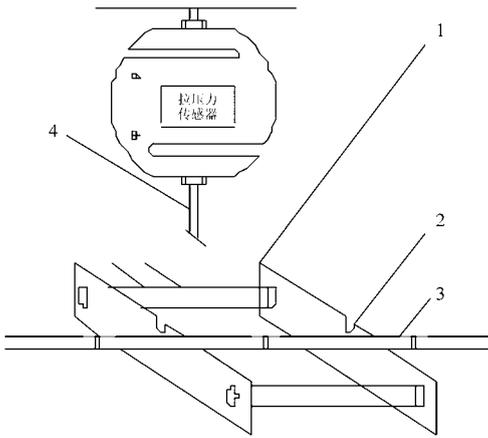


图4 载物台结构简图

Fig.4 Structure map of loading platform

1. 支持架 2. 凹槽 3. 小麦茎秆 4. 探头

以很好地保持稳定,各量程传感器大小可自由更换,以满足不同粗细的小麦茎秆动力学要求。其内部结构由电阻应变片和惠斯通电桥组成。结构如图6所示。

产生的拉压力表示为

$$F = \Delta U_{BC} K$$

式中 K ——转换系数

ΔU_{BC} ——应变压差

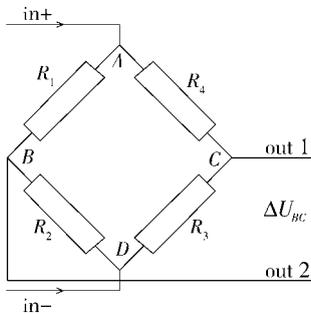


图6 应变式传感器电路原理图

Fig.6 Huygens bridge of strain gauge

2.3 控制系统设计

控制系统整体设计为控制箱,控制面板如图7,主要参数及误差测试如表1、2所示。系统包含外接电源接口、步进电动机接口、信号接口、上位机通讯接口(串口)、行程控制接口、控制开关接口等^[6-8]。主控制器以STM32F103单片机为控制核心,外接步进电动机控制器驱动、步进电动机驱动、AD采集模块以及控制器、液晶显示。

试验时,首先选择所要进行的力学试验类型,比如拉、压(剪切)、针刺等。打开电源开关,系统上电,待传感器探头和小麦茎秆放置到位后,首先按复

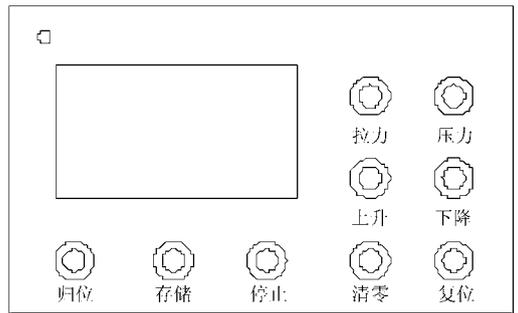


图7 控制面板界面

Fig.7 Interface of measurement and control system

位键,进行控制器和单片机的复位,然后再按下清零键,让系统自动调零后即可操作压力或拉力按键进行试验,待小麦茎秆试验数据采集完毕,按停止键停止试验,按保存键保存数据,也可以配合上位机对图表等数据进行保存。

试验需要对小麦茎秆的不同运动状态进行测试,因此需要设定小麦茎秆的运动速度和茎秆尺寸等参数,速度控制由步进电动机转速进行设置。

表1 控制系统主要技术参数

Tab.1 Main technical parameters of control system

参数	数值
尺寸(长×宽×高)/mm×mm×mm	375×185×135
运动速度/mm·s ⁻¹	0~2.5
测试误差/%	0.1
步进电动机功率/kW	1.5
拉压传感器量程/N	50
位移传感器量程/mm	12.7

表2 误差参数测试

Tab.2 Deviation parameters of control system

砝码质量/kg	测控系统测量值/kg	相对误差/%
0.500	0.496	0.08
1.000	1.003	0.06
1.500	1.505	1.00
2.000	2.004	0.08
2.500	2.502	0.04

2.4 显示模块

通过控制器连接上位机,计算机将采集到的数据和曲线直观实时显示出来,数据可实时储存,以方便数据的处理和分析,曲线比较清晰地反映了小麦茎秆的运动过程和受力状态,上位机界面如图8所示。另外设计了控制器面板显示,使用TFT液晶与上位机同步显示。

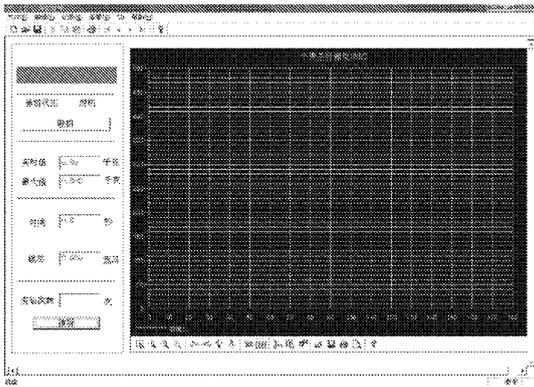


图8 上位机界面

Fig. 8 Interface of position machine

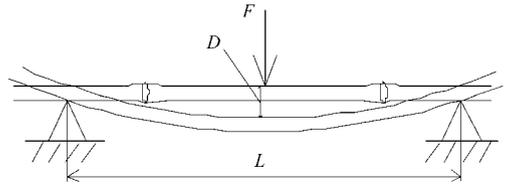


图9 试验原理简图

Fig. 9 Structure schematic of the test principle

3 试验与分析

为准确测得所需的有关参数,试验采用小麦两端自由支撑,第三点触压的方法。试验时,传感器和探头垂直固定在机架上,探头触碰上移栽物台上放置的小麦茎秆,具体形式可以简化如图9所示。

在以往研究中发现,小麦茎秆弯折倒伏情况多发生在籽粒形成期,因此分别取小麦籽粒形成期的灌浆期(5月9日)、乳熟期(5月18日)、腊熟期(5月27日)和完熟期(6月6日)的小麦茎秆进行试验,每个时期各随机选取10株,利用设计的试验平台进行试验,试验材料选用山东农业大学小麦农场试验田的小麦山农1391、农6、济麦22和济麦20,取小麦茎秆基部第2节间5 cm。试验小麦茎秆在载物架两端支撑作用下,以2.5 mm/s的速度触碰传感器0.5 mm刀片探头^[9],进行灌浆期和乳熟期小麦茎秆强度测试,试验结果如图10a、10b所示。

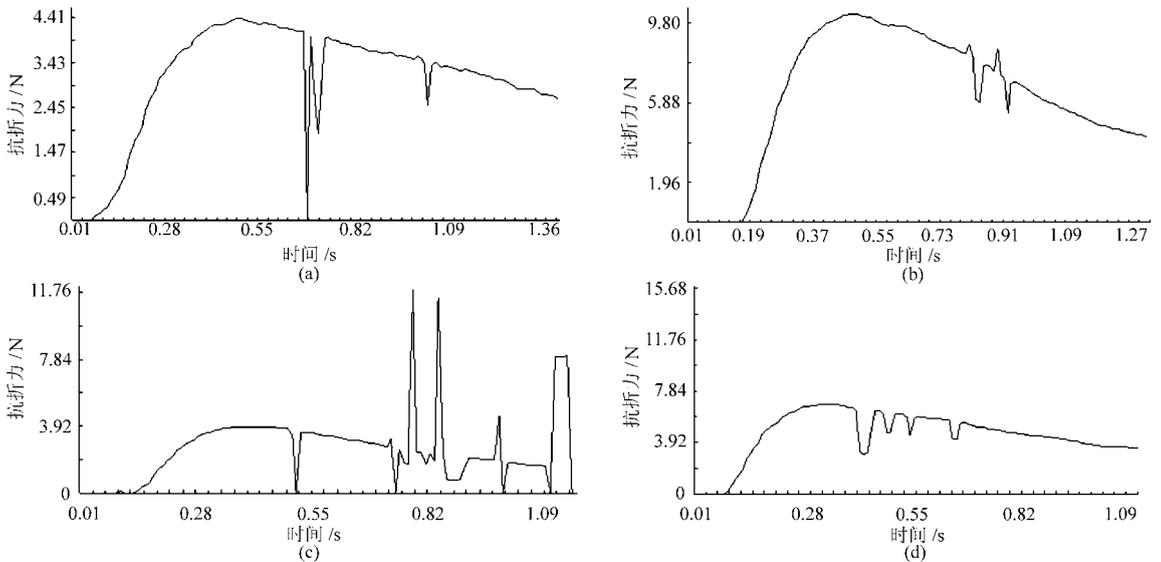


图10 小麦茎秆强度测试结果

Fig. 10 Test of wheat stalk strength

(a) 灌浆期 (b) 乳熟期 (c) 腊熟期 (d) 完熟期

相同条件下,对腊熟期和完熟期的小麦茎秆,以1.3 mm/s的速度进行茎秆强度测试试验^[9],试验结果如图10c、10d所示。

小麦茎秆属于一种非匀质的弹塑性体,与竹子有相似之处,从试验结果可以看出,当茎秆受到外力后,既含弹性变形,又有塑性变形。

试验结果显示,小麦茎秆在初始受到外力时,在短时间内呈现出弹性形变的特征,乳熟期小麦的变化趋势(斜率)要比灌浆期的小麦更加明显。此外,对比前后两次试验受力速度,速度较快时茎秆受力产生的弹性形变呈现出更加显

著的特点。

小麦倒伏特性通常涉及到环境的诸多因素,比如品种、生长期、茎秆强度、含水率等,根据学者已有研究的有关资料^[2],引入小麦倒伏指数 δ 的概念,小麦的倒伏指数 δ 是指小麦植株重心高度 H 和地上部分鲜质量 M 的乘积与茎秆的弯折力强度 F 之比,即

$$\delta = \frac{HM}{F}$$

对试验得到的数据进行分析、处理,得到小麦抗折力与茎秆外部性状关系如表3所示。

表3 茎秆抗折力与茎秆外部性状的关系

Tab.3 Relationship of stalks fracture resistance and external traits

	山农 1391			农 6			济麦 22			济麦 20		
	鲜质量 /g	重心高 度/cm	抗折 力/N	鲜质量 /g	重心 高度/cm	抗折 力/N	鲜质量 /g	重心高 度/cm	抗折 力/N	鲜质量 /g	重心 高度/cm	抗折 力/N
灌浆期	10.70	35.3	21.401	8.81	37.8	5.510	8.88	39.6	6.707	7.24	45.2	5.625
乳熟期	12.53	46.0	4.832	5.33	46.5	5.657	10.48	45.0	6.149	11.44	43.0	7.001
蜡熟期	11.26	46.5	4.096	6.59	53.5	3.180	8.19	47.0	3.955	9.90	45.0	5.516
完熟期	10.53	50.5	3.609	4.77	50.5	4.160	7.83	43.5	5.452	8.17	42.0	2.800

通过表3可以看出,小麦的抗折力与植株鲜重没有必然的关系,山农1391植株鲜重突出,但没有显现出较强的抗折力;植株重心高度和抗折力呈现出一定相关性,表现为重心高度较小,抗折力较大的特点。

由已知的经验结论,倒伏指数越小,说明小麦的抗倒伏能力越强,反之相反。小麦的倒伏指数如表4所示。

表4 小麦倒伏指数

Tab.4 Wheat lodging index $\text{cm} \cdot \text{g}/\text{N}$

	山农1391	农 6	济麦 22	济麦 20
生长期				
灌浆期	17.60	60.40	52.40	58.20
乳熟期	119.3	43.80	76.60	70.20
蜡熟期	127.8	110.8	97.50	80.70
完熟期	147.3	57.90	62.50	122.5
平均值	130.2	68.00	72.00	82.90

从表4可以看出:①农6和济麦22、济麦20的倒伏指数比山农1391普遍要小,表现为小麦的抗倒伏性比较好。②农6和济麦22在蜡熟期最易发生

倒伏,倒伏指数达到最大值;山农1391和济麦20在完熟期倒伏指数达到最大,发生倒伏的可能性加大。③农6和济麦22的倒伏指数平均值较小,表现为较好的抗倒伏性。山农1391最易倒伏。

4 结论

(1) 设计的小麦茎秆力学特性测试系统可以准确可靠地完成小麦茎秆力学特性的连续测定,采集的数据精度误差不超过0.1%,小麦茎秆的运动速度以及茎秆长度均可以实现调节,并实时在上位机显示受力状况。

(2) 通过对小麦茎秆的试验可以看出,小麦茎秆在受到外部拉压力时呈现出弹性形变的特征,并随着受力速度和生长期的不同呈现不同的力学特性;小麦茎秆重心高度与茎秆的抗折力有一定相关性,呈现一定的反比关系。

(3) 小麦各生长期的倒伏性依品种不同主要集中在蜡熟期和完熟期,农6和济麦22的抗倒伏性相对较好。山农1391抗倒伏能力最差。

参 考 文 献

- 李红波,郭玉明. 小麦茎秆变刚度模型与临界载荷[J]. 农业机械学报, 2012, 43(2): 70~74.
Li Hongbo, Guo Yuming. Mechanical model with varying stiffness and critical grain load of wheat stalk[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(2): 70~74. (in Chinese)
- 王勇,李晴棋. 小麦品种抗倒性评价方法的研究[J]. 华北农学报, 1995, 10(3): 84~88.
Wang Yong, Li Qingqi. Evaluation method of stem lodging resistance in wheat[J]. Transactions of the Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 1995, 10(3): 84~88. (in Chinese)
- 赵湛,李耀明,徐立章. 超级稻单茎秆切割力学性能试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(10): 72~75.
Zhao Zhan, Li Yaoming, Xu Lizhang, et al. Experiment on cutting mechanical property of single super rice stalk[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery. 2010, 41(10): 72~75. (in Chinese)
- 吴子岳,高焕文,张晋国,等. 玉米秸秆切断速度和切断功耗的试验研究[J]. 农业机械学报, 2001, 32(2): 38~41.
Wu Ziyue, Gao Huanwen, Zhang Jinguo, et al. Study on cutting velocity and power requirement in a maize stalk chopping process[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(2): 38~41. (in Chinese)
- 王芬娥,黄高宝,郭维俊,等. 小麦茎秆力学性能与微观结构研究[J]. 农业机械学报, 2009, 40(5): 92~96.
Wang Fene, Huang Gaobao, Guo Weijun, et al. Mechanical properties and micro-structure of wheat stems[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(5): 92~96. (in Chinese)
- 王永虹,徐炜,郝立平. STM32系列 ARM Cortex-M3 微控制器原理与实践[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2008: 125~163.

- 7 陈福彬,伍毅,王铁流.基于STM32的人行通道智能控制与管理系统设计[J].自动化与仪表,2010,25(1):45~48.
Chen Fubin, Wu Yi, Wang Tielu. Design of intelligent control and management system of pedestrian access based on STM32 [J]. Automation and Instrumentation, 2010,25(1):45~48. (in Chinese)
- 8 龚建伟,熊光明. Visual C++/Turbo C 串口通信编程实践[M].北京:电子工业出版社,2007:15~32.
- 9 廖宜涛,廖庆喜,舒彩霞,等.基于ANSYS/LS-DYNA的芦竹切割-进给速度匹配研究[J].农业机械学报,2011,42(2):36~40.
Liao Yitao, Liao Qingxi, Shu Caixia, et al. Matching of cutting and feeding speed for reaping *Arundo donax* L. Based on ANSYS/LS-DYNA [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(2):36~40. (in Chinese)
- 10 刘庆庭,区颖刚,卿上乐,等.农作物茎秆的力学特性研究进展[J].农业机械学报,2007,38(7):172~176.
Liu Qingting, Qu Yinggang, Qing Shangle, et al. Study progress on mechanics properties of crop stalks[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2007,38(7):172~176. (in Chinese)
- 11 张慧,侯加林,郎需强,等.便携式农作物茎秆剪切力测试仪的设计与试验[J].农业工程学报,2011,27(5):131~135.
Zhang Hui, Hou Jialin, Lang Xuqiang, et al. Design and experiment on portable shear tester for crop stalks[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(5):131~135. (in Chinese)
- 12 唐忠,李耀明,徐立章,等.单茎秆切割试验台的设计与实验[J].农机化研究,2009(12):141~143.
Tang Zhong, Li Yaoming, Xu Lizhang, et al. The design and test of single stem cutting test-bed[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009(12):141~143. (in Chinese)
- 13 莫永生,蔡中全,杨亲琼,等.高大韧稻茎秆的抗折力研究[J].中国农学通报,2008,24(2):193~198.
Mo Yongsheng, Cai Zhongquan, Yang Qinqiong, et al. The breaking resistance of higher, thicker, and tougher rice[J]. China Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(2):193~198. (in Chinese)
- 14 吴杰,王吉奎,黄勇.直刃刀切割棉秆的动力学特性分析[J].石河子大学学报,2005,23(6):752~754.
Wu Jie, Wang Jikui, Huang Yong. Dynamic analysis on straight knife cutting cotton stalks [J]. Journal of Shihezi University, 2005, 23(6):752~754. (in Chinese)
- 15 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 CSAE, 2002,18(6):30~31 (in Chinese)
- 16 李耀明,秦同娣,陈进,等.玉米茎秆往复切割力学特性试验与分析[J].农业工程学报,2011,27(1):160~164.
Li Yaoming, Qin Tongdi, Chen Jin, et al. Experimental study and analysis on mechanical property of corn stalk reciprocating cutting [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1):160~164. (in Chinese)
- 17 陈霓,田晓军.双动刀往复式切割器驱动装置设计[J].农机化研究,2007(6):72~73.
Chen Ni, Tian Xiaojun. Drive mechanism for double knife cutterbar[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(6):72~73. (in Chinese)
- 18 孟海波,韩鲁佳,王继承.秸秆物料力学特性试验台及其测控系统的研制[J].农业工程学报,2005,21(5):77~79.
Meng Haibo, Han Lujia, Wang Jicheng. Development of the test-bed for testing the mechanical properties of straw materials [J]. Transactions of the CSAE,2005,21(5):77~79. (in Chinese)

(上接第58页)

- 4 刘文忠,赵满全,王文明.气吸式排种装置排种性能分析[J].农机化研究,2008(5):45~47.
Liu Wenzhong, Zhao Manquan, Wang Wenming. Analysis on the sowing performance of air-suction seed-metering device [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(5):45~47. (in Chinese)
- 5 GB/T 6973—2005 单粒(精密)播种机试验方法[S]. 2005.
- 6 李玉清,刘佳,周桂霞,等.基于SolidWorks的气吸排种器运动仿真设计[J].农机化研究,2010(6):28~30.
Li Yuqing, Liu Jia, Zhou Guixia, et al. Motion simulation design of suction seed metering device base on Solid Works[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010(6):28~30. (in Chinese)
- 7 袁志发,周静芋.试验设计与分析[M].北京:高等教育出版社,2003.
- 8 中国农业机械化科学研究院.农业机械设计手册[M].北京:中国农业科学技术出版社,2007.
- 9 张平,吴云洁,周锐,等. MATLAB 基础与应用简明教程[M].北京:北京航空航天大学出版社,2001.
- 10 孙靖民,梁迎春.机械优化设计[M].北京:机械工业出版社,2004.