

大豆秸秆力学特性的试验研究

张开飞^{1,2}, 李 赫^{1,2}, 何玉静², 王万章^{1,2}, 余泳昌²

(1. 河南粮食作物协同创新中心, 河南 郑州 450002; 2. 河南农业大学 机电工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要:通过研究大豆秸秆的力学性能,为大豆收获机、秸秆切割机、残膜回收机等机具的设计提供必要的基础参数数据。采集相同时节的豆秸秆,利用真空干燥箱测定豆秸秆含水率,在万能材料试验机上对大豆秸秆进行剪切、弯曲特性等试验研究,获得了在相同含水率下不同部位和不同加载速度的大豆秸秆的剪切和弯曲力学特性。结果表明:相同加载速度下,根部的剪切应力和弯曲应力比中部和顶部所需的力大;在不同加载速度下,加载速度越大,所需剪切力越小,弯曲力越大。试验所获得的数据,可用于大豆秸秆粉碎装置的设计与研发。

关键词:大豆秸秆;力学性质;剪切;弯曲

中图分类号:S-3 **文献标识码:**A **DOI:**10. 11861/j. issn. 1000-9841. 2016. 02. 0306

Experimental Study on Mechanical Properties of Soybean Straw

ZHANG Kai-fei^{1,2}, LI He^{1,2}, HE Yu-jing², WANG Wan-zhang^{1,2}, YU Yong-chang²

(1. Collaborative Innovation Center of Henan Grain Crops, Zhengzhou 450002, China; 2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The project aims to study the mechanical properties of soybean stalks for the design of comb soybean, soybean straw cutting, and plastic film recycling machines and provide the fundamental equipment and mold design data. Vacuum drying oven was to determine the moisture content of soybean stalks, and respectively by using universal material testing machine and test fixture of soybean straw was studied, the characteristics of shear bending, shear, under different test conditions of soybean stalks bending mechanical properties, effects were measured in different position and different loading speed under load - displacement and other parameters bending mechanical properties of shear in the soybean stalks. Under the same loading rate, the shear stress and bending stress of the root are greater than those of the middle and the top. Under different loading speed, the bigger load speed, the smaller shear force and the bigger bending force. The data obtained from the experiment could be used for the design and development of soybean straw crushing device.

Keywords: Soybean straw; Mechanical properties; Shear; Bending

大豆秸秆为实心茎,本身结构比较紧实。秸秆直接还田可以改善土壤的性状,有利于增收,但是秸秆还田会给第二年播种带来一定困难,因此在播种前宜用粉碎机将覆盖地表的秸秆切断^[1]。大豆秸秆切断的方式有滑切和砍切两种。砍切时刀刃既要克服表皮部位的剪切力,又要克服表皮下内部组织的剪切力。滑切时只要克服表皮接触部位的剪切力,就可切开表皮,从而一层层地切断秸秆。因此,对大豆秸秆力学特性进行研究,有助于适宜切断方式的选择,便于秸秆还田。但是目前研究者对大豆秸秆力学特性的研究并不全面^[2-4]。向松明等^[5]分析了大豆秸秆的成分与结构。赵春华等^[6]对豆类秸秆力学特性与其他禾牧草茎秆进行了比较。刘爽等^[7]研究了大豆秸秆的粉碎预处理工艺。黄振华等^[8]从含水率对大豆秸秆流体力学性能的影响进行了研究。还有一些研究者认为,大豆茎秆本身的材料特性和力学特性对作物倒伏会产生重要影响^[9-11]。本文通过微机控制电子万能材料试验

机测取大豆秸秆的剪切、弯曲力学特性参数,分别测量不同部位以及不同加载速度下的负荷—位移等参数对大豆秸秆的剪切、弯曲力学特性的影响^[12],旨在为大豆秸秆的粉碎以及再利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试样采集

试验材料于2015年9月12日取自商丘市双八镇试验区,大豆品种为商豆6号。试样选取要求没有虫害,平均株高为75 cm,成熟一致。从中随机选取株高及主茎均匀的大豆植株30~40株进行试验。用真空干燥箱对试样的含水率进行测定,测定的含水率为38%左右。试样选取以距地表200 mm取样作为底部试样,200~400 mm为中部试样,400~600 mm为顶部试样。重复测量试样剪切处直径5次,取其平均值作为其直径,计算其横截面积。试验采用RGT-010型微机控制电子万能材料试验机,如图1所示。

收稿日期:2015-09-20
基金项目:农业部公益性行业科研专项(201303011-4);河南省高等学校重点科研项目(15A210038);河南农业大学科技创新基金资助项目(KJCX2015A07);本科生拔尖人才创新创业训练项目(2014JDCX17)。
第一作者简介:张开飞(1978-),男,讲师,博士,主要从事农业装备与机器系统研究。E-mail:kaifeizhang@126.com。
通讯作者:余泳昌(1955-),男,教授,博导,主要从事农业装备与机器系统研究。E-mail:hnyych@163.com。

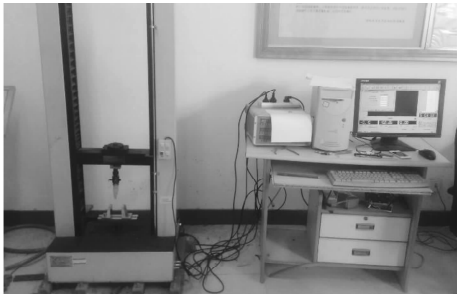


图1 RGT-010 型微机控制电子万能材料试验机
Fig. 1 RGT-010 type microcomputer control electronic universal material testing machine

1.2 秸秆剪切力学试验

试验一: 秸秆的选取部位不同, 加载速度相同 ($30\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$)。试验二: 秸秆选取部位相同, 加载速度不同 ($10, 30, 50\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$)。

1.3 秸秆弯曲力学试验

试验一: 不同部位, 相同加载速度 ($30\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$)。试验二: 相同部位 (中部), 不同加载速度 ($10, 30, 50\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$)。

2 结果与分析

2.1 不同部位, 相同加载速度下剪切力学特性

如图2所示为大豆秸秆相同加载速度不同部位载荷-位移曲线图, 从图2可以看出, 当加载速度为 $30\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ 时, 剪切力出现了峰值, 根部、中部和顶部的最大峰值分别为 $665.6, 569.3$ 和 381.2 N 。峰值说明刀片切入秸秆的位置已经超过半径, 此时秸秆已破坏, 因此这个剪切力就是破坏力。

在试验中, 底部所需的剪切力远大于中部和顶部, 其原因是一方面大豆秸秆底部比较粗壮, 直径大; 另一方面秸秆底部开始出现了木质化, 秸秆强度增大, 在剪切过程中大豆秸秆突然断裂。切应力在秸秆中部是显著降低的。

2.2 相同部位, 不同加载速度剪切力学特性

如图3所示为大豆秸秆相同部位, 不同加载速度载荷-位移曲线图。当加载速度为 10 和 $30\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ 时, 载荷近似相等, 而当加载速度为 $50\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ 时, 载荷较小 (198 N)。

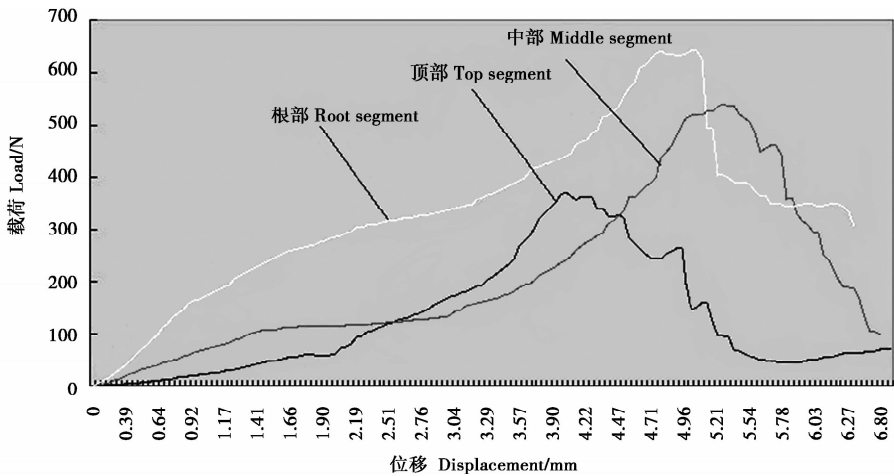


图2 大豆秸秆相同加载速度不同部位载荷-位移曲线图

Fig. 2 Load displacement curves of different parts of the same loading rate of soybean stalks

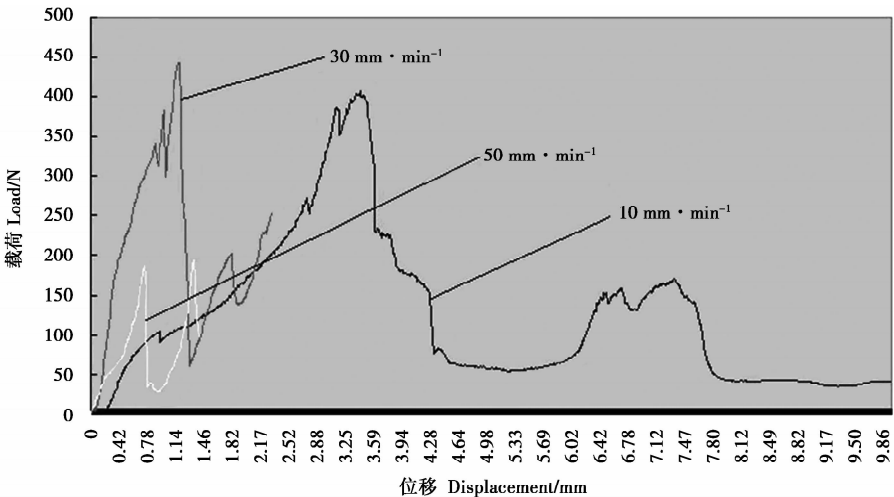


图3 大豆秸秆相同部位, 不同加载速度载荷-位移曲线图

Fig. 3 The same parts of soybean straw, the load displacement curves of different loading speeds

通过大豆剪切试验中对加载过程中力的变化的分析,可以看出同一品种相同部位在不同加载速率条件下,所受载荷随着加载速度的增加而减小。这是由于加载速度较大时,秸秆材料木质化较轻,从而使其最大剪切应力减小。

2.3 不同部位,相同加载速度下弯曲力学特性

如图4所示为大豆秸秆不同部位,相同加载速度载荷-位移曲线图。当加载速度为30 mm·min⁻¹时,根部、中部和顶部的最大载荷分别为19.6,14.8和17.1 N。从图4看主要分为3个阶段:初始阶段为弹性变形阶段,载荷随位移的增加不断呈线性增

加。最高点为生物屈服点,图线上升阶段为弹塑性变形阶段,并出现断裂现象。最高点之后出现完全断裂现象,直至卸载。这是由于底部直径较大,所需要的力也比较大。

2.4 相同部位,不同加载速度下弯曲力学特性

如图5所示为大豆秸秆相同部位,不同加载速度载荷-位移曲线图。从图上可以看出,当加载速度为10和30 mm·min⁻¹时,所受载荷近似相等,而当加载速度为50 mm·min⁻¹时,所受载荷较大(最大载荷为86.9 N)。

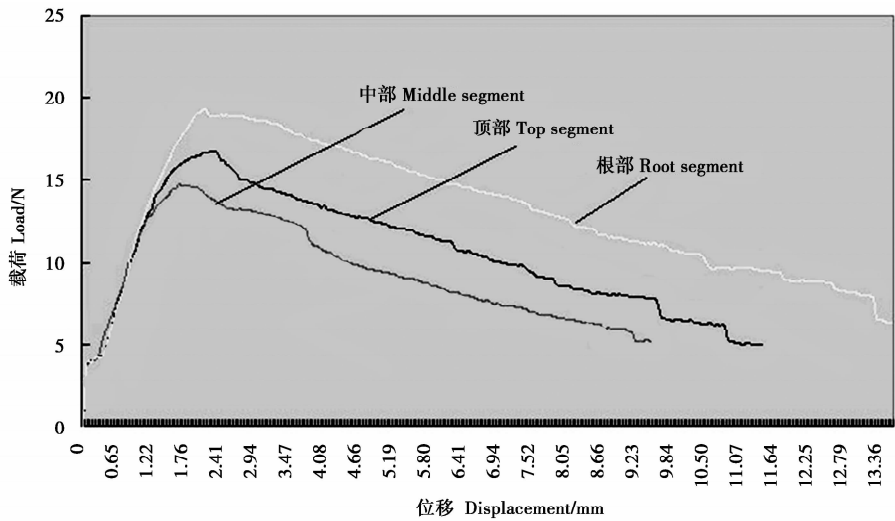


图4 大豆秸秆不同部位,相同加载速度载荷-位移曲线图

Fig. 4 Different parts of soybean straw, load displacement curves of the same load

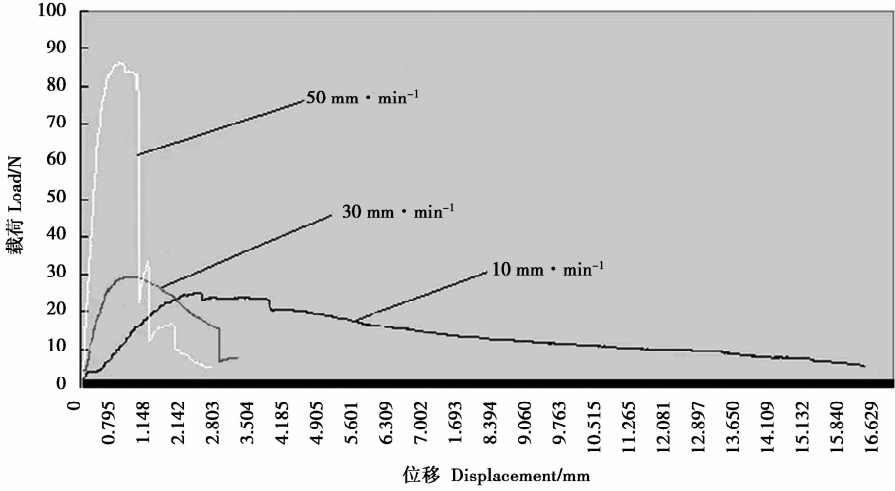


图5 大豆秸秆相同部位,不同加载速度载荷-位移曲线图

Fig. 5 The same parts of soybean straw, the load displacement curves of different loading speeds

试验中通过对大豆弯曲试验中对加载过程中力的变化的分析,可以看出同一品种相同部位在相同加载速率条件下,加载速度越大,所受载荷越大。这是由于秸秆本身的结构特点决定的,当加载速度较大时,秸秆材料木质化程度较高,抵抗弯曲变形

的能力较大,抗压强度也较大。

3 结 论

农业机械化设计阶段所考虑农作物的力学特性,有利于确定机具的工作情况,降低研发的成本

与缩短研发的时间。同时对农业作物秸秆的机械处理,例如收获、切断、打捆等提供了理论依据。主要结论如下:

(1)在相同加载速度下,根部的剪切应力和弯曲应力与中部和顶部相比需要较大的力,这种差异会造成秸秆加工机具工作负荷不平衡,在设计和制造机具时应予以考虑;

(2)在不同加载速度下,加载速度大,所需剪切力越小,弯曲力越大,设计时应合理确定加载速度,避免增大机具功率的损耗,以及加大机具工作过程中的噪声与振动。

参考文献

[1] 牛媛媛,徐铭辰,陈海涛,等. 2BMFJ-6 型麦茬地大豆免耕覆秸播种机适应性研究[J]. 大豆科学, 2015, 34(3): 497-502. (Niu Y Y, Xu M C, Chen H T, et al. Study on the adaptability of 2BMFJ-6 type no-till soybean precision planter with straw-covering in wheat stubble fields[J]. Soybean Science, 2015, 34(3): 497-502.)

[2] 袁红梅,郭玉明,李红波. 小麦茎秆弯折力学性能的试验研究[J]. 山西农业大学学报,2005, 25(2): 173-176. (Yuan H M, Guo Y M, Li H B. Studies on bending mechanical properties of wheat stalk[J]. Journal of Shanxi Agricultural University, 2005, 25(2): 173-176.)

[3] 李红波,郭玉明,陈维毅. 冬小麦茎秆的力学性质研究[J]. 太原理工大学学报,2006, 37(1): 31-34. (Li H B, Guo Y M, Chen W Y. A study of the mechanical properties of winter wheat stem[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2006, 37(1): 31-34.)

[4] 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 Q T, Qu Y G, Qing S L, et al. Study progress on mechanics properties of crop stalks[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2007, 38(7): 172-176.)

[5] 向松明,杨海涛,姚兰. 大豆秸秆成分与结构分析[J]. 湖北造纸,2012(4): 35-37. (Xiang S M, Yang H T, Yao L. Analysis on composition and structure of soybean straw[J]. Hu Bei Zao

Zhi, 2012(4): 35-37.)

[6] 赵春华,张峰伟,曹致中. 豆禾牧草茎秆的力学特性试验[J]. 农业工程学报,2009, 25(9): 122-126. (Zhao C H, Zhang F W, Cao Z Z. Experiment on stalk mechanical properties of legume forage and grasses[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(9): 122-126.)

[7] 刘爽,房欣,张颖,等. 用于地膜原料的大豆秸秆粉碎预处理工艺参数优化[J]. 农业工程学报, 2015, 31(2): 333-338. (Liu S, Fang X, Zhang Y, et al. Crushing pretreatment parameter optimization of soybean straw used as raw material of mulch[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(2): 333-338.)

[8] 黄振华,陈海涛,房欣,等. 含水率对大豆秸秆流动力学性能的影响[J]. 大豆科学, 2011, 30(5): 847-850. (Huang Z H, Chen H T, Fang X, et al. Flowability parameters for chopped soybean stalk[J]. Soybean Science, 2011, 30(5): 847-850.)

[9] 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 Z H, Feng B P, Zhao A Q, 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.)

[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 Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(7): 14-18.)

[11] 何晓莉,吴晓强,张立峰,等. 大豆茎秆压缩力学特性的研究[J]. 农机化研究, 2010, 32(11): 164-169. (He X L, Wu X Q, Zhang L F, et al. Research of mechanics characteristics for soybean stalks compression[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(11): 164-169.)

[12] 闫以勋,赵淑红,杨悦乾,等. 成熟期大豆茎秆力学特性研究[J]. 东北农业大学学报,2012, 43(5): 46-49. (Yan Y X, Zhao S H, Yang Y Q, et al. Study on mechanics properties of soybean stems in mature stage[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2012, 43(5): 46-49.)