

朱振伟,张开飞,李 赫,等. 玉米秸秆力学特性的研究[J]. 江苏农业科学,2017,45(12):178-181.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.12.047

玉米秸秆力学特性的研究

朱振伟¹, 张开飞², 李 赫², 张红梅²

(1. 河南机电职业学院机电工程学院, 河南郑州 451191; 2. 河南农业大学机电工程学院, 河南郑州 450002)

摘要:研究玉米秸秆的性质、组成结构特性与力学特性之间的关系,可为农业机械设计及秸秆综合利用提供理论依据。基于万能材料试验机,对玉米秸秆的径向压缩特性和弯曲力学特性进行分析。结果表明,相同加载速度下,玉米秸秆根部的压缩最大载荷力和弯曲应力均大于中部和上部;相同部位条件下,加载速度增大,压缩载荷和弯曲载荷随之增大。试验结果可为玉米的增产、增收及我国农作物秸秆资源的进一步综合开发利用、新工艺设备的开发研制提供理论依据。

关键词:玉米秸秆;压缩试验;弯曲试验;力学特性

中图分类号: S225.5⁺1;S226 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)12-0178-04

针对玉米秸秆的力学特性,很多学者展开了相应的研究。何勋等对玉米秸秆皮的拉伸特性进行了研究^[1]。刘立意等通过对玉米秸秆的压缩等物理特性进行研究,从而为优化相应的机械提供了数据参考^[2-4]。陈艳军等为分析玉米的抗倒伏特性对玉米秸秆的力学特性作出了研究^[5-9]。高梦祥等通过对玉米秸秆的力学性能进行测定,得出力学特性是其固有的特性^[10]。于勇等针对玉米秸秆含水率对其力学性能的影响作出了研究^[11]。本研究在前人研究的基础上,对不同取样位置(以节间为划分依据)和不同加载速度条件下的玉米秸秆进行压缩和弯曲试验,分别测定玉米秸秆在有节间情况下的抗压强度、弹性模量、抗弯强度等力学参数和指标,并分析各个因素对力学指标的影响及力学指标随影响因素变化而变化的规律,为玉米的优选育种、抗倒伏评价和相关收获加工机械的设计提供参考和基础数据。本研究利用万能材料试验机以及相关仪器设备,对玉米秸秆的外皮进行了压缩、弯曲特性试验,并对玉米秸秆特性间的关系和对应影响因素的相关关系进行分析。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试样采集生长良好、无病虫害侵蚀、且植株没有明显破损或弯折的玉米植株。将采集的玉米秸秆样本去除玉米穗和叶鞘,在通风条件下自然存放一段时间后,进行玉米秸秆的压缩和弯曲试验。

1.2 试验方法

收稿日期:2016-12-12

基金项目:国家自然科学基金(编号:31501213);国家大豆产业技术体系专项(编号:CARS-04);河南省自然科学基金(编号:162300410155);河南省高等学校重点科研项目(编号:15A210038);河南农业大学科技创新基金(编号:KJCX2015A07)。
作者简介:朱振伟(1981—),男,河南商丘人,硕士,讲师,主要从事自动化控制系统开发设计研究。E-mail:cangyuen@163.com。
通信作者:张开飞,博士,讲师,主要从事农业机械与装备系统研究。E-mail:zhangkaifei1220@163.com。

压缩试验前,选取直径为 20~35 mm、长度为 111~162 mm 的供试样品。试样分成 3 段:底部(根部)、中部、上部(顶部)。玉米秸秆的压缩试验考虑的因素是供试样品选取的部位和加载速度,故根部长 54.07 mm、中部长 50.90 mm、上部长 37.22 mm。压缩供试样品如图 1 所示。

弯曲供试样品如图 2 所示,把根部编号为 1,中部编号为 2,顶部编号为 3。样品的长度值范围为 90~160 mm,直径为 8~18 mm。

1.3 试验装置

试验仪器采用 RGT-10 型电子万能材料试验机,该仪器可对非金属材料进行高精度、多用途的力学性能测试。在相应的夹具夹持下,能准确测定各种材料的拉伸、压缩、弯曲、剪切等状态下力学特性的物理性能数据,并有微机进行数据的分析处理。将供试样品装在 2 个夹具上夹紧,驱动器带动 2 个夹具做相对运动,通过固定在横梁上的“S”形测力传感器和位移传感器收集试验过程中的载荷和位移变化值,从而计算出试样的拉伸、压缩、剪切、弯曲等性能指标。

其他仪器或工具:压缩试验装置夹具、弯曲试验装置夹具、量程为 0~150 mm 的电子数显游标卡尺、剪刀、标签、保鲜袋、工具刀、记号笔、胶布等。

2 玉米秸秆的压缩、弯曲试验

2.1 压缩试验

2.1.1 试验方法 压缩试验需要用到特定的夹具(加载平板压头),压缩试验夹持方法如图 3 所示。压缩试验前,将试样放于 2 个金属平板压盘之间,确保试样位于平板压盘的中心位置。试验时输入试验所需数据、试验类型的选择及试验参数,位移量为 6 mm。径向压缩时,因为载荷并没有明显的减小趋势,故将压缩高度比定为 50%,即压缩时上压盘的位移为试样直径的 50%。试验中,对玉米秸秆的取样部位作了 2 个单因素压缩特性试验,以便观察取样部分与加载速度对玉米秸秆压缩性能的影响。

2.1.2 相同加载速度下不同部位力学特性 为研究在一定的加载速度下对玉米秸秆不同部位力学特性的影响,本研究

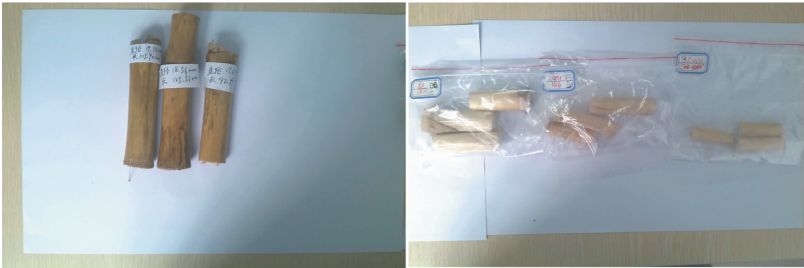


图1 部分压缩供试样品



图2 部分弯曲试验样品



图3 压缩试验夹持方法

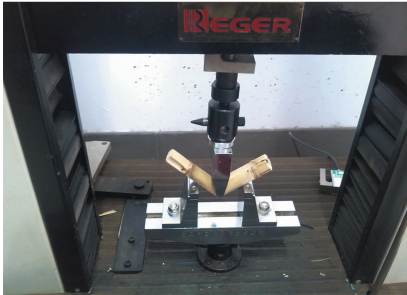


图4 3点弯曲法

取玉米秸秆上、中、下 3 部分为对象,在加载速度为 30 mm/min 的情况下对玉米秸秆不同部位的(径向)压缩情况进行观测,每个部位 3 次重复。经过试验获得玉米秸秆不同部位在同一加载速度下的压缩特性指标(最大载荷、抗压强度、弹性模量)。玉米秸秆不同部位详细参数如表 1 所示。

表 1 玉米秸秆不同部位的数据参数

部位	直径(mm)		
	重复 1	重复 2	重复 3
根部(均长 54.07 mm)	18.00	18.12	18.05
中部(均长 50.90 mm)	14.60	14.82	14.73
上部(均长 37.22 mm)	11.58	12.11	12.05

2.1.3 相同部位不同加载速度力学特性 为研究不同加载速度对玉米秸秆同一部位力学特性的影响,取玉米秸秆根部为研究对象,施加的加载速度分别为 30、50、70 mm/min,从而获得玉米秸秆根部在不同加载速度下的压缩特性指标(最大载荷、抗压强度、弹性模量等),每个处理 3 次重复。玉米秸秆根部数据参数如表 2 所示。

表 2 玉米秸秆根部的数据参数

序号	加载速度 (mm/min)	直径 (mm)	长度 (mm)
1	30	17.60	92.59
2	50	18.56	125.51
3	70	19.10	105.00

2.2 弯曲试验

2.2.1 试验方法 弯曲试验选择的方法是 3 点弯曲法,如图 4 所示。在弯曲试验过程中,跨度是个可变且重要的因素。对秸秆供试样品跨度的选取若太大,弯曲力会很小,这样就会导致试验结果精度降低;若太小,秸秆在大变形后剪应力就成为破坏的主要形式,这与弯曲试验的初衷相违背。所以选取了一个可调的弯曲工作装置,以保证弯曲破坏结果的精度。试验时,将弯曲装置下的底座与试验机底座工作台中心对齐,以确保弯曲过程中试件一直受垂直压力。在万能材料物理

试验机上安装弯曲压头,根据秸秆直径设定试验类型的选择及试验参数:弯曲挠度为 1.5 倍,弯曲位移为 30 mm,跨度即标距为 50 mm。玉米秸秆弯曲试验考虑的因素有加载速度和选取部位,故对取样部位做了 2 次单因素弯曲试验,以观察取样部位与加载速度对弯曲情况的影响。

2.2.2 相同速度下不同部位力学特性 为研究玉米秸秆在一定的加载速度情况下对其不同部位力学特性的影响,取根部、中部、上部秸秆 3 部分为研究对象,在加载速度为 50 mm/min 的情况下,对玉米秸秆不同部位试验样品进行试验,以获得不同部位的玉米秸秆在同一加载速度下的最大载荷和抗弯强度。玉米秸秆不同部位详细参数如表 3 所示。

表 3 玉米秸秆不同部位详细参数

部位	加载速度 (mm/min)	直径 (mm)	长度 (mm)
根部	50	14.64	110.00
中部	50	13.50	114.77
上部	50	8.27	129.38

2.2.3 相同部位下不同加载速度力学特性 取玉米秸秆根部为研究对象,在加载速度分别为 30、50、70 mm/min 的情况下,测定玉米秸秆不同部位试样弯曲的最大载荷、抗弯强度和弹性模量等情况,从而获得根部玉米秸秆在不同加载速度下的弯曲特性指标。玉米秸秆根部数据参数如表 4 所示。

表 4 玉米秸秆根部数据参数

序号	加载速度 (mm/min)	直径 (mm)	长度 (mm)
1	30	16.00	94.62
2	50	17.20	157.08
3	70	18.30	152.67

3 试验结果与分析

3.1 压缩试验

由图 5 可知,开始时随着位移的增加,压缩载荷斜率较大

且近似于呈线性增加。通过分析试验过程可知,试验开始时随着上压头不断向下运动,秸秆的压缩位移增加,秸秆被压缩,因此压缩载荷不断增加,当压缩位移到达 6 mm 时,试验停止。玉米秸秆的直径随着高度的变大而有所减小,故其承受载荷的能力有所减小。总之,根部所用的最大压缩载荷力最大,中部次之,上部最小。

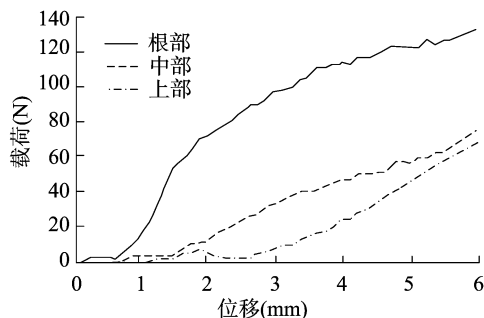


图5 玉米秸秆不同部位在加载速度一定的情况下压缩试验的载荷-位移曲线

由图 6 可知,玉米秸秆不同部位在加载速度一定(30 mm/min)的情况下,最大载荷力随着取样高度的增大而减小,表现为根部>中部>上部。这是由于水分使得玉米秸秆中的纤维素等大分子组织塑性提高,所需的压缩力相对减小。结合图 5、图 6 可知,越接近根部,最大压缩力的值越大。这充分说明了不同部位的玉米秸秆的内部组织结构存在不同,且对压缩力有明显的影响。因此,在研究秸秆机械特性时,玉米秸秆的取样部位是重要的研究指标。

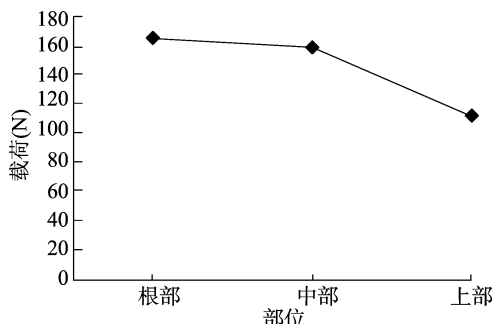


图6 玉米秸秆的不同部位在一定加载速度下最大压缩力的范围变化

由图 7 可知,位移在 0~3 mm 之间属于玉米秸秆的压缩弹性变形阶段,根据应力 $\sigma = F/A$,应变 $\varepsilon = \Delta L/L$,此图可以理解为应力-应变曲线图,其中 σ 为应力, F 为横截面受力大小, A 为横截面积, ε 为应变, L 为试样长度, ΔL 为断裂伸长长度。在弹性阶段,应力 σ 与应变 ε 成正比, $\sigma = E\varepsilon$;弹性模量 $E = \sigma/\varepsilon$,而 σ/ε 为斜率。故在相同的取样部位(根部)下,不同的加载速度下最大压缩力值存在较大差异,在压缩比为 50% 时,加载速度越大(斜率越大),根部所用的压缩载荷越大。即在研究秸秆机械特性时,所用的加载速度也是重要的指标。压缩后的试样如图 8 所示。

由图 8 可知,径向压缩时,秸秆皮会发生劈裂,由于含水率较大,皮和芯的韧性较强,所以载荷并没有出现明显的波折^[12]。

通过 2 次单因素压缩试验,分别选取玉米秸秆不同、相同的部位,对应的加载速度分别为 30、30、50、70 mm/min。通过

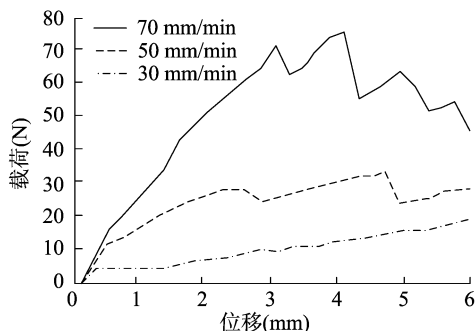


图7 玉米秸秆相同部位在不同的加载速度的情况下压缩试验的载荷-位移曲线



图8 压缩后的试样

数据处理得到玉米秸秆的力学性能指标最大压缩力、抗压强度、弹性模量等。最后通过数据分析,得出力学指标随选取部位、加载速度的变化规律,并得到其对玉米秸秆力学指标影响的显著性。

径向压缩试验的初始阶段,载荷随着位移的增大而缓慢增大,载荷位移曲线基本呈线性;当试样被压缩到一定程度后,试样基本压实,载荷增大,直到达到设定的压缩高度比,试验停止。可以看出,径向压缩时,载荷位移曲线几乎没有出现波折。

在相同的加载速度下,玉米秸秆根部所用的最大压缩力最大,中部次之,上部最小。在相同的取样部位(根部)下,加载速度增大,玉米秸秆根部的压缩载荷随之增大。

通过数据分析可知,最大压缩范围是 97.5~243.5 N,平均值为 145.89 N;抗压强度范围是 0.38~11.80 MPa,平均值为 7.70 MPa;屈服强度范围是 0~11.80 MPa,平均值为 6.97 MPa;弹性模量范围是 0.76~4.62 MPa,平均值为 3.07 MPa。

3.2 弯曲试验

由图 9 可知,玉米秸秆不同部位在加载速度一定(30 mm/min)的情况下,最大载荷力随着秸秆选取部位的升高而下降。这是由于水分的存在使得玉米秸秆中纤维素等大分子组织塑性提高,所需弯曲力相对减小。开始时随着位移的增加,弯曲载荷斜率较大且近似于呈线性增加,达到峰值后随着位移的继续增加弯曲载荷缓慢下降。通过分析试验过程可知,试验开始时随着上压头不断向下运动,秸秆的弯曲位移增加,秸秆被压缩,因此弯曲载荷不断增加,当弯曲位移在 4~8 mm 时,载荷出现最大值,曲线的峰值即为在加载速度下秸秆的弯曲强度极限。当达到秸秆弯曲强度极限后,两端逐渐翘起,随着弯曲位移的增加,弯曲载荷反而随之减小。因为玉米秸秆的直径随着高度的变大而有所减小,故其承受载荷

的能力有所减小。总之,玉米秸秆根部所用的最大弯曲载荷力最大,中部次之,上部最小。

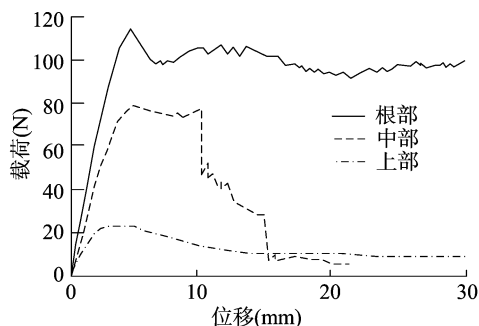


图9 玉米秸秆的不同部位在相同加载速度下的弯曲载荷-位移曲线

由图 10 可知,压头的加速度大时,秸秆的反力也大。弯曲位移在 4 ~ 10 mm 处,载荷出现最大值,曲线在位移约 10 mm 处有交汇(即反力近似相等);曲线平滑上升为弹性变

形阶段;当载荷达到最大值以后,秸秆内部开始被破坏,可理解为塑性变形;力值曲线下降,样品完全被破坏。在取样部位相同的情况下,加载速度大,所用的弯曲载荷力也大。

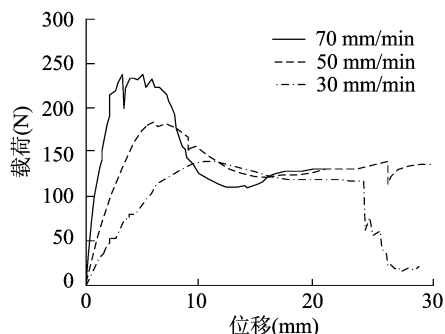


图10 玉米秸秆同部位在不同加载速度下的弯曲载荷-位移曲线

弯曲后的供试样品如图 11 所示,试验后,会在供试样品中段产生轴向的劈裂,且裂纹较大。



图11 弯曲后的供试样品

通过 2 次单因素压缩试验,分别选取玉米秸秆不同、相同的部位,对应的试验加载速度参数分别设定为 30、30、50、70 mm/min。通过数据分析,得出力学指标随选取部位、加载速度变化而变化的规律,通过对试验结果进行分析得到如下结论。

供试样品弯曲过程中,载荷随着位移的增大而增大,载荷位移曲线近似线性。当达到屈服强度时,玉米秸秆发生屈服,载荷的大小发生一定的波折,最后,随着位移的增加,载荷逐渐减小,试验结束。

在相同的加载速度下,玉米秸秆根部所用的最大弯曲载荷最大,中部次之,上部最小。在相同的取样部位(根部)下,加载速度增大,玉米秸秆根部的弯曲载荷随之增大。

通过数据分析可知,弯曲载荷的最大值为 113.2 N;抗弯强度分别为 4.60、4.05、5.14 N,最大抗弯强度为 5.14 N;弹性模量分别为 87.19、83.31、173.23 MPa,最大弹性模量为 173.23 MPa。

4 结论

利用万能试验装置以及相关仪器设备,对玉米秸秆的外皮进行了压缩、弯曲特性试验,并对玉米秸秆特性间的关系和对应影响因素(取样部位、试验加载速度等)的相关关系进行分析。结果表明,玉米秸秆在相同加载速度下根部的压缩最大载荷力比中部和上部大。在玉米秸秆的相同部位,加载速度增大,压缩载荷也随之增大。玉米秸秆在相同加载速度下根部的弯曲应力比中部和上部大。玉米秸秆在相同部位下,

加载速度越大,弯曲载荷也越大。

参考文献:

- [1]何 勋,王德福. 基于纤维形态特征分析的玉米秸秆皮拉伸特性[J]. 农业工程学报,2015,31(10):92-98.
- [2]刘立意,邵媛媛,董 欣,等. 玉米秸秆压缩加载条件对其裂纹和机器功耗的影响[J]. 农业工程学报,2014,30(3):163-169.
- [3]王德福,于克强,陈争光. 玉米秸秆皮碾分离机械运行参数优化试验[J]. 农业工程学报,2013,29(21):26-32.
- [4]李晓东,邱立春. 玉米秸秆物理机械特性试验研究[J]. 农业科技与装备,2011(2):62-64.
- [5]陈艳军,吴科斌,张俊雄,等. 玉米秸秆力学参数与抗倒伏性能关系研究[J]. 农业机械学报,2011,42(6):89-92.
- [6]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.
- [7]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.
- [8]杨洪昌,范源洪,吴正煜,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.
- [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.
- [10]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):47-49,52.
- [11]于 勇,毛 明,洋进明. 玉米秸秆不同部位含水率特性和拉伸学特性研究[J]. 中国农机化,2012(4):75-77.
- [12]高 欣. 玉米秸秆力学特性试验研究[D]. 武汉:华中农业大学,2013.