

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S2.007

田间玉米茎秆往复切割试验台*

蒋 韬¹ 侯加林¹ 李天华² 邵园园² 王 震³ 刘 林³

(1. 山东农业大学机械与电子工程学院, 泰安 271018; 2. 山东农业大学山东省园艺机械与装备重点实验室, 泰安 271018; 3. 山东农业大学山东省智能化农业机械与装备重点实验室, 泰安 271018)

摘要: 为了研究影响玉米茎秆切割力和切割功耗的诸因素, 设计了田间玉米茎秆往复切割试验台。该试验台可以更换不同形状刀片, 切割速度 0 ~ 2.5 m/s 可调, 削切角 0° ~ 35° 可调。通过试验得出的切割力随时间变化曲线求出切割功耗, 并分析切割刀片形状、刀片开口角度、切割速度及削切角对切割力和切割功耗的影响。试验结果表明: 该试验台数据采集误差不超过 1.12%, 最大切割力和切割功耗随着切割速度和切割角的增大而减小, 锯齿刀的切割力比光滑刀的切割力小, 削切角在 20° 左右时较其他角度的切割力小。

关键词: 玉米茎秆 切割力 切割功耗 试验台 控制系统

中图分类号: S237; TH73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)S2-0032-05

Field Reciprocating Cutting Test Bench for Cron Stalks

Jiang Tao¹ Hou Jialin¹ Li Tianhua² Shao Yuanyuan² Wang Zhen³ Liu Lin³

(1. *Mechanical and Electronic Engineering College, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China*
2. *Shandong Provincial Key Laboratory of Horticultural Machineries and Equipments, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China* 3. *Key Laboratory in University of Shandong Province of Intelligent Agricultural Machinery and Equipment, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China*)

Abstract: In order to research the factors that affect the corn stalk cutting force and cutting power consumption, field reciprocating cutting test bench for crop stalks was developed. The test bench could switch to a different shape of the blade. The cutting speed could be adjusted in a range of 0 ~ 2.5 m/s. The cutting angle could be adjusted in a range of 0° ~ 35°. The curves of cutting force changed with time were obtained by the experiment. The cutting power consumption was calculated according to these curves. The effect of blade shape, blade opening angle, cutting speed and cutting angle on the cutting force and power consumption were analyzed. The experimental results showed that the error of test bench data was less than 1.12%. With the increasing of cutting speed and cutting angle, the maximum cutting force and cutting power consumption were both decreased gradually. The cutting force of zigzag blade was smaller than that of smooth blade. The cutting force of 20° cutting angle was smaller than that of the other angle.

Key words: Corn stalk Cutting force Cutting power consumption Test bench Control system

引言

随着现代农业的发展, 大型收获机械越来越多地应用到农业生产中, 作物茎秆切割是联合收获机

田间作业的一项重要工作环节, 其切割性能直接影响到作物的收获效率^[1~5]。田间作物茎秆的切割试验参数是衡量作物茎秆切割性能的重要指标^[6~7]。由于玉米茎秆的直径比较粗且表皮硬度高, 经常造

收稿日期: 2013-06-25 修回日期: 2013-07-06

* 山东省农业重大应用技术创新课题资金资助项目(鲁财农指(2010)58号)和山东省现代农业产业技术体系创新团队建设专项资金资助项目

作者简介: 蒋韬, 硕士生, 主要从事检测技术与自动化装置研究, E-mail: jiangtao022@gmail.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: jlhoul@sdau.edu.cn

成收获机械切割器的功耗增大,磨损加剧^[8-11],因此本文研究收获机械的工作参数,以期降低收获机械的功耗、减小切割机器的磨损^[12-13]、提高收获机械的作业效率。

1 系统构成

根据收获机械在田间作业时对茎秆的切割形式,设计制作了田间玉米茎秆往复切割试验台。试验台主要由机械系统和电气系统组成,如图 1 所示。试验台的信息采集部分由拉压力传感器和信号放大电路组成,可采集切割玉米茎秆的切割力。控制系统由 STM32F103 组成,将采集到的数据存入 SD 卡^[14]。执行机构由伺服电动机完成。人机交互界面进行数据显示和指令的读取。

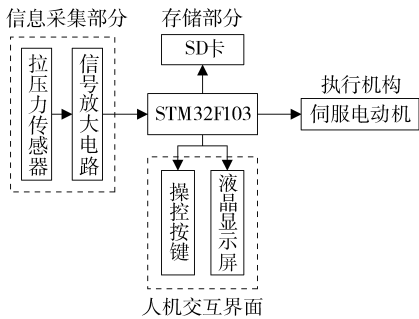


图 1 系统组成

Fig. 1 System diagram

试验台可更换不同形状的刀片,可以调节玉米茎秆与刀片之间的相对角度,以达到试验的要求。首先打开控制器进入控制系统,调整好所需的刀片与玉米茎秆的相对角度,按照要求设定所需伺服电动机的转速,设定完毕后运行系统,试验结束后将 SD 卡中采集到的数据导出,以供数据查询及分析使用。

1.1 机械系统

机械系统主要由车架、前进轮、割台和电动机等组成,结构如图 2 所示。

车架为系统支撑,同时也是整个系统的前进装

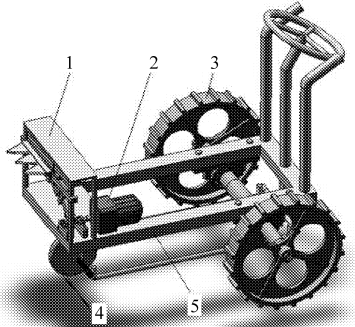


图 2 机械系统结构示意图

Fig. 2 Structure diagram of mechanical

1. 切割台 2. 伺服电动机 3. 前进轮 4. 转向轮 5. 车架

置,系统运行时伺服电动机带动曲柄连杆作往复运动,同时带动滑块和动刀片运动,从而切割玉米茎秆。

切割台是茎秆切割的重要单元,主要完成农作物茎秆的切割工作,其结构如图 3 所示,主要有机体架、滑块、定刀片/动刀片、拉压力传感器、伺服电动机和轴承等组成。割刀由 3 个定刀片和 3 个动刀片组成,刀片通过铆钉固定在刀片座上,刀片座通过定位销和螺丝与机体架连接,同时试验台可以更换不同的刀片。

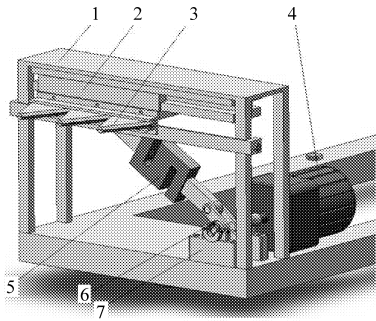


图 3 切割台结构

Fig. 3 Structure of cutting mechanical

1. 机体架 2. 滑块 3. 动刀片 4. 伺服电动机 5. 拉压力传感器 6. 轴承 7. 轴承座

1.2 控制系统

控制系统主要由 STM32F103 单片机完成。STM32F103 单片机具有性能高、主频高、抗干扰能力强、低功耗等特点,片内资源丰富^[15],同时该系统搭载 3.2 吋真彩屏实时显示试验数据,控制系统如图 4 所示。

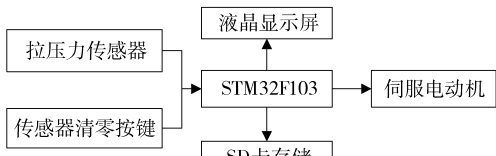


图 4 控制系统结构

Fig. 4 Diagram of control system

1.3 信号处理

信号放大电路由 ICL7660S 组成的负电压产生电路和 AD620 信号放大器组成^[14]。拉压力传感器满量程输出电压为 20 mV,设计的信号放大器将电压放大到 3.3 V 左右,放大倍数约为 165 倍。

AD 转换模块选用 ADS8344 芯片。ADS8344 是一个高速、低功耗、16 位逐次逼近型 AD,最大采样速率为 100 kHz。为了设计出稳定的 A/D 转换电路,采用 AD586BR 芯片作为基准电压源为 ADS8344 提供稳定的基准电压。

2 系统精度测试

为了提高测试精度,对系统进行了校正。对拉

压力传感器的信号放大电路作温度漂移试验。试验方法:在拉压力传感器下依次加载一定质量的砝码,计算出放大器相应的输出电压,然后将信号放大器置于不同的恒温环境中,使用数字万用表测量输出电压,试验结果如表 1 所示。

表 1 信号放大器温漂测试

Tab. 1 Temperature drift test of amplifier

砝码质量/kg	计算值/mV	5℃		25℃		35℃	
		实测值	相对误差/%	实测值	相对误差	实测值	相对误差
		/mV	差/%	/mV	差/%	/mV	差/%
1. 26	18. 6	18. 4	1. 07	18. 5	0. 53	18. 7	0. 53
2. 54	39. 4	39. 1	0. 76	39. 3	0. 25	39. 5	0. 25
5. 08	80. 10	80. 6	0. 49	80. 10	0	81. 1	0. 12
7. 65	122. 6	121. 0	0. 40	122. 5	0. 08	123. 1	0. 40
10. 20	164. 2	163. 1	0. 66	164. 1	0. 06	165. 1	0. 54

对压力进行校验,试验方法:在静止状态下,选用不同质量的砝码分别加载到拉压力传感器和万能试验机上进行测量然后进行结果对比。试验结果如表 2 所示。

表 2 切割力精度测试

Tab. 2 Accuracy test of cutting force

砝码质量/kg	测试结果/kg		相对误差/%		平均相对误差/%	
	切割力	万能试	切割力	万能试	切割力	万能试
	模块	验机	模块	验机	模块	验机
1. 26	1. 29	1. 23	2. 38	2. 38		
2. 54	2. 57	2. 50	1. 18	1. 57		
5. 08	5. 13	4. 99	0. 98	1. 77	1. 12	1. 72
7. 65	7. 70	7. 55	0. 65	1. 31		
10. 20	10. 24	10. 04	0. 39	1. 56		

试验结果表明,该试验台相对误差为 1. 12%,可满足玉米茎秆切割力试验的要求。

3 试验材料与参数测量方法

试验样品选取山东农业大学黄淮海区域玉米技术创新中心的澄海 661 号,取样时间为 2012 年 9 月 16 日至 2012 年 9 月 26 日。在每次试验结束后,将试验样品称量,然后将试验样品放入干燥箱中干燥,之后称其质量计算出含水率。玉米茎秆的直径采用游标卡尺测量,取横截面多处位置,并多次测量取其平均值。测得玉米茎秆平均直径为 14 ~ 22 mm,含水率为 69. 4% ~ 73. 2%。

4 试验结果与分析

4. 1 切割力与切割功耗

由于玉米茎秆属于各向异性、非匀质、非线性的具有复合特性的植物纤维材料^[8],其纤维组织属于一种弹-塑性材料。试验发现,在不同的参数试验条件下,切割力随时间的变化具有相似性。通过切割

试验台得到一组典型的切割力随时间变化的曲线如图 5 所示,其玉米茎秆直径为 18. 6 mm,动刀片与定刀片间距为 1 mm,刀片开口角为 20°,切割速度为 1. 7 m/s,削切角为 20°。

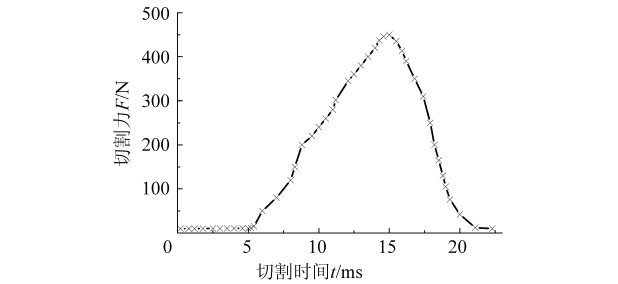


图 5 切割力曲线
Fig. 5 Cutting force curve

对切割力进行积分计算可得到切割功耗,即

$$W = \int_0^t F v dt$$

式中 F ——切割力,N v ——切割速度,m/s

4. 2 切割刀片形状

目前,切割玉米茎秆的刀具有锯齿刀和光滑刀两种。试验时调节动刀片与定刀片间距为 1 mm,刀片开口角为 20°,切割速度为 1. 7 m/s,削切角为 20°,然后分别采用锯齿刀和光滑刀对玉米茎秆进行切割,试验结果如表 3 所示。

试验结果表明:在相同的试验条件下对玉米茎秆进行切割,锯齿刀比光滑刀的最大切割力减小约为 0. 05%。

表 3 不同刀片形状的切割力测试

Tab. 3 Cutting force test of blade shape

试验序号	切割力峰值/N	
	锯齿刀	光滑刀
1	430. 2	452. 9
2	426. 5	451. 2
3	422. 5	453. 3
4	433. 4	454. 3
5	435. 2	452. 8

4. 3 刀片开口角

当玉米茎秆处于动刀片与定刀片之间时,动刀片运动剪切玉米茎秆。试验时选定切割刀片为锯齿刀,调节动刀片与定刀片间距为 1 mm,切割速度 1. 7 m/s,削切角为 20°,分别采用开口角为 10°、15°、20°和 25°的刀片对玉米茎秆进行切割试验,其刀片开口角示意图如图 6 所示。切割力峰值随刀片开口角变化曲线如图 7 所示。

试验结果表明:随着刀片开口角的增大切割力峰值有所降低。刀片开口角在 25°时最大切割力比 10°时降低了 11. 6%;当刀片开口角在 25°时最大切

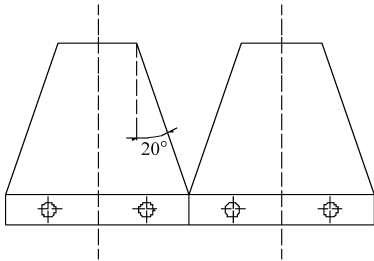


图 6 刀片开口角示意图

Fig.6 Diagram of blade opening angle

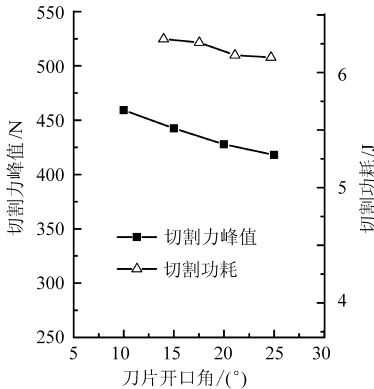


图 7 刀片开口角对切割力峰值的影响

Fig.7 Effect of blade opening angle on peak cutting force

割力比 20°时减小约为 2.1%，切割功耗减小约为 0.98%。因此适当增加刀片开口角，有利于减小切割力和切割功耗，但当刀片开口角在 20°~25°变化时，切割功耗减小较少。

4.4 切割速度

试验选定切割刀片为锯齿刀，调节动刀片与定刀片间距为 1 mm，刀片开口角为 20°，削切角为 20°，切割速度在 1~2.5 m/s 变化时，切割力峰值变化如表 4 所示。

表 4 不同切割速度的切割力测试

Tab.4 Cutting force test of different cutting speed		
切割速度/m·s ⁻¹	切割力峰值/N	切割功耗/J
1.1	590.8	8.2
1.4	512.6	7.3
1.7	432.5	6.1
1.8	410.3	5.5
2.2	322.7	4.7
2.3	302.6	4.5
2.5	290.4	4.4

试验结果表明：随着切割速度的增大，最大切割力和切割功耗都有所降低。当切割速度低时，茎秆

呈现局部变形增大，茎秆往往被拉断而不是被切断，致使切割力及切割功耗增加，切割质量下降。当切割速度增大时，在切割点玉米茎秆传递变形的时间减小^[16]，所需的功耗和切割力减小。当切割速度在 2.2~2.5 m/s 变化时，切割力有所下降，但切割功耗减小量较少。因此适当提高切割速度，有利于减小切割力和切割功耗。

4.5 削切角

当切割速度为 1.8 m/s，刀片形状为锯齿刀，刀片开口角为 20°，动刀片与定刀片间距为 1 mm，削切角在 0°~35°范围内变化时，最大切割力和切割功耗变化如图 8 所示。

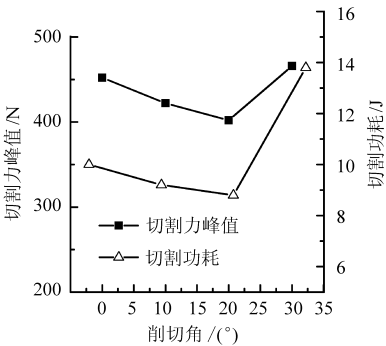


图 8 削切角对切割力峰值和切割功耗的影响

Fig.8 Effect of cutting angle on peak cutting force and power consumption

试验结果表明：当削切角为 0°时最大切割力和切割功耗较大，随着削切角的增加，切割力和切割功耗小幅下降，当削切角为 20°左右时，切割力和切割功耗达到最小值；当削切角大于 20°时，法线削切力急剧上升。

5 结论

(1)在切割玉米茎秆过程中，锯齿刀的切割力比光滑刀的切割力小，随着刀片开口角的增大切割力和切割功耗减小。

(2)随着切割速度的增加，玉米茎秆切割力的最大值与切割功耗都有所降低。因此适当提高切割速度，可以减小切割功耗。

(3)当切割速度为 1.8 m/s，刀片形状为锯齿刀，削切角在 20°左右时所需要的最大切割力和切割功耗比其他削切角所需要的最大切割力和切割功耗小。

参 考 文 献

1 赵湛,李耀明,徐立章,等. 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)
2 宋占华,肖静,张世福,等. 曲柄连杆式棉秆切割试验台设计与试验[J]. 农业机械学报,2011,42(增刊):162~167.

Song Zhanhua, Xiao Jing,Zhang Shifu,et al. Design and experiment on crank-connecting rod cotton stalk cutting test bench[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2011,42(Supp.):162~167. (in Chinese)

3 唐忠,李耀明,徐立章,等. 单茎秆切割试验台的设计与试验[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)

4 吴明亮,官春云,汤楚宙,等. 油菜茎秆切割力影响因素试验[J]. 农业工程学报,2009,25(6):141~144.
Wu Mingliang, Guan Chunyun, Tang Chuzhou,et al. Experiments on influencing factors of cutting force of rape stem[J]. Transactions of the CSAE,2009,25(6):141~144. (in Chinese)

5 罗海峰,汤楚宙,邹冬生,等. 龙须草茎秆往复式切割试验研究[J]. 农业工程学报,2012,28(2):13~17.
Luo Haifeng, Tang Chuzhou,Zou Dongsheng,et al. Experiment on reciprocating cutting of *eulaliopsis binata* stem[J]. Transactions of the CSAE,2012,28(2):13~17. (in Chinese)

6 李旭,舒彩霞,黄海东,等. 高粗茎秆农作物切割刀片试验研究[J]. 农机化研究,2010(8):1~6.
Li Xu,Shu Caixia,Huang Haidong,et al. Harvest cutting technology of thick-tall stem crops at home and abroad[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2010(8):1~6. (in Chinese)

7 余永卫,杨树川. 圆盘切割器切割玉米茎秆[J]. 农机化研究,2005(1):153~157.
She Yongwei,Yang Shuchuan. Design on the experiment platform of stem cutting[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2005(1):153~157. (in Chinese)

8 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. Experiments and analysis on mechanical property of corn stalk reciprocating cutting[J]. Transactions of the CSAE,2011,27(1):160~164. (in Chinese)

9 夏萍,印崧,陈黎卿,等. 收获机械往复式切割器切割图的数值模拟与仿真[J]. 农业机械学报,2007,38(3):65~68.
Xia Ping,Yin Song,Chen Liqing,et al. Numerical simulation of cutting pattern of a reciprocating cutter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2007,38(3):65~68. (in Chinese)

10 Roberto Da Cunha Mello. Effect of blade shape and speed on cutting forces for sugar cane[J]. School Applications of Learning Theory, 2005,27(4):1~28.

11 Guzeev V I, Pimenov D Y. Cutting force in face milling with tool wear[J]. Russian Engineering Research, 2011,31(10):989~993.

12 杜现军,李玉道,颜世涛,等. 棉秆力学性能试验[J]. 农业机械学报,2011,42(4):87~91.
Du Xianjun,Li Yudao,Yan Shitao,et al. Mechanics characteristics of cotton stalks[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2011,42(4):87~91. (in Chinese)

13 靳瑞生. 玉米收获机茎秆切割刀体设计与改进[J]. 农业机械,2009(13):74~75.

14 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 of portable shear tester for crop stalks [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(5):131~135. (in Chinese)

15 李宁. 基于MDK的STM32处理器开发应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2008.

16 孟海波. 秸秆切割破碎与揉切机刀片耐用性试验研究[D]. 北京:中国农业大学,2005.
Meng Haibo. Experimental study on strew cutting process and wear resistance and strength toughness of cutters[D]. Beijing: China Agricultural University,2005. (in Chinese)