

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.023

玉米植株受切运动规律试验分析*

魏元振¹ 李其昀¹ 曹树红¹ 张道林¹ 张国海¹ 张亮亮²

(1. 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 淄博 255049; 2. 北京市三一重机有限公司, 北京 102206)

【摘要】 对玉米植株切碎还田时影响合格率的各因素进行了分析研究, 得出了影响切碎合格率各因素的较优水平: 喂入位置靠近定刀一侧、行进速度为 0.6~0.8 m/s、刀盘转速为 1 576 r/min; 利用高速摄影技术, 通过试验在玉米收获立式切茎台工作的较优因素水平条件下, 得出了玉米植株与刀盘接触瞬间、受切过程中和被切碎后 3 个过程的运动轨迹。

关键词: 玉米植株 切碎还田 运动规律

中图分类号: S225.5⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)S0-0116-04

Experiment on Motion Law of Being Cutted Maize Stalk

Wei Yuanzhen¹ Li Qiyun¹ Cao Shuhong¹ Zhang Daolin¹ Zhang Guohai¹ Zhang Liangliang²

(1. School of Agricultural and Food Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China

2. Beijing Sany Heavy Machinery Co., Ltd., Beijing 102206, China)

Abstract

Various influence factors on chopping yield of maize stalk were analyzed and the conditions of better levels of influence factors were discovered, which were as follows: feeding distance position near fixed blades side, forward speed of 0.6~0.8 m/s, rotational speed of cutter head of 1 576 r/min. Under the conditions of better levels of each influencing factor of maize stalk chopping effect, by using high speed photography and vast experiments, three motion laws were reached, which were through the below stages, instant of contacting with cutter head, process of chopping and after chopping.

Key words Corn stalk, Chopping and returning, Motion law

引言

国外科研人员从不同角度对秸秆切碎还田进行了相关试验^[1~5], 但国内外关于玉米植株在切茎过程中运动规律的研究非常缺乏, 更没有形成相关系统的理论体系, 造成玉米植株切茎装置设计上以经验为主的现象, 由此产生的不合理设计, 严重影响了秸秆还田质量。玉米植株在切碎装置中的运动规律较为复杂, 研究其运动规律、完善玉米植株切碎抛撒(还田)技术体系, 可为切碎装置的设计提供理论依据, 对保护性耕作技术在玉米小麦一年两熟地区的推广具有重要的现实意义^[6~8]。

保护性耕作(conservation tillage)自 20 世纪 40 年代开始于美国, 截止 2007 年全美保护性耕作面积已达到 63.2%, 在保护生态环境和粮食增产等诸多方面发挥了积极效应^[9]。为满足保护性耕作技术要求, 本文采用的切碎装置具有可避免破土和秸秆切碎后抛撒的特点。

本文选取黄淮海地区的玉米植株, 在立式切茎台上对玉米植株切碎效果和运动规律进行试验研究, 分析喂入位置、行进速度和刀盘转速对切碎合格率的影响程度及其较优水平, 以及玉米植株与刀盘接触瞬间、受切过程中和被切碎后位移、运动速度的变化规律。

收稿日期: 2012-07-07 修回日期: 2012-08-06

* “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD28B02)、公益性行业(农业)科研资助项目(200903059-0402)、山东省自然科学基金资助项目(ZR2009DL012)和山东省科技发展计划资助项目(2010GNC10965)

作者简介: 魏元振, 硕士生, 主要从事收获机械设计研究, E-mail: w. y. z. 321136@163. com

通讯作者: 李其昀, 教授, 主要从事农业机械设计研究, E-mail: liqiyun@sdu. edu. cn

1 动刀片运动分析

动刀片结构和排布形式是影响茎秆切碎效果的重要因素之一,本文中动刀片采用片刀,刀盘上均匀分布4片(图1)。拖拉机带动切碎装置工作时,动刀片运动一方面来自于自身旋转,一方面跟随机器前行,其合运动的轨迹为余摆线(图2)。

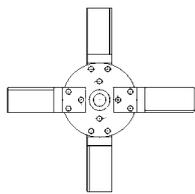


图1 动刀片的排布结构

Fig.1 Structure of moving cutters

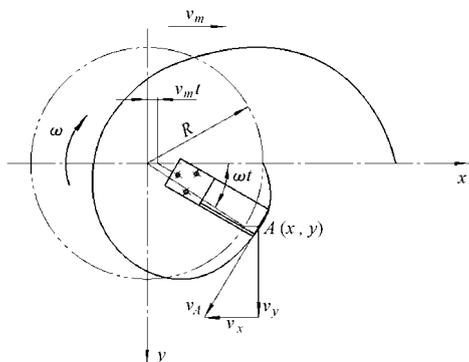


图2 动刀片的运动轨迹

Fig.2 Motion law of moving cutter

设刀盘旋转中心为坐标系原点,机器(拖拉机)水平前进方向为 x 轴正向, y 轴正向为垂直向下(如图2),建立平面直角坐标系。动刀片旋转平面即为坐标系所在平面,开始时动刀片端点位于刀盘正前方水平位置并且使其与 x 轴正向重合,则动刀片端点运动方程为

$$\begin{cases} x = R\cos(\omega t) + v_m t \\ y = R\sin(\omega t) \end{cases} \quad (1)$$

式中 R ——动刀片端点转动半径

ω ——刀盘旋转角速度

v_m ——机器行进速度 t ——时间

动刀片端点在 x 轴与 y 轴方向的分速度为

$$\begin{cases} v_x = \frac{dx}{dt} = v_m - R\omega\sin(\omega t) \\ v_y = \frac{dy}{dt} = R\omega\cos(\omega t) \end{cases} \quad (2)$$

动刀片端点绝对速度 v 为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_m^2 + R^2\omega^2 - 2v_m R\omega\sin(\omega t)}$$

不难得到

$$\sqrt{v_m^2 + R^2\omega^2} \leq v \leq v_m + R\omega$$

$$\frac{v - v_m}{R} \leq \omega \leq \frac{\sqrt{v^2 - v_m^2}}{R}$$

又由 $n = \frac{\omega}{2\pi} \times 60$, 得

$$\frac{v - v_m}{2\pi R} \times 60 \leq n \leq \frac{\sqrt{v^2 - v_m^2}}{2\pi R} \times 60 \quad (3)$$

式中 n ——刀盘转速

其中, $R = 0.205 \text{ m}$, $v_m = 0.7 \text{ m/s}$, $v = 34 \text{ m/s}^{[10]}$ 。因此,得 $1552 \text{ r/min} \leq n \leq 1584 \text{ r/min}$ 。

玉米植株切碎装置置于摘穗装置的下方,切碎和摘穗同时进行,选取摘穗辊直径 $D = 70 \text{ mm}$,摘穗辊转速 $n' = 1000 \text{ r/min}$,在相向旋转的摘穗辊作用下玉米植株被向下拉伸,此时植株相对于摘穗辊的径向速度为

$$v' = \frac{\pi D n'}{60} (1 - \varepsilon') \quad (4)$$

式中 ε' ——茎秆沿径向移动的打滑率,取 $0.05 \sim 0.08^{[11]}$

图1中每个刀盘上分布有4片动刀片,则玉米植株切碎长度为

$$l = \frac{v'}{4 \times \frac{n}{60}} \times 1000 = 15000 \frac{v'}{n} \quad (5)$$

经计算, $l \approx 33 \text{ mm}$,符合我国茎秆切碎还田要求指标。

2 切碎装置试验

试验(本试验中,动刀片离地高度为 90 mm)主要设备参照文献[12]。

试验辅助设备:北京三承恒薇科技有限公司生产的JSC-456型扭矩转速测量仪、德国西门子公司生产的3TF3100型变频器(变频器调节摘穗辊的转速范围为 $0 \sim 2600 \text{ r/min}$)、电源线、电子秤、游标卡尺、卷尺等。

试验条件:试验采用黄淮海地区普遍种植的鲁单818,种植区域为山东省淄博市张店区房镇范家村农场。将农场玉米地划分成16片区域,随机抽取10片区域,在这10片区域中随机各抽取30株玉米,将总计300株玉米植株和所在的株距作为试验对象,分别测量统计出各个参数值(表1),以最值的5%范围的平均值作为最终参数最值。

表1 玉米植株试验条件

Tab.1 Experiment conditions of maize stalk

参数	最小值	最大值	平均值
植株直径/mm	20	26	23
自然高度/mm	181	244	214
结穗高度/mm	940	1270	1055
株距/mm	180	290	240
籽粒含水率/%	26.2	27.3	26.9
植株根部含水率/%	77.8	78.5	78.2

试验方案:根据前期单因素试验结果,选切碎合格率(长度0~100 mm 茎秆质量占总质量的百分数)为指标,设计 $L_9(3^4)$ 正交试验。因素水平如表2所示。编码值为A、B、C。

表2 正交试验因素水平

Tab.2 Factor's levels of orthogonal experiment

水平	因素		
	喂入位置	行进速度/ $m \cdot s^{-1}$	刀盘转速/ $r \cdot min^{-1}$
1	左	0.7	1342
2	中	0.9	1459
3	右	1.1	1576

注:靠近定刀一侧为左侧喂入位置

正交试验结果如表3所示。由表可知,影响切碎合格率的因素按极差由大到小排列依次为:行进速度、喂入位置、刀盘转速,也就是说,行进速度对植株切碎合格率影响最大,其次为喂入位置,最后是刀盘转速;影响切碎合格率各因素的较优水平为:喂入位置靠近定刀一侧、行进速度为0.7 m/s、刀盘转速为1576 r/min。

表3 正交试验安排与结果

Tab.3 Schedule and results of orthogonal experiment

试验序号	A	B	C	空列	切碎合格率 y_i /%
1	1	1	1	1	95.6
2	1	2	2	2	89.2
3	1	3	3	3	91.3
4	2	1	3	2	90.3
5	2	2	1	3	86.4
6	2	3	2	1	86.4
7	3	1	2	3	90.2
8	3	2	3	1	91.3
9	3	3	1	2	84.1
k_1	92.03	91.97	87.7		
k_2	87.73	88.97	87.7		
k_3	88.53	87.37	90.9		
较优水平	A_1	B_1	C_3		
因素主次	B	A	C		

3 玉米植株运动规律

利用高速摄影技术,在所确定的玉米收获立式切茎台工作的较优因素水平条件下,对玉米植株在玉米收获立式切茎台中的运动规律进行试验研究。图像是三维空间物体在二维平面上的投影,利用高

速摄像机拍摄的图片得到像素坐标下一系列的以像素为单位的数值,通过图像处理软件进行空间校准、自动几何校正,消除图像的几何失真,最终将三次跟踪记录结果取平均值,获得植株在切碎装置中的运动轨迹。试验方案:①在试验中,设定刀盘转速为1576 r/min,喂入位置为靠近定刀一侧,行进速度为0.7 m/s。②试验以玉米植株为研究对象,研究其在立式切茎装置中的运动规律和运动轨迹。③经反复调试,试验时 Cam Record 1000 高速摄像机分辨率采用1280像素×1024像素,帧率为250 f/s。

3.1 玉米植株位移变化趋势

由图3知,整个过程持续约32 ms,接触瞬间属于弹性变形范畴:植株受到旋转片刀的撞击产生弹性变形,导致植株上的标记点位移增加,随之植株在变形反弹作用下迅速(约1.2 ms)恢复。

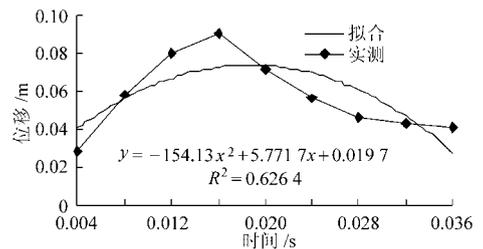


图3 玉米植株与刀刃接触瞬间位移与时间曲线

Fig.3 Fitted curve of distance against time in touching instant between cutter and maize stalk

由图4知,玉米植株受到旋转片刀的剪切作用产生塑性变形直至被拉断,位移随时间变化均匀,基本呈直线变化。

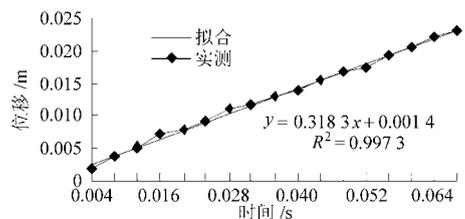


图4 玉米植株受切过程中位移与时间曲线

Fig.4 Fitted curve of distance against time in the process of cutting maize stalk

由图5知,玉米植株切碎后被抛撒,成水平初速度不为零的自由落体。

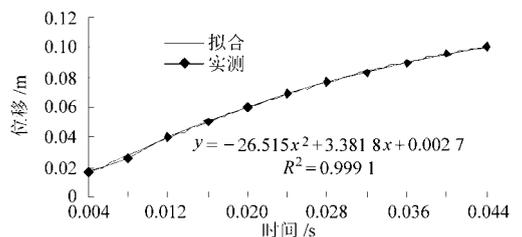


图5 玉米植株切碎后位移与时间曲线

Fig.5 Fitted curve of distance against time after cutting maize stalk

3.2 玉米植株运动速度变化趋势

由图6和图7知,植株与刀盘接触瞬间植株运动速度呈下降趋势,受切过程中植株运动速度在 $[0.25, 0.5]$ 之间往复波动;由于这两种状态下拟合方程中拟合度太低,不能真实反应玉米植株运动速度的变化规律,其运动状态具有很强的随机性,需要进一步研究。由图8知,玉米植株切碎后被抛撒,其运动速度基本呈线性持续减小。

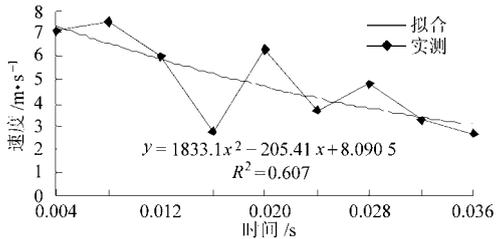


图6 玉米植株与刀盘接触瞬间运动速度与时间曲线
Fig.6 Velocity time fitted curve in touching instant between cutter and corn stalk

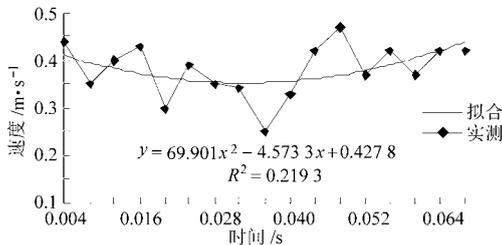


图7 玉米植株受切过程中运动速度与时间曲线
Fig.7 Velocity time fitted curve in the process of cutting maize stalk

4 结论

(1) 动刀片端点转动半径 $R = 0.205$ m, 机器行进速度 $v_m = 0.7$ m/s, 动刀片端点绝对速度 $v = 34$ m/s,

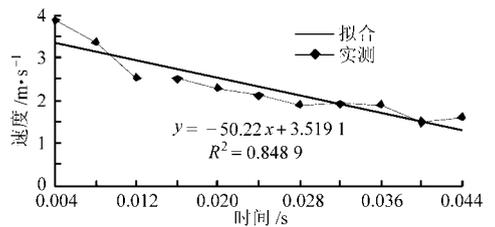


图8 玉米植株切碎后运动速度与时间曲线
Fig.8 Velocity time fitted curve after cutting maize stalk

摘穗辊直径 $D = 70$ mm, 刀盘转速 1552 r/min $\leq n \leq 1584$ r/min 时, 则秸秆切碎长度约为 33 mm, 满足茎秆切碎还田要求。

(2) 影响切碎合格率的因素按极差由大到小排列依次为: 行进速度、喂入位置、刀盘转速; 影响切碎合格率各因素的较优水平为: 行进速度为 0.7 m/s、喂入位置靠近定刀一侧、刀盘转速为 1576 r/min。

(3) 玉米植株位移的变化规律: 玉米植株与刀刀接触瞬间持续约 32 ms, 接触瞬间属于弹性变形范畴, 植株受到旋转片刀的撞击产生弹性变形, 导致植株上的标记点位移增加, 随之植株在变形反弹作用下(约 1.2 ms)迅速恢复; 玉米植株受切过程中, 玉米植株受到旋转片刀的剪切作用产生塑性变形直至被拉断, 位移随时间变化均匀, 基本呈直线变化; 玉米植株切碎后被抛撒, 呈水平初速度不为零的自由落体运动。

(4) 玉米植株运动速度变化趋势: 由于玉米植株在与刀盘接触瞬间及受切过程中影响因素较为复杂, 运动速度敏感性较大, 致使运动速度变化趋势、规律性不明显, 对此需要进一步研究; 玉米植株切碎后抛撒过程的运动速度基本呈线性持续减小。

参 考 文 献

- Hanna H M, Kohl K D, Haden D A. Machine losses from conventional versus narrow row corn harvest [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2002, 18(4): 405 ~ 409.
- Tiwari P S, Gite L P. Evaluation of work-rest schedules during operation of a rotary power tiller [J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2006, 36(5): 203 ~ 210.
- Takashi Kataoka, Sakae Shibusawa. Soil-blade dynamics in reverse-rotational rotary tillage [J]. Journal of Terra Mechanics, 2002, 39(2): 95 ~ 113.
- Akrtiidis C B. The mechanical characteristics of maize stalks in relation of the characteristics of cutting blade [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1974, 19(1): 1 ~ 12.
- O' Dogherty M J. Laboratory studies of the effect of blade parameters and stem configuration on the dynamics of cutting grass [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1991, 49: 99 ~ 111.
- 耿端阳. 免耕栽植机关键部件及控制系统开发研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003.
Geng Duanyang. Study on key parts of no-tillage transplanter and control system [D]. Beijing: China Agricultural University, 2003. (in Chinese)

- 9 邓志文,邓海华,刘洪山. 甘蔗茎皮硬度研究现状及电测技术[J]. 广东农业科学,2009(8):52~55.
Deng Zhiwen, Deng Haihua, Liu Hongshan. Research status of sugarcane rind hardness and its electrical measurement method [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2009, (8):52~55. (in Chinese)
- 10 袁红梅,郭玉明,李红渡. 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 Hongmei, Guo Yuming, Li Hongdu. Studies on bending mechanical properties of wheat stalk [J]. Journal of Shanxi Agricultural University, 2005, 25(2):173~176. (in Chinese)
- 11 李小城,刘梅英,牛智有. 小麦秸秆剪切力学性能的测试[J]. 华中农业大学学报,2012,31(2):253~257.
Li Xiaocheng, Liu Meiyong, Niu Zhiyou. Test of shear mechanical properties of wheat stalks [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2012, 31(2):253~257. (in Chinese)
- 12 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.
Gao Mengxiang, Guo Kangquan, Yang Zhongping, et al. Study on mechanical properties of cornstalk [J]. Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003, 34(4):47~49, 52. (in Chinese)
- 13 陈玉香,周道玮,张玉芬,等. 玉米茎秆剪切力研究[J]. 作物学报,2005,31(6):766~771.
Chen Yuxiang, Zhou Daowei, Zhang Yufen, et al. Shearing force of maize stem [J]. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(6):766~771. (in Chinese)
- 14 吴子岳,高焕文,张晋国. 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. 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)
- 15 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]. Transaction for the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(4):87~91. (in Chinese)
- 16 李玉道,杜现军,宋占华,等. 棉花秸秆剪切力学性能试验[J]. 农业工程学报,2011,27(2):124~128.
Li Yudao, Du Xianjun, Song Zhanhua, et al. Test of shear mechanical properties of cotton stalks [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(2):124~128. (in Chinese)

(上接第 119 页)

- 7 高焕文,李洪文,李问盈. 保护性耕作的发展[J]. 农业机械学报,2008,39(9):43~47.
Gao Huanwen, Li Hongwen, Li Wenying. Development of conservation tillage [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(9):43~47. (in Chinese)
- 8 张亮亮. 玉米植株在切碎装置中的运动规律研究[D]. 淄博:山东理工大学,2011.
Zhang Liangliang. Research on the motion law of maize plant in corn stalk chopper [D]. Zibo: Shandong University of Technology, 2011. (in Chinese)
- 9 贾洪雷,马成林,李慧珍,等. 基于美国保护性耕作分析的东北黑土区耕地保护[J]. 农业机械学报,2010,41(10):28~34.
Jia Honglei, Ma Chenglin, Li Huizhen, et al. Tillage soil protection of black soil zone in northeast of china based on analysis of conservation tillage in the United States [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(10):28~34. (in Chinese)
- 10 毛罕平,陈翠英. 秸秆还田机工作机理与参数分析[J]. 农业工程学报,1995,11(4):62~66.
Mao Hanping, Chen Cuiying. Design and experiment on combined-harvester [J]. Transactions of the CSAE, 1995, 11(4):62~66. (in Chinese)
- 11 张道林,孙永进,赵洪光,等. 立辊式玉米摘穗与茎秆切碎装置的设计[J]. 农业机械学报,2005,36(7):50~52.
Zhang Daolin, Sun Yongjin, Zhao Hongguang, et al. Design and experiment on combined-harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(7):50~52. (in Chinese)
- 12 于磊,李其昀,石凤刚,等. 立式茎秆还田机切碎性能影响因素的研究[J]. 山东理工大学学报,2009,7(4):70~72.
Yu Lei, Li Qiyun, Shi Fenggang, et al. Experimental investigations on cutting effect of the maize stalk chopper with vertical shafts [J]. Journal of Shandong University of Technology, 2009, 7(4):70~72. (in Chinese)