

玉米秸秆剥穗机构参数优化*

王德福¹ 陈争光² 于克强²

(1. 河南农业大学机电工程学院, 郑州 450002; 2. 东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

【摘要】 为了研制玉米秸秆皮穗叶分离设备,对剥穗机构进行了试验研究。利用试验台对其主要影响因素:剥穗刀与支持板间隙、剥穗刀数量、剥穗刀安装角和剥穗辊转速进行了试验,并以秸秆外皮完整率和含穗率作为评价指标。试验表明,当间隙 2.0 ~ 3.0 mm、剥穗刀 6 把、剥穗刀安装角 15°和剥穗辊转速 1 000 r/min 时,其外皮完整率达 95% 且含穗率低于 2%。

关键词: 玉米秸秆 皮与穗 分离机构 理论分析 试验

中图分类号: S817.19 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)10-0090-05

Parameter Optimization on Separating Mechanism for Rind and Pith of Corn Straw

Wang Defu¹ Chen Zhengguang² Yu Keqiang²

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

2. College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract

For studying the separation equipment for rind and pith of corn straw, the key mechanism for separation of rind and pith was experimented. In experiments, distance between pith-stripping blades and supporting blade, quantity and installation angle of pith-stripping blades, rotation speed of pith-stripping roll were chosen as experimental factors. Rind-intact percentage and pith-remain percentage were decided as evaluation indexes. The results showed that with distance of 2.0 ~ 3.0 mm, quantity of blades of 6 pieces, installation angle of blades of 15°and rotation speed of roll of 1 000 r/min, rind-intact percentage was over 95% and pith-remain percentage was below 2%.

Key words Corn straw, Rind and pith, Separating mechanism, Theory analysis, Experiment

引言

我国年产玉米秸秆已超过 2 亿 t。长期以来,玉米秸秆主要被用作饲料、燃料、肥料^[1~8],或将其就地焚烧。

近些年,随着国内外对玉米秸秆等生物质资源研究与利用的深入,玉米秸秆的精细化利用价值越来越受到重视。

玉米秸秆皮穗叶中的成分含量相差较大,通常玉米秸秆外皮中含有丰富的木质素,可作建筑材料或造纸;叶和穗中含有丰富的营养物质,可用作反刍动物的优质饲料或制取乙醇等。因此,实现玉米秸

秆皮、穗、叶的有效分离,将有利于资源的高效利用。

为将皮穗叶有效分离,以实现其最大利用价值,需要开发适用的皮穗叶分离设备^[9~10]。为此,本文对玉米秸秆皮穗叶分离设备中的剥穗机构进行参数优化试验研究。

1 材料与方法

1.1 试验装置与工作原理

试验台由喂入、分展和剥穗等机构组成,如图 1 所示。该试验台能同时加工 6 列玉米秸秆,其外形尺寸为 1 500 mm × 1 100 mm × 1 250 mm,配 2 台电动机,一台通过变频器控制驱动剥穗辊高速旋转,一台

收稿日期: 2011-10-27 修回日期: 2012-01-16

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2009AA043602)和黑龙江省科技攻关资助项目(GA09B501)

作者简介: 王德福,教授,博士生导师,主要从事畜牧机械化研究,E-mail: dfwang0203@163.com

用于驱动喂入和分展机构。

为深入研究剥穗过程,应用 V5.1 型数字式高速摄影录像及播放设备。

工作时,将玉米秸秆根部向前放置于喂入机构上,由其将秸秆分成 6 列并送向夹持定位辊。随后秸秆被夹持导送到分展机构,由其将秸秆从中部展开,展开后的秸秆被送向压辊。经压辊压缩的玉米秸秆被匀速送向剥穗辊,由其上安装的剥穗刀以较高的相对速度进行切穗作业,穗分离后被抛送到后下部,外皮则由后部输出。

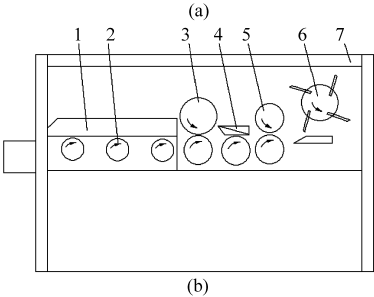
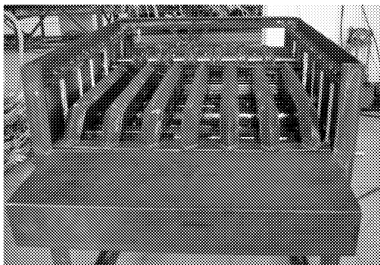


图 1 玉米秸秆剥穗试验台

Fig.1 Configuration of separating equipment of rind and pith of corn straw

(a) 试验台实物图 (b) 试验台示意图

1. 分隔架 2. 喂入辊 3. 夹持定位辊 4. 分展机构
5. 压辊 6. 剥穗辊 7. 机架

1.2 试验材料和方法

1.2.1 试验材料

采用黑龙江省双城市 2011 年春季干玉米秸秆,去掉叶片,随机抽取直径大于 15 mm 的秸秆作为试验材料,其最大含水率为 9.7%。

1.2.2 试验方法

针对剥穗机构的主要影响因素:剥穗刀与支持板间隙、剥穗刀数量和剥穗刀转速,进行多因素试验。试验安排如表 1 所示。

本文主要对剥穗刀安装角(刀尖和剥穗辊中心连线与刀面的夹角)45°(为可采用的最大角度)情况进行试验研究,且对安装角 15°(为可采用的较小角度)情况进行了对照试验,两种安装角的剥穗刀旋转直径分别为 160 mm 和 186 mm。

1.3 评价指标

将玉米秸秆外皮完整率(利于收集和加工)和

表 1 因素水平编码
Tab.1 Factors and levels

水平	因素		
	转速 $X_1/\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$	间隙 X_2/mm	刀数 $X_3/\text{把}$
-1.682	995	1.5	1.3(1)
-1	1 200	2.0	2
0	1 500	2.8	3
1	1 800	3.6	4
1.682	2 005	4.2	4.7(5)

外皮含穗率作为质量评价指标。

1.3.1 外皮完整率

剥穗加工所获得的玉米秸秆外皮主体部分为筒状,其质量占分离所得的外皮总质量的百分比(取样时去掉直径小于 10 mm 部分)称为外皮完整率。每组试验重复 5 次(若样本间差异大,需另加 5 次重复),取试验结果的平均值作为该组试验的外皮完整率。其计算公式为

$$W = \frac{q}{M} \times 100\%$$

式中 W ——外皮完整率,%
 q ——筒状外皮质量,g
 M ——分离所得外皮总质量,g

1.3.2 外皮含穗率

由玉米秸秆剥穗机构加工后,所获得的玉米秸秆外皮上残留的穗质量占分离所得的外皮总质量的百分比(取样时去掉直径小于 10 mm 部分)称为外皮含穗率。每组试验重复 5 次(若样本间差异大,需另加 5 次重复),取试验结果的平均值作为该组试验的外皮含穗率。其计算公式为

$$Y = \frac{x}{X} \times 100\%$$

式中 Y ——外皮含穗率,%
 x ——外皮上残留穗质量,g
 X ——去穗后分离所得外皮总质量,g

2 理论分析

玉米秸秆在压辊的压缩(由 10 ~ 12 mm 压缩到压辊间隙 3.5 mm)及推送下进入剥穗机构,并受高速旋转的剥穗刀的切削作用实现外皮与内穗的分离。

玉米秸秆进入剥穗机构后,其所受力如图 2 所示。

$$P + Q - F = ma \tag{1}$$

$$Q = R\cos\gamma \tag{2}$$

$$N = R\sin\gamma \tag{3}$$

式中 P ——压辊对玉米秸秆推送力

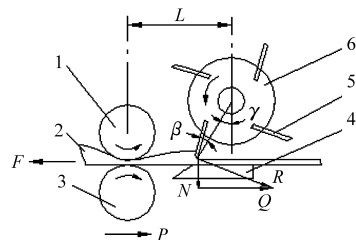


图2 玉米秸秆剥穗机构分析

Fig. 2 Analysis for separating mechanism of rind and pith of corn straw

1. 压辊(上) 2. 玉米秸秆 3. 压辊(下) 4. 支持板 5. 剥穗刀
6. 剥穗辊

F ——玉米秸秆运动总阻力
 R ——剥穗刀对玉米秸秆作用力,此力间断作用于玉米秸秆
 Q ——剥穗刀对玉米秸秆作用力水平分力,此力间断作用于玉米秸秆
 N ——剥穗刀对玉米秸秆作用力垂直分力,此力间断作用于玉米秸秆
 γ ——剥穗刀刀尖和剥穗辊中心连线与垂直中心线夹角
 m ——玉米秸秆质量
 a ——玉米秸秆运动加速度

当玉米秸秆通过剥穗机构且其剩余长度大于 L 时,秸秆处于受力平衡状态,此时秸秆主要受压辊压缩及推送作用,其运动速度与压辊表面线速度基本一致,秸秆匀速向前运动,加速度 $a = 0$ 。此时,高速旋转的剥穗刀以较高的相对线速度切离已展开玉米

秸秆的内穗,并将其沿秸秆前进方向抛送。
当玉米秸秆经过剥穗机构且其剩余长度小于 L 时,由于秸秆脱离,秸秆主要受剥穗刀施加力 R 作用,并随剥穗刀以加速度 $a (>0)$ 向前抛送(图 3a ~ 3f)。此时,高速旋转的剥穗刀仅仅是带动秸秆向前运动,因而无法进行剥穗作业,此段秸秆上残留有未剥的穗(图 3h ~ 3i)。因此,要求剥穗作业时秸秆根部先喂入,使未剥穗的部分为秸秆很细的顶部(一般为直径小于 10 mm 的无用部分),同时设计时应尽量减小距离 L (减小压辊尺寸、控制剥穗辊尺寸)。

力 N 形成剥穗刀对玉米秸秆的间断垂直作用力(图 2)。当安装角 β 较小时,则力 N 形成剥穗刀对玉米秸秆内穗和外皮的砍切作用力,且 β 角越小、 N 力越大、剥穗刀与支持板间隙越小,砍切作用越强,同时剥穗机构产生的鼓风作用也越大(功耗增加)。在一定范围内($\beta \leq 45^\circ$)随 β 角增加,剥穗刀对玉米秸秆内穗的斜切作用增强、砍切作用减弱,有利于增加内穗纤维的切割能力(进而增加切穗能力)及秸秆外皮完整率(图 4a)。由高速摄像研究分析可知,随 β 角增加,剥穗刀的斜切作用增强了层剥能力,尤其利于切离贴近外皮的内穗并产生带状穗(图 4b)。因此,安装角 β 在剥穗刀与支持板间隙较小时不宜过小,且较大的安装角利于切穗作业。

3 试验结果与分析

经对多因素试验结果分析,获得了各因素对外皮完整率和含穗率的影响规律。其单因素影响规律

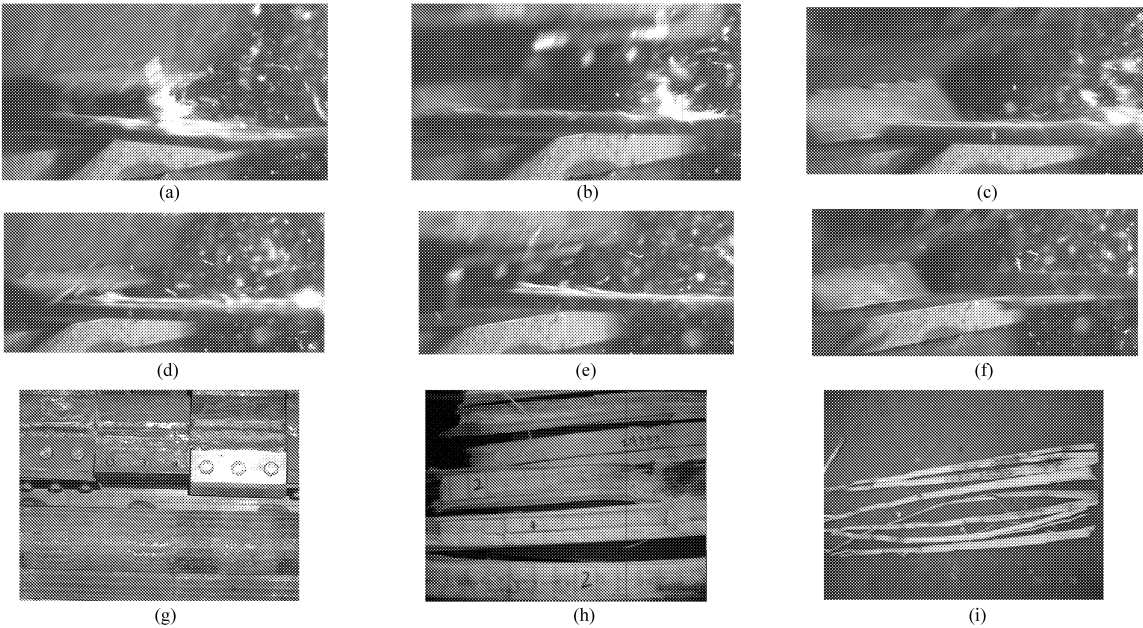


图3 玉米秸秆后段抛送过程及后段秸秆照片

Fig. 3 Figure of corn straw thrown

- (a) 剥穗刀最后一次切穗 (b) 剥穗刀拖带 (c) 剥穗刀推送 (d) 剥穗刀抛送 (e) 秸秆脱离剥穗刀 (f) 秸秆抛离
(g) 压辊和剥穗辊 (h) 未被剥穗的秸秆后段(可见压辊的压痕) (i) 秸秆后段位于较细的顶部

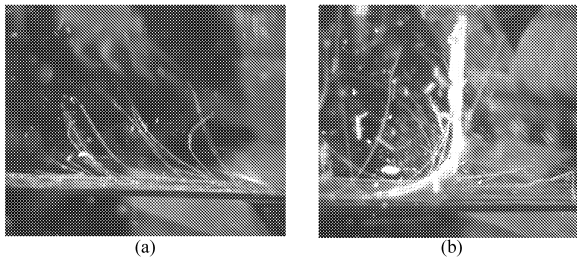


图 4 内穗纤维丝与带状穗

Fig. 4 Fiber in pith and ribbon pith

(a) 内穗纤维丝 (b) 带状穗

如图 5 所示。

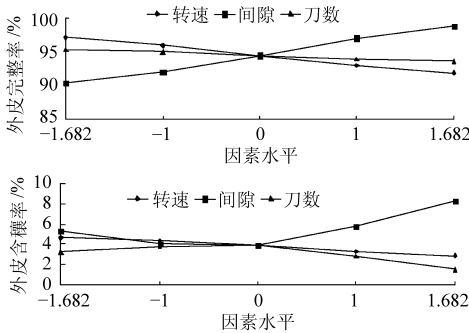


图 5 单因素影响规律

Fig. 5 Effect of single factor

3.1 剥穗刀与支持板间隙

由测量可知,玉米秸秆外皮厚度大约在 0.3 ~ 2.0 mm 之间。为此,本文在多因素试验中选取间隙范围为 1.5 ~ 4.2 mm。

随着间隙的增加,外皮完整率呈上升趋势,而外皮含穗率呈缓降又较快上升趋势(图 5)。这说明间隙在试验范围内取值过小或过大都不利,本试验中间隙为 2.0 ~ 3.0 mm 时外皮含穗率较低且外皮完整率较高。

本文还对安装角 $\beta = 15^\circ$,剥穗刀 6 把,剥穗辊转速 1 000 r/min 情况进行了试验。其结果也表明间隙宜在 2.0 ~ 3.0 mm 之间选取。

这主要是由于间隙小于 2.0 mm 时秸秆(一般在结节处)被切(扯)断的比例较高,而被切断部分的穗未被剥离;当间隙大于 3.0 mm 时外皮里层的

穗难以被剥离,含穗率迅速上升。

3.2 剥穗刀数量

随着剥穗刀数量的增加,外皮完整率呈缓降趋势,含穗率呈先缓升后较快下降趋势(图 5)。剥穗刀数量宜取 4 把。

利用高速摄像技术进行试验(剥穗辊转速 1 600 r/min,剥穗刀与支持板间隙 2.5 mm)也表明,当剥穗刀取 1、2、3、4、6 把时,由于剥穗辊高速旋转,其对外皮完整率和含穗率指标影响不大,但对剥掉穗的形态和剥穗效率有影响。图 6 为 2 ~ 4 把剥穗刀切削瞬间的情况。经 2、3、4 把剥穗刀剥穗后剥下穗的厚度呈 30% ~ 40% 的比值递减。这是由于在转速确定且秸秆运动速度基本恒定的情况下,增加剥穗刀数量导致每把刀可切穗量减少。剥穗刀数量越少,剥下穗尺寸越大但效率越低;反之,碎穗越多但效率越高。因此,剥穗刀数量取 4 把较合适。

3.3 剥穗辊转速

随着转速的增加,外皮完整率呈下降趋势,而外皮含穗率呈缓降趋势,这说明转速对外皮完整率的影响更大(图 5)。这是因为在剥穗刀数量和线速度足够的情况下,增加转速除使剥下穗的尺寸减小外,对外皮含穗率影响已很有限了,同时过高的转速易于撕断秸秆。因此,转速取 1 500 r/min 较合适。

本文还对安装角 $\beta = 15^\circ$,剥穗刀 6 把,剥穗刀与支持板间隙 2.5 mm 情况进行了试验。试验结果也表明,随转速的增加,外皮完整率呈下降趋势;而含穗率在 1 000 r/min 时获得较小值,随后呈缓慢上升趋势。这主要是由于剥穗刀的砍切作用增强,秸秆被切(扯)断的比例升高,而此部分的穗未被剥离。因此,安装角 $\beta = 15^\circ$ 时转速取值不宜过高,应取 1 000 r/min 较合适。

3.4 剥穗刀安装角

对安装角 15° 、 45° 的情况进行了试验。

从试验中可知,当剥穗刀与支持板的间隙较小(1.0 ~ 2.0 mm)时,安装角 15° 比安装角 45° 的外皮

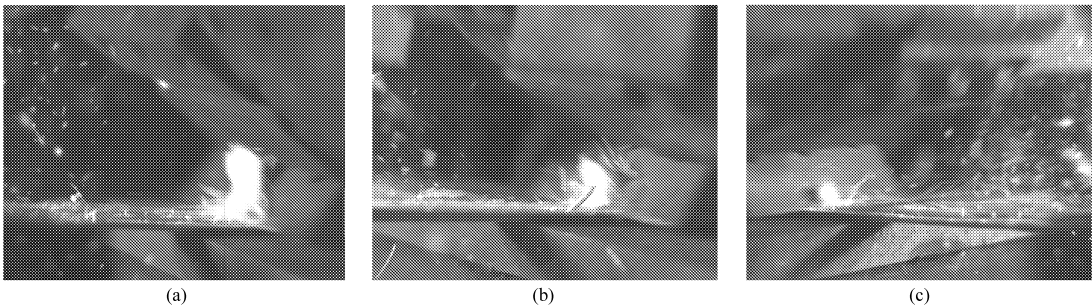


图 6 安装角 45° 时剥穗刀切穗瞬间图

Fig. 6 Cutting effect of pith-stripping blades with 45° angle

(a) 2 把刀 (b) 3 把刀 (c) 4 把刀

完整率低 10% ~ 15%, 外皮含穗率高 7% ~ 10%。这主要是由于较小的安装角增强了砍切作用, 而切(扯)断的秸秆上残留穗较多; 当间隙大于 2.0 mm 时, 安装角 15° 比安装角 45° 的外皮完整率约低 5%, 外皮含穗率差异较小。同时安装角 15° 比安装角 45° 的鼓风作用强, 这导致功耗增加。经试验分析, 安装角 β 较小(如 15°) 时, 剥穗辊转速宜取较小值(1 000 r/min); 安装角 β 较大(如 45°) 时, 剥穗辊转速可取较大值(1 500 r/min) 以提高效率。

3.5 试验验证

综合考虑上述各影响因素, 为提高外皮完整率、降低外皮含穗率, 采用剥穗刀与支持板间隙 2.0 ~ 3.0 mm、剥穗刀 6 把、剥穗刀安装角 15° 和剥穗辊转速 1 000 r/min 进行样机设计与制造。经黑龙江省农机鉴定站性能检测证实, 玉米秸秆外皮完整率达 95%、外皮含穗率低于 2.0%。

玉米秸秆皮穗分离机加工的样品如图 7 所示。



图 7 玉米秸秆皮穗分离机加工的皮与穗

Fig. 7 Rind and pith separated by equipment

(a) 外皮 (b) 穗

4 结论

(1) 利用玉米秸秆剥穗试验台, 对剥穗机构的主要参数进行了试验研究与分析, 确定了其选择依据与参数范围。

(2) 剥穗机构的参数为剥穗刀与支持板间隙 2.0 ~ 3.0 mm, 剥穗刀 4 把(或 6 把), 剥穗刀安装角 15°、45° 时剥穗辊转速分别为 1 000 r/min、1 500 r/min。

参 考 文 献

- 张强, 秦涛, 张红艳, 等. 玉米秸秆的综合开发利用[J]. 玉米科学, 2006, 14(2): 168 ~ 169.
Zhang Qiang, Qin Tao, Zhang Hongyan, et al. The comprehensive development of the corn stalk[J]. Journal of Maize Sciences, 2006, 14(2): 168 ~ 169. (in Chinese)
- 沙洪林, 佟时, 张维友, 等. 我国农作物秸秆产生及综合利用现状分析[J]. 吉林农业科学, 2010, 35(4): 51 ~ 55.
Sha Honglin, Tong Shi, Zhang Weiyu, et al. Analysis on current situation of producing and comprehensive utilization of stalks of agricultural crops[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2010, 35(4): 51 ~ 55. (in Chinese)
- Han Lujia, Teng Guanghui, Liu Xiangyang, et al. Straw resources and utilization in China[C] // 2003 ASABE Annual Meeting, Paper 034164, 2003.
- 樊菲, 周美华. 实现秸秆工业原料资源化利用[J]. 中国资源综合利用, 2004(4): 13 ~ 17.
Fan Fei, Zhou Meihua. Make the use of straw resource as industrial raw and processed materials[J]. China Resource Comprehensive Utilization, 2004(4): 13 ~ 17. (in Chinese)
- 杨中平, 杨林青, 郭康权, 等. 玉米秸外皮碎料板制板工艺的初步研究[J]. 西北林学院学报, 1995, 10(3): 67 ~ 72.
Yang Zhongping, Yang Linqing, Guo Kangquan, et al. A preliminary study on the technology of making corn stalk cuticles particle board[J]. Journal of Northwest Forestry College, 1995, 10(3): 67 ~ 72. (in Chinese)
- 李捷, 郭康权. 玉米秸秆髓芯热压瓦楞芯纸的试验[J]. 农业机械学报, 2005, 36(7): 89 ~ 91.
Li Jie, Guo Kangquan. Experimental study on corrugated paper production from corn stalk by hot press process[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(7): 89 ~ 91. (in Chinese)
- Jeewon Lee. Biological conversion of lignocellulosic biomass to ethanol[J]. Journal of Biotechnology, 1997, 56(1): 1 ~ 24.
- 莫放, 赖景涛, 张晓明, 等. 玉米秸秆精粗颗粒饲料加工与应用[J]. 粮食与饲料工业, 2006(3): 28 ~ 29.
Mo Fang, Lai Jingtao, Zhang Xiaoming, et al. Processing and application of complete pellets produced from corn stalk[J]. Cereal and Feed Industry, 2006(3): 28 ~ 29. (in Chinese)
- 孙竹营. 玉米秸秆皮穗分离利用[J]. 饲料博览, 1999, 11(9): 32.
- 刘丽玲, 王德福. 玉米秸秆皮瓢分离机剖瓢机构试验研究[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(2): 43 ~ 47.
Liu Liling, Wang Defu. Experimental study on separating mechanism of corn straw[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2011, 42(2): 43 ~ 47. (in Chinese)