

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.04.013

# 弹性齿滚筒式甘蔗剥叶装置<sup>\*</sup>

牟向伟 区颖刚 刘庆庭 吴昊 宋键铭

(华南农业大学南方农业机械与装备关键技术省部共建教育部重点实验室, 广州 510642)

**【摘要】** 为了解决整秆式甘蔗收获机剥叶过程由于多根喂入和带尾部剥叶造成含杂率和折断率高的问题, 设计了弹性齿滚筒式甘蔗剥叶装置, 阐述了喂入、输出滚筒和剥叶滚筒的结构和剥叶原理, 确定了主要部件的结构参数。通过四因素三水平正交试验研究剥叶元件弹性齿角度、剥叶滚筒中心距、剥叶滚筒转速和喂入、输出滚筒转速等4个因素对含杂率、茎秆折断率和断尾率的影响和最优参数组合, 在此基础上进行综合剥叶试验。结果表明, 最优参数组合为: 剥叶元件弹性齿角度  $90^\circ$ 、剥叶滚筒中心距 310 mm、剥叶滚筒转速 700 r/min 和喂入、输出滚筒转速 150 r/min。甘蔗单根连续喂入 319.19 kg, 含杂率为 1.56%、茎秆折断率为 20.45%、断尾率为 65.97%; 3~5根连续喂入 274.52 kg, 相应的剥叶指标依次为 2.38%、25.93% 和 75.59%。

**关键词:** 甘蔗剥叶 弹性齿滚筒式 含杂率 折断率 断尾率 设计

**中图分类号:** S225.5<sup>+</sup>3; S220.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)04-0060-06

## Elastic Dentation Roller Type Sugarcane Leaf-stripping Device

Mou Xiangwei Ou Yinggang Liu Qingting Wu Hao Song Jianming

(Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education,  
South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

### Abstract

In order to solve the problem of high impurity rate and stalk broken rate existing in the leaf-stripping process of the whole stalk sugarcane combine harvester, the elastic dentation roller type leaf-stripping test device was designed. The main structure of feeding roller, output roller and leaf-stripping roller and the principle of leaf-stripping were introduced. The structure parameters of main parts were determined. The orthogonal experiments were conducted to study the influence between the following four factors, the installation angle of leaf-stripping component, the center distance between the top and bottom leaf-stripping rollers, rotate speed of leaf-stripping rollers and rotate speed of feeding and output rollers, and the following three indexes on leaf-stripping quality, impurity rate, stalk broken rate and top broken rate. The result showed that the optimal parameters were as following: the installation angle of leaf-stripping component was  $90^\circ$ , the center distance between the top and bottom leaf-stripping rollers was 310 mm, rotate speed of leaf-stripping rollers equaled 700 r/min and rotate speed of feeding and output rollers equaled 150 r/min. In the meantime, when the total weight of 319.19 kg sugarcane was fed continuously into the device in the way of single stalk, the impurity rate, stalk broken rate and top broken rate reached to 1.56%, 20.45% and 65.97%. Otherwise, when the total weight of 274.52 kg sugarcane was fed continuously into the device in the way of three to five stalks simultaneously, the final result was 2.38%, 25.93% and 75.59% respectively.

**Key words** Sugarcane leaf-stripping, Elastic dentation roller type, Impurity rate, Stalk broken rate, Top broken rate, Design

收稿日期: 2011-06-08 修回日期: 2011-06-17

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金资助项目(50875091)和国家甘蔗现代产业体系专项资金资助项目(nycytx-024-01-06)

**作者简介:** 牟向伟, 博士生, 主要从事甘蔗收获机械研究, E-mail: xwmou@126.com

**通讯作者:** 区颖刚, 教授, 博士生导师, 主要从事甘蔗收获机械研究, E-mail: ouying@scau.edu.cn

引言

剥叶是甘蔗整秆收获过程中的关键工序。目前小型剥叶机按照甘蔗喂入方式分为尾部喂入和根部喂入 2 种机型。尾部喂入机型主要采用尼龙刷作为剥叶元件，甘蔗由蔗尾喂入，在剥叶刷反向梳理作用下，蔗叶被撕扯剥除<sup>[1-3]</sup>。根部喂入机型主要采用尼龙条排刷或橡胶指式剥叶元件，甘蔗由蔗根喂入剥叶。尼龙条排刷式剥叶元件对蔗叶施加打击力击碎蔗叶后脱落，剥叶元件的材料、角度、交错深度和滚筒转速等因素对剥叶质量有影响，该机型对切掉尾部甘蔗的剥叶含杂率不超过 1%<sup>[4-8]</sup>。橡胶指的棱角可以楔入叶鞘，对茎秆产生摩擦作用将叶片剥落<sup>[9]</sup>。整秆式甘蔗收获机剥叶原理与根部喂入小型剥叶机基本一致，但收获过程中经常出现一簇多根甘蔗一起喂入的情况，茎秆相互挤压，无法有效接触剥叶元件；另外，甘蔗生长高度不一致，切尾机构无法有效切除茎秆尾部，需带尾部进行剥叶。因此，整秆式甘蔗收获机剥叶的含杂率和折断率较高。

本文设计弹性齿滚筒式剥叶装置，通过正交试验研究剥叶元件弹性齿角度、剥叶滚筒中心距、剥叶滚筒转速和喂入、输出滚筒转速对剥叶质量的影响，并进行综合剥叶试验，检验剥叶装置的剥叶效果，为整秆式甘蔗联合收获机剥叶装置的设计提供依据。

1 结构与工作原理

1.1 整机结构

弹性齿滚筒式甘蔗剥叶试验装置主要由驱动马达、浮动齿轮连接板、浮动连接板、侧板、喂入滚筒组、驱动轴、剥叶滚筒组、输出滚筒组、传动链条和传动齿轮系组成，如图 1 所示。

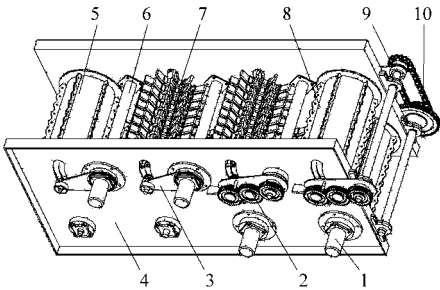


图 1 甘蔗剥叶装置示意图

Fig. 1 Structure of sugarcane leaf-stripping device

1. 驱动马达 2. 浮动齿轮连接板 3. 浮动连接板 4. 侧板
5. 喂入滚筒组 6. 驱动轴 7. 剥叶滚筒组 8. 输出滚筒组
9. 传动链条 10. 传动齿轮系

1.2 主要部件结构

1.2.1 喂入和输出滚筒

如图 2 所示，喂入和输出滚筒的表面均匀分布

着 6 条呈波浪线形状的橡胶条，一簇多根喂入的甘蔗在橡胶条的挤压作用下可以平均分散到凹槽中，增加甘蔗与剥叶元件的接触机会。凹槽宽度为 48 mm、深度为 10 mm，为防止甘蔗叶片缠绕在滚筒上，橡胶条凹槽的最低点所在圆弧的直径为 260 mm，滚筒轴向长度为 490 mm。

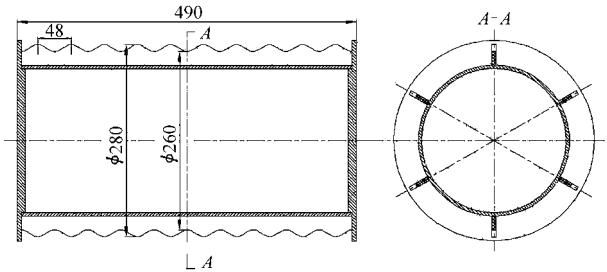


图 2 喂入和输出滚筒结构图

Fig. 2 Structure of feeding and output rollers

1.2.2 剥叶滚筒

剥叶滚筒主要由剥叶元件、隔套、滚筒和键等部件组成。剥叶元件整体结构为圆片带齿单元，圆片单元外侧圆周呈放射状均匀分布的 12 条长 60 mm、宽 30 mm、厚 10 mm 的弹性齿，内侧圆周分布花键槽，如图 3a 所示。为了改变弹性齿对于蔗叶打击力的分布形式，弹性齿与圆片单元端面可呈一定的夹角  $\theta$  (图 3b)，具体数值由试验确定。剥叶元件由聚氨酯材料制作，邵氏硬度为 85HA。剥叶元件整体设计有利于增大打击过程中弹性齿的弹性变形并避免因机械装夹造成弹性齿根部应力集中问题。

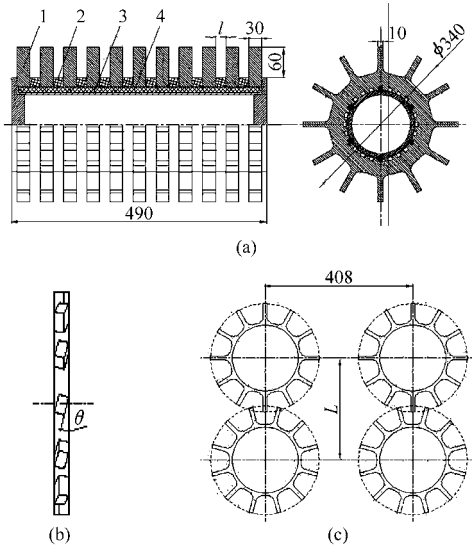


图 3 剥叶滚筒结构示意图

Fig. 3 Structure of leaf-stripping rollers

- (a) 剥叶滚筒结构 (b) 弹性齿安装角 (c) 剥叶滚筒布置
1. 剥叶元件 2. 隔套 3. 滚筒 4. 键

剥叶元件与隔套在滚筒表面沿轴线方向均匀间隔排列，隔套的直径与圆片单元的外侧圆周直径相

等,相邻 2 个剥叶元件的弹性齿之间具有宽  $l$ 、深 60 mm 的槽, $l$  与  $\theta$  有关。在剥叶过程甘蔗可以从槽间通过,处于 2 侧的弹性齿可以同时接触甘蔗,增大接触面积,有利于将蔗叶剥离。

由于茎秆尾部生长点位置被多片湿叶重叠覆盖,且包裹紧实,致使 1 对剥叶滚筒无法将蔗叶完全脱离,茎秆尾部无法折断,造成含杂率升高。因此,本机设置 2 对剥叶滚筒(图 3c),每对滚筒呈上、下对称布置,剥叶元件弹性齿在圆周方向交错排列,左、右滚筒间距为 408 mm。

### 1.3 工作原理

喂入滚筒、剥叶滚筒和输出滚筒在驱动马达和传动链条、传动齿轮带动下相向转动。各滚筒组的上部滚筒均可在浮动齿轮连接板和浮动连接板的带动下绕驱动轴在侧板的圆弧槽内浮动。甘蔗根部经输送滚筒组在橡胶条的强制作用下进入剥叶滚筒组的工作区域,剥叶元件的弹性齿与蔗叶接触,剥叶后甘蔗经输出滚筒组向后输出。

通过高速摄影观察,将叶鞘的破坏总结为 3 个过程:①相邻 2 个弹性齿接触蔗茎和叶鞘,对蔗茎施加轴向和切向弹性打击力,轴向力平行于叶鞘纤维方向,切向力垂直于叶鞘纤维方向。②弹性齿在滚筒旋转过程发生弹性变形,其尖角楔入叶鞘的纤维中,同时左、右 2 侧的弹性齿沿着蔗茎的表面向下滑动。滑动过程中,切向力将叶鞘撕裂成条状,叶鞘整体抵抗破坏的能力下降。③弹性齿滑动后对蔗茎形成夹持,在继续的转动过程中轴向力将撕裂破坏的叶鞘刮离茎秆<sup>[10]</sup>。

上述分析可得,弹性齿与蔗茎接触的频率及接触过程弹性齿沿着茎秆表面滑动造成叶鞘撕裂对蔗叶破坏至关重要。影响接触频率主要因素为喂入和输出滚筒转速、剥叶滚筒转速,影响弹性齿对蔗叶产生撕裂作用的主要因素为上、下剥叶滚筒的中心距、相邻弹性齿的间距以及弹性齿的角度等。

## 2 试验

### 2.1 材料

采用广东省广前糖业发展有限公司前进分公司种植的新台糖-16 作为试验甘蔗。种植时间为 2010 年 3 月,行距 900~1 000 mm、株距 100 mm,产量约 90 t/hm<sup>2</sup>。采样时间为 2011 年 2 月 28 日,试样要求甘蔗叶鞘、叶片和尾部完整保留,在同一地块采集甘蔗约 4 000 株,总质量约 8 t。甘蔗生长长度为 2 353 mm,平均节数为 18.2 节、叶茎比(叶子质量含尾部质量)为 0.154。甘蔗根部、中部和尾部的茎节长依次为 139.2、145.8 和 123.5 mm,对应的直径

依次为 28.6、26.4 和 23.5 mm,相应的叶鞘和叶片长度分别为 345.5 和 927.7、313.5 mm 和 1 121.3、316.5 和 1 243.3 mm。

### 2.2 设备

自行研制的剥叶试验台,上、下滚筒中心距  $L$  可在 290~330 mm 范围内调整(图 3c),当中心距为 310 mm 时,上、下滚筒的剥叶元件弹性齿外侧圆弧交错深度为 15 mm。弹性齿角度可在 0~90°调整,当夹角为 0°时,相邻弹性齿的间距  $l$  为 15 mm;当夹角为 90°时, $l$  为 30 mm;夹角为 45°时, $l$  为 20 mm。

### 2.3 方法

选择剥叶元件弹性齿角度、剥叶滚筒中心距、剥叶滚筒转速和喂入、输出滚筒转速作为试验因素,设计了四因素三水平正交试验,因素和水平如表 1 所示,选用 L<sub>27</sub>(3<sup>13</sup>) 正交表安排试验。

根据正交试验得出的参数组合,安排单根甘蔗连续喂入试验和多根(3~5 根)甘蔗连续喂入试验。

表 1 正交试验因素与水平

Tab.1 Factors and levels of orthogonal experiment

| 水平 | 因素                |               |                                 |                                 |
|----|-------------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|
|    | 剥叶元件<br>弹性齿       | 剥叶滚筒<br>间距    | 剥叶滚筒<br>转速 $C$                  | 喂入、输出滚<br>筒转速 $D$               |
|    | 角度 $A/(^{\circ})$ | $B/\text{mm}$ | $/\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ | $/\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ |
| 1  | 0                 | 290           | 300                             | 100                             |
| 2  | 45                | 310           | 500                             | 150                             |
| 3  | 90                | 330           | 700                             | 200                             |

### 2.4 试验指标

取含杂率  $J_h$ 、茎秆折断率  $Z_d$  和断尾率  $D_w$  作为试验指标,其中  $J_h\leq 7\%$ 、 $Z_d\leq 18\%$  是小型甘蔗剥叶机合格作业的性能指标,引作参考。

$$J_h = \frac{m_1 + m_2}{m} \times 100\% \tag{1}$$

$$Z_d = \frac{n_1}{n} \times 100\% \tag{2}$$

$$D_w = \frac{m_3}{m_2 + m_3} \times 100\% \tag{3}$$

式中  $m_1$ ——剥叶后残留在茎秆上未剥掉叶子质量,kg  
 $m_2$ ——剥叶后残留在茎秆上未折断尾部质量,kg  
 $m_3$ ——剥叶后折断尾部质量,kg  
 $m$ ——剥叶后蔗茎质量,kg  
 $n_1$ ——长度大于 20 cm 的折断茎秆数量,根  
 $n_2$ ——一次试验喂入茎秆总数量,根

3 结果

3.1 正交试验结果

对正交试验结果(表2)进行直观分析,得出各因素对于结果的影响趋势,如图4所示。

表2 正交试验安排与结果  
Tab.2 Arrangements and results of  
orthogonal experiment

| 序号 | A | B | C | D | $J_h$ / % | $Z_d$ / % | $D_w$ / % |
|----|---|---|---|---|-----------|-----------|-----------|
| 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 8.63      | 2.22      | 15.72     |
| 2  | 1 | 1 | 1 | 2 | 10.06     | 6.67      | 30.28     |
| 3  | 1 | 1 | 1 | 3 | 11.38     | 8.89      | 9.18      |
| 4  | 1 | 2 | 2 | 2 | 5.95      | 8.33      | 47.76     |
| 5  | 1 | 2 | 2 | 3 | 8.82      | 14.44     | 17.30     |
| 6  | 1 | 2 | 2 | 1 | 5.36      | 5.56      | 52.40     |
| 7  | 1 | 3 | 3 | 3 | 9.98      | 28.89     | 26.45     |
| 8  | 1 | 3 | 3 | 1 | 4.57      | 17.78     | 57.37     |
| 9  | 1 | 3 | 3 | 2 | 6.70      | 16.67     | 47.76     |
| 10 | 2 | 1 | 3 | 1 | 4.20      | 24.44     | 57.96     |
| 11 | 2 | 1 | 3 | 2 | 4.02      | 33.33     | 49.17     |
| 12 | 2 | 1 | 3 | 3 | 8.15      | 38.89     | 17.60     |
| 13 | 2 | 2 | 1 | 2 | 8.24      | 12.22     | 19.30     |
| 14 | 2 | 2 | 1 | 3 | 9.95      | 22.22     | 15.54     |
| 15 | 2 | 2 | 1 | 1 | 7.61      | 4.44      | 24.30     |
| 16 | 2 | 3 | 2 | 3 | 10.05     | 21.11     | 16.37     |
| 17 | 2 | 3 | 2 | 1 | 5.86      | 4.44      | 24.16     |
| 18 | 2 | 3 | 2 | 2 | 7.14      | 11.11     | 34.75     |
| 19 | 3 | 1 | 2 | 1 | 4.73      | 12.22     | 36.55     |
| 20 | 3 | 1 | 2 | 2 | 7.02      | 17.43     | 26.96     |
| 21 | 3 | 1 | 2 | 3 | 8.42      | 16.67     | 26.09     |
| 22 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3.91      | 20.00     | 52.99     |
| 23 | 3 | 2 | 3 | 3 | 6.84      | 26.67     | 29.84     |
| 24 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3.14      | 27.78     | 39.72     |
| 25 | 3 | 3 | 1 | 3 | 10.81     | 8.89      | 11.19     |
| 26 | 3 | 3 | 1 | 1 | 8.99      | 1.28      | 20.76     |
| 27 | 3 | 3 | 1 | 2 | 9.86      | 10.00     | 19.10     |

含杂率  $J_h$  随因素  $A$  和因素  $C$  的增大而降低,随因素  $D$  的增大而升高,随因素  $B$  的增大先降低后升高。茎秆折断率  $Z_d$  随因素  $B$  的增大而降低,随因素  $C$  和  $D$  的增大而升高,随因素  $A$  的增大先升高而降低。断尾率  $D_w$  随因素  $C$  的增大而升高,随因素  $D$  的增大而降低,随因素  $A$  增大先降低后升高,随因素  $B$  增大先升高后降低。

方差分析(表3)表明,在95%的置信区间内,对  $J_h$  影响显著的因素有  $B$ 、 $C$  和  $D$ ,因素  $A$  及交互作用影响均不显著。对  $Z_d$  影响显著的因素为  $A$ 、 $B$ 、 $C$

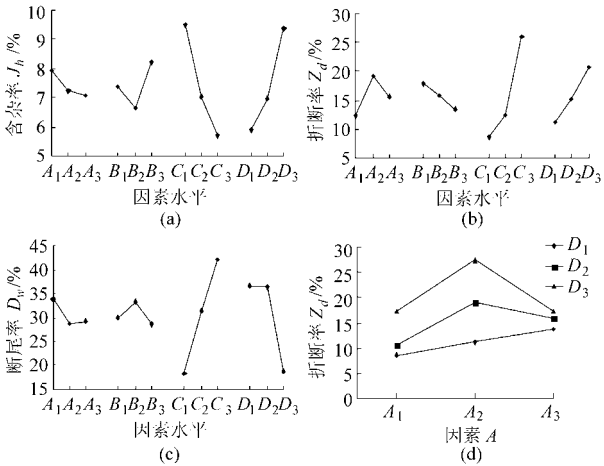


图4 因素影响趋势图  
Fig.4 Affecting trend of different factors

(a) 含杂率 (b) 茎秆折断率  
(c) 断尾率 (d) 因素  $A$  和  $D$  交互作用对折断率影响

和  $D$  及交互作用  $A \times D$ ,其余交互作用影响不显著。对  $D_w$  影响显著的因素为  $C$  和  $D$ ,因素  $A$ 、 $B$  和交互作用影响均不显著。

表3 正交试验结果方差分析

Tab.3 Variance analysis of orthogonal experiment results

| 因素 | $J_h$       | $Z_d$       | $D_w$   |
|----|-------------|-------------|---------|
| 来源 | Sig.        | Sig.        | Sig.    |
| A  | 0.068       | 0.006 **    | 0.582   |
| B  | 0.007 **    | 0.044 *     | 0.669   |
| C  | 0.000 05 ** | 0.000 03 ** | 0.01 ** |
| D  | 0.000 08 ** | 0.001 **    | 0.02 ** |
| AB | 0.922       | 0.303       | 0.686   |
| AC | 0.829       | 0.885       | 0.947   |
| BC | 0.086       | 0.361       | 0.508   |
| AD | 0.907       | 0.042 **    | 0.625   |
| BD | 0.290       | 0.210       | 0.724   |
| CD | 0.669       | 0.194       | 0.999   |

注: \*\* 表示在99%的置信区间内有显著影响,\* 表示在95%的置信区间内有显著影响。

采用综合平衡法来分析最优参数组合,3个试验指标中优先考虑的指标是含杂率  $J_h$ ,其次是折断率  $Z_d$  和断尾率  $D_w$ 。其中,交互作用影响显著的,优先分析交互作用,交互作用影响不显著的则根据各因素对指标影响的重要程度依次分析。根据直观分析和方差分析结果,因素  $B$  对于  $J_h$  和  $D_w$  都是在水平2达到最优结果,对于  $Z_d$  的影响通过  $B_2$  和  $B_3$  的对比方差分析,可以得出这2种情况下折断率的变化没有显著差异,所以因素  $B$  的最优水平定为  $B_2$ 。因素  $A$  和  $D$  的交互作用对  $Z_d$  有显著影响,影响趋势如图4d所示。可以看出  $A_2$  与  $D$  各水平的配合均得

到相应最大值,因此舍弃  $A_2$ ;同时考虑  $D$  因素,试验中观察到取  $D_1$  时,由于茎秆的输送速度较低,使其排出时作抛物线运动的初速度不够,容易在输出口造成堵塞,取  $D_2$  时铺放效果较好。将  $A_1D_2$  和  $A_3D_2$  两个交互作用情况对折断率的影响数据进行对比方差分析可以得出这 2 种情况下折断率的差异不显著。再结合图 4a 可以看出,当  $A$  取  $A_3$  时,含杂率为最低值,因此将  $D$  确定为  $D_2$ ,将  $A$  取  $A_3$ 。因素  $C$  定为  $C_3$ 。最终选定的参数组合为  $A_3B_2C_3D_2$ ,即剥叶元件弹性齿角度为  $90^\circ$ 、剥叶滚筒中心距为 310 mm、剥叶滚筒转速为 700 r/min 和喂入、输出滚筒的转速为 150 r/min,此时含杂率为 3.91%,折断率为 20%,断尾率为 52.99%。

3.2 综合试验结果

在正交试验优化参数的基础上进行综合剥叶试验。结果(表 4)表明,甘蔗单根连续喂入 319.19 kg,含杂率为 1.56%、茎秆折断率为 20.45%、断尾率为 65.97%;3~5 根连续喂入 274.52 kg,含杂率为 2.38%、茎秆折断率为 25.93%、断尾率为 75.59%。多根喂入的各项指标均略高于单根喂入的相应值。

表 4 综合试验结果  
Tab.4 Result of comprehensive experiments %

| 喂入方式 | $J_h$ | $Z_d$ | $D_w$ |
|------|-------|-------|-------|
| 单根连续 | 1.56  | 20.45 | 65.97 |
| 多根连续 | 2.38  | 25.93 | 75.59 |

4 讨论

与现有小型甘蔗剥叶机研究成果比较,本文在剥叶元件的结构与布局、剥叶原理、断尾机理和剥叶效果方面有区别。

(1) 弹性齿式剥叶元件与文献[4~8]提出的排刷式剥叶元件在结构和布局方面均有不同。本文剥叶元件为弹性材料制作的带尖角的矩形齿状单元,弹性齿在滚筒表面按一定距离间隔成行排列,排刷式剥叶元件为装夹在滚筒表面与轴线呈一定螺旋角紧密排列的尼龙条排刷。

(2) 弹性齿滚筒式剥叶装置剥叶原理和剥叶效果与文献[4~8]有区别。本文试验结果表明,弹性齿角度对含杂率影响不显著,但是对茎秆折断率的影响显著。弹性齿角度为  $45^\circ$  时,对茎秆施加的水平打击力增大,加剧了茎秆在剥叶区域的左、右移动,造成折断率增加。剥叶原理分析认为相邻 2 个弹性齿存在间距为  $l$  的间隙,在蔗茎穿过的同时,弹性齿的尖角楔入叶鞘中造成纤维撕裂对叶鞘破坏的影响至关重要。当弹性齿角度为  $90^\circ$  时,其尖角可

以有效楔入叶鞘中,此时间距  $l$  为 30 mm 有利于弹性齿沿茎秆圆周滑动对叶鞘产生揉搓作用,剥叶效果最好。排刷式剥叶元件安装螺旋角与弹性齿角度的作用基本相同,结果表明安装螺旋角可以影响剥叶元件打击力和应力的分布但也不是最显著的因素。文献[8]对安装螺旋角  $75^\circ$  和  $30^\circ$  进行了剥叶试验,结果表明螺旋角为  $75^\circ$  时含杂率和折断率明显下降,螺旋角为  $30^\circ$  时尼龙条排列紧密间距很小,而螺旋角为  $75^\circ$  时,滚筒轴线上相邻 2 个尼龙条排刷之间已存在较大距离的间隙,而这与本文试验装置的布局接近。

(3) 为适应整秆式甘蔗收获机的技术要求,本文所有试验均保留甘蔗尾部进行剥叶,并进行了多根甘蔗集中喂入剥叶试验。单根和多根喂入时尾部折断率分别达到 65.97% 和 75.59%,最终含杂率分别为 1.56% 和 2.38%。统计表明,未剥叶的甘蔗样品中尾部质量占甘蔗叶子总质量的 25.7%,且多数为青叶。按式(1)对杂质质量的统计表明,未剥叶质量  $m_1$  与未断尾质量  $m_2$  约各占一半,可见在剥叶过程尾部的折断率对于含杂率结果影响很大。文献[7~8]在试验前将甘蔗尾部切掉,均未考虑甘蔗尾部对含杂率的影响,甘蔗按单根喂入测得的最高含杂率均不超过 1%。本文的试验结果对于整秆式甘蔗联合收获机剥叶装置设计更具有借鉴意义。

(4) 弹性齿滚筒式剥叶装置剥叶过程茎秆折断和尾部折断的机理不同。试验结果表明,单根喂入和多根喂入茎秆折断率分别为 20.45% 和 25.93%,试验发现茎秆折断多数出现在弯曲、直径较粗或者病虫害部分,属于被滚筒挤压后的脆性折断。试验样品中弯曲茎秆的数量占试验茎秆总数的 45% 左右。可以认为单根喂入时茎秆的弯曲对折断的影响程度更大,而多根喂入时由于甘蔗相互之间的挤压碰撞造成了折断率进一步升高。文献[11]对单根喂入的直蔗和弯蔗进行剥叶试验,结果表明折断率低于 18%,弯蔗的折断率高于直蔗,与本文结果接近。尾部折断主要取决于茎秆生长点处包裹的叶鞘是否被有效破坏,研究表明,甘蔗茎秆越接近生长点,抗破坏强度越低,容易折断<sup>[12]</sup>,但由于生长点部分被 6 片左右青叶鞘重叠覆盖,包裹紧实,增大了断尾的难度。试验结果表明,设置的 2 对剥叶滚筒能够有效破坏生长点位置的叶鞘,断尾率显著增加,可以有效降低剥叶含杂率。

5 结论

(1) 剥叶元件弹性齿角度对茎秆折断率  $Z_d$  影

响显著,对含杂率  $J_h$  和断尾率  $D_w$  的影响均不显著。剥叶滚筒中心距对  $J_h$  有显著影响,对于  $Z_d$  和  $D_w$  的影响均不显著。剥叶滚筒转速和喂入、输出滚筒转速对于  $J_h$ 、 $Z_d$  和  $D_w$  均有极显著影响,其中剥叶滚筒转速的影响程度大于喂入、输出滚筒转速。

(2) 优化的参数组合是剥叶元件弹性齿角度 90°、剥叶滚筒中心距 310 mm、剥叶滚筒转速 700 r/min 和喂入、输出滚筒转速 150 r/min。综合试验结果为甘蔗单根连续喂入 319.19 kg,其含杂率为 1.56%、茎秆折断率为 20.45%、断尾率为 65.97%;3~5 根连续喂入 274.52 kg,其相应的剥叶指标依次为 2.38%、25.93% 和 75.59%。

参 考 文 献

- 1 张增学. 梳刷式甘蔗剥叶机剥叶机理的试验研究[D]. 广州:华南农业大学,2002.  
Zhang Zengxue. Experiment on leaf peeling mechanism using leaf peeling brush machine [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2002. (in Chinese)
- 2 王光炬,乔艳辉,吕勇. 甘蔗剥叶机理研究[J]. 山东农业大学学报:自然科学版,2007,38(3):461~464.  
Wang Guangju, Qiao Yanhui, Lü Yong. Study on sugarcane detrashing mechanism of the rhombus detrashing element and the nylon detrashing brush element[J]. Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science, 2007,38(3):461~464. (in Chinese)
- 3 王光炬,杨坚,梁兆新. 小型甘蔗剥叶机剥叶质量影响因素的试验研究[J]. 农机化研究,2006(12):142~145.  
Wang Guangju, Yang Jian, Liang Zhaoxin. Experiment study of the factors influence on the sugarcane detrashing quality of sugarcane detrashing machine [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(12):142~145. (in Chinese)
- 4 蒙艳玫,李尚平,刘正士,等. 非直线排列排刷式剥叶元件的工作机理[J]. 农业机械学报,2003,34(5):50~53,38.  
Meng Yanmei, Li Shangping, Liu Zhengshi, et al. Research on mechanism of nonlinear arrangement of sugarcane cleaning element in brush shape[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003,34(5):50~53,38. (in Chinese)
- 5 蒙艳玫,刘正士,李尚平,等. 甘蔗收获机械排刷式剥叶元件虚拟试验分析[J]. 农业机械学报,2003,34(4):43~46.
- 6 麻芳兰,李尚平,何玉林,等. 基于神经网络的甘蔗收获机剥叶元件性能研究[J]. 农业机械学报,2006,37(7):69~73.  
Ma Fanglan, Li Shangping, He Yulin, et al. Performance analysis on cleaning element of sugarcane harvester based on neural network [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006,37(7):69~73. (in Chinese)
- 7 苏文桂,李尚平,王勇,等. 非直线型甘蔗剥叶元件排列方式的试验研究[J]. 广西大学学报:自然科学版,2001,26(4):278~282.  
Su Wengui, Li Shangping, Wang Yong, et al. A testing study on non linear arrangement of sugarcane cleaning components [J]. Journal of Guangxi University: Natural Science, 2001,26(4):278~282. (in Chinese)
- 8 黄瑞,梁式,单兰,等. 甘蔗剥叶机剥叶元件螺旋装夹方式的试验研究[J]. 农机化研究,2007(4):99~101,105.  
Huang Rui, Liang Shi, Shan Lan, et al. The helical arrangement of sugarcane's leaf cleaning components[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(4):99~101,105. (in Chinese)
- 9 王辉若. 甘蔗剥叶滚筒参数的初步探讨[J]. 粮油加工与食品机械,1979(10):32~35.
- 10 牟向伟,区颖刚,吴昊,等. 甘蔗叶鞘在弹性剥叶元件作用下破坏的高速摄影分析[J]. 农业机械学报,2012,43(2):85~89.  
Mou Xiangwei, Ou Yinggang, Wu Hao, et al. Analysis on the damage process of the sugarcane leaf sheath under the action of elastic leaf-stripping elements based on high-speed photography[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(2):85~89. (in Chinese)
- 11 杨坚,黄丽丽,杨望,等. 弯、直蔗剥叶质量影响因素的试验[J]. 农业工程学报,2009,25(4):123~129.  
Yang Jian, Huang Lili, Yang Wang, et al. Experiment on the factors affecting the detrashing quality of the straight and bending sugarcane[J]. Transactions of the CSAE, 2009,25(4):123~129. (in Chinese)
- 12 宫部芳照,阿部正俊,小島 新. さとうきび脱葉機の開発に関する基礎的研究:(第3報)蔗茎の衝撃抵抗について[R]. 鹿兒島大學農學部學術報告,1979,29(3):245~248.  
Yoshiteru Miyabe, Masatoshi Abe, Shin Kojima. Fundamental studies on the development of a leaf-stripping-machine for sugar cane III on the impacting resistance of sugarcane stalk [R]. Bulletin of the Faculty of Agriculture, Kagoshima University, 1979,29(3):245~248. (in Japanese)