

甘蔗叶鞘剥离过程弹性齿运动分析与试验*

牟向伟¹ 区颖刚² 刘庆庭² 冯加模² 李跃金²

(1. 广西师范大学电子工程学院, 桂林 541004;

2. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广州 510640)

摘要: 通过对弹性齿运动状态的分析阐述了弹性齿在叶鞘撕裂和剥离过程中的作用机理,采用 ADAMS 软件对弹性齿与甘蔗茎秆的接触过程进行仿真分析,确定剥叶滚筒中心距及弹性齿与甘蔗茎秆之间的相对速度变化对叶鞘撕裂和剥离产生的影响。利用物理样机进行剥叶滚筒中心距单因素试验和剥叶滚筒转速单因素试验对运动分析结果进行验证,并通过高速摄影对仿真的结果进行验证。结果表明,剥叶滚筒中心距为 310 mm,弹性齿与甘蔗茎秆接触时刻,y 轴方向的线速度差为 3.91 ~ 5.87 m/s 时,弹性齿可沿茎秆表面向下滑动,有利于叶鞘沿着纤维方向撕裂,x 轴方向的线速度差为 4.61 ~ 7.54 m/s 时,弹性齿在甘蔗轴线方向可以持续滑动,有利于对叶鞘造成刮擦脱离,综合剥叶效果为含杂率低于 7%、茎秆折断率低于 15%。弹性齿与茎秆分离时刻,由于弹性恢复产生线速度突变,相对速度差增大 4 ~ 5 倍,有利于将叶鞘从茎秆上撕扯脱落。

关键词: 甘蔗 叶鞘 剥离 弹性齿 运动分析 仿真

中图分类号: S225.5⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)02-0122-08

引言

甘蔗整秆剥叶含杂率高,制约了整秆式甘蔗联合收获机的发展。叶鞘剥离不净是影响含杂率的一个关键原因,研究剥叶元件在叶鞘剥离过程中的变形和运动情况以及叶鞘在剥叶元件作用下的撕裂和脱落过程对于剥叶机械的设计具有指导意义。国内学者分别对橡胶指、尼龙条排刷和尼龙丝刷等多种形式的剥叶元件进行了理论分析与试验研究,研究结果认为剥叶元件受滚筒离心力作用甩开,靠柔性打击力和摩擦力对蔗叶的打击和梳擦作用将叶片从茎秆上剥落^[1-8]。其中,文献[1-4]分别对橡胶指和尼龙丝刷式剥叶元件进行运动理论分析,得出满足剥叶所需摩擦力的必要条件是橡胶指在茎秆轴向和垂直方向的线速度差大于零,但是并未结合剥叶元件的运动状态对叶鞘的破坏和脱落机理作进一步分析。

本文通过对前期高速摄影和剥叶试验结果^[9-10]的分析,得出了弹性齿在叶鞘剥离过程的作用机理,在分析弹性齿运动状态的基础上阐述了叶鞘撕裂和剥离过程,采用 ADAMS 软件对弹性齿与甘蔗茎秆的接触过程进行仿真分析,并利用高速摄

影和物理样机试验对分析结果进行验证。

1 弹性齿作用过程分析

弹性齿滚筒式甘蔗剥叶装置主要由剥叶滚筒组、喂入和输出滚筒组等部分组成^[10],如图 1 所示。剥叶过程甘蔗在喂入滚筒夹持作用下进入剥叶滚筒区域,剥叶后经输出滚筒输出。在剥叶滚筒区域弹性齿对叶鞘的作用分为 3 个阶段:①弹性齿接触甘蔗茎秆阶段。弹性齿接触茎秆发生弹性变形,使茎秆滑动到轴向相邻弹性齿间隙中。②弹性齿对叶鞘撕裂阶段。弹性齿变形增大,沿茎秆表面向下滑动,对叶鞘施加垂直方向作用力,造成叶鞘撕裂破坏。③弹性齿对叶鞘刮擦、挑起和撕扯阶段。弹性齿同时沿茎秆轴线滑动,施加轴向作用力,对已经撕裂的叶鞘进行刮擦破坏;弹性齿沿茎秆表面向上滑动,将叶鞘挑起,在脱离茎秆瞬间将叶鞘从连接处撕扯脱落。

分析得出,完成叶鞘剥离需满足以下基本条件:①增大弹性齿与甘蔗茎秆体表的接触面积。影响因素有弹性齿长度,相邻弹性齿间距以及滚筒中心距。剥叶试验确定了弹性齿长度 60 mm、间距 30 mm^[10],剥叶滚筒中心距成为影响该接触面积的主要因素。

收稿日期: 2013-02-25 修回日期: 2013-04-08

* 国家自然科学基金青年科学基金资助项目(51205071)、广西自然科学基金青年基金资助项目(2013GXNSFBA019231)、国家甘蔗产业技术体系资助项目(CARS-20-4-1)和广西师范大学博士科研启动基金资助项目

作者简介: 牟向伟,副教授,主要从事农业机械装备及其关键技术研究,E-mail: xwmou@ mailbox. gxnu. edu. cn

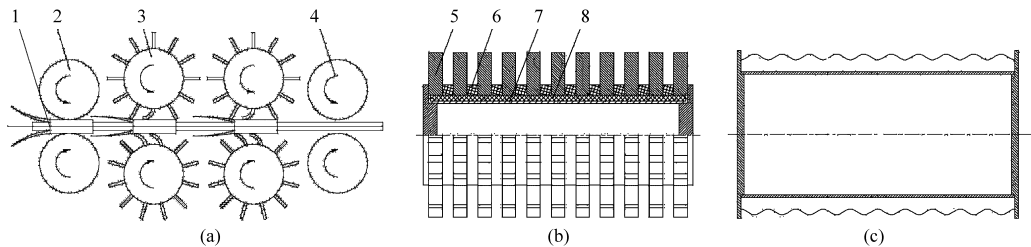


图 1 弹性齿滚筒式甘蔗剥叶元件结构

Fig. 1 Structure of elastic dentations-roller-type sugarcane leaf sheath-stripping device

(a) 弹性齿滚筒式剥叶装置示意图 (b) 弹性齿剥叶滚筒结构示意图 (c) 喂入、输出滚筒结构示意图

1. 甘蔗 2. 喂入滚筒组 3. 剥叶滚筒组 4. 输出滚筒组 5. 弹性齿剥叶元件 6. 剥叶元件隔套 7. 滚筒 8. 键

②在茎秆轴向和垂直方向,弹性齿线速度大于茎秆输送线速度,相对滑动实现对叶鞘撕裂、刮擦和撕扯作用。影响因素有甘蔗茎秆输送速度、滚筒转速以及接触后弹性变形造成的速度损失等。

2 剥叶滚筒中心距对接触面积的影响分析

已知剥叶滚筒半径为 R_2 ,弹性齿长度为 l ,上层滚筒轴心距甘蔗表面的距离为 h ,甘蔗直径为 D ,如图 2 所示。假设甘蔗通过滚筒时,甘蔗轴线在上、下滚筒圆心连线的中心线上。取上、下滚筒各 1 个弹性齿为研究对象,上层滚筒弹性齿接触茎秆的初始点为 A ,此时弹性齿与垂直线的夹角为 β ,弹性齿与茎秆在 B 点脱离接触,则上层弹性齿与茎秆的接触区域面积为茎秆体表圆弧面 AB 的面积。同理,下层滚筒弹性齿接触茎秆的初始点为 A' 点,弹性齿与茎秆在 B' 点脱离接触,接触面积为茎秆体表圆弧面 $A'B'$ 的面积。

根据图 2 中的位置关系可得

$$\beta = \arccos \frac{h}{R_2 + l} = \arccos \frac{L - D}{2(R_2 + l)} \quad (1)$$

上、下滚筒弹性齿接触茎秆表面的边界条件为

$$L = 2(R_2 + l) + D \quad (2)$$

式中 L ——剥叶滚筒中心距

弹性齿与茎秆接触的有效区段 AB 的长度为

$$S_{AB} = 2(R_2 + l) \sin \beta \quad (3)$$

可得,当 L 减小时, β 角增大, S_{AB} 随之增大,同时在垂直方向上弹性齿与茎秆的接触深度也增大,则单个弹性齿与茎秆表面的接触面积就会增大。

上、下滚筒弹性齿各自与甘蔗接触面积达到最大值的边界条件为

$$L = 2(R_2 + l) \quad (4)$$

L 值继续减小,上、下滚筒弹性齿在垂直方向存在交错深度 d ,弹性齿与茎秆体表的接触面积存在重复区域,可以增加弹性齿与叶鞘的接触频率。

$$d = 2(R_2 + l) - L \quad (5)$$

交错深度 d 增大,弹性齿在茎秆圆柱体表面重

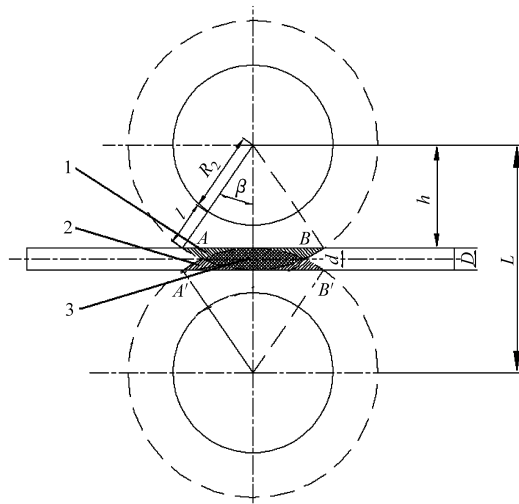


图 2 滚筒中心距与接触面积关系

Fig. 2 Leaf-stripping roller center distance and contact area

1. 上层滚筒弹性齿与茎秆接触区域 2. 下层滚筒弹性齿与茎秆接触区域 3. 重复接触区域

复接触面积随之增大,当 d 与茎秆直径 D 相等时,重复接触区域可以覆盖茎秆整个体表面,达到最大。进一步增大 d ,弹性齿均在垂直方向超出了茎秆直径范围。

综合得出上、下弹性齿产生交错深度的条件为

$$2(R_2 + l) < L \leq 2(R_2 + l) + D \quad (6)$$

3 弹性齿运动参数与作用机理分析

取上层喂入滚筒和第 1 级剥叶滚筒作为分析对象,剥叶滚筒上取 1 个弹性齿,建立坐标系,以剥叶滚筒轴心 O 为中心,水平方向为 x 轴,垂直方向为 y 轴,喂入滚筒转速为 ω_1 ,半径为 R_1 ,如图 3 所示。结合文献[1]的运动分析对弹性齿运动过程速度变化理论进行了改进,并进一步分析弹性齿在运动过程对于叶鞘剥离效果的作用机理。

甘蔗经喂入滚筒,以 v_{1x} 的水平速度直线移动

$$v_{1x} = \omega_1 R_1 \quad (7)$$

剥叶过程茎秆同时受到喂入滚筒和剥叶滚筒在 y 轴正、负方向的支撑和夹持作用,变形不大,忽略

平稳地在弹性齿间隙中通过,有利于提高甘蔗输送的稳定性和导向性,茎秆在输出过程作平抛运动,达到较好的铺放效果并有利于降低茎秆折断率。

Δv_x 和 Δv_y 越大叶鞘剥离效果越好。当一个接触过程结束时,如果 Δv_x 和 Δv_y 过大,造成甘蔗茎秆斜向上的合速度 v_B 过大,会使茎秆在 y 轴方向上、下运动,在接触下一对剥叶滚筒时会产生碰撞,使甘蔗纵向弯曲,造成折断率增加,因此应合理减小 Δv_y ,使茎秆在叶鞘剥离过程运动平稳。

4 基于 ADAMS 的虚拟样机仿真

4.1 虚拟样机建模

虚拟样机主要研究弹性齿与甘蔗茎秆的相对运动状态。为简化分析,选取部分滚筒和 1 个弹性齿作为研究对象,弹性齿剥叶元件整体结构为圆片带齿单元,内侧圆周分布花键槽,与滚筒通过键固定连接^[10]。在 Pro/E 软件中建立弹性齿滚筒模型,利用接口程序 MECH/Pro 将模型导入 ADAMS 中,采用 Auto Flex 模块建立弹性齿和甘蔗茎秆的柔性体模型。甘蔗模型简化为圆柱体,不带叶鞘。弹性齿为聚氨酯材料,参数设定为弹性模量 1.15×10^7 Pa、泊松比 0.47 和密度 $1\,094\text{ kg/m}^3$ 。甘蔗的材料参数^[11]为弹性模量 1.172×10^7 Pa,泊松比 0.33 和密度 $1\,100\text{ kg/m}^3$ 。分别将弹性齿和甘蔗茎秆柔性体接触面中心点定义为关联点。

对模型添加约束,分别在甘蔗茎秆和弹性齿柔性体上添加哑物体。其次,分别在哑物体与弹性齿和甘蔗茎秆之间、弹性齿与滚筒之间、甘蔗茎秆与大地之间添加固定约束,约束点位置分别为弹性齿和甘蔗茎秆柔性体的关联点。在滚筒与大地之间添加转动副,并在转动副上添加旋转驱动。最后,结合文献[12-15]的研究结果,对弹性齿和甘蔗茎秆施加接触,接触类型为 Solid to Solid,接触物均为哑物体,刚体系数为 $3\,800\text{ N/mm}$,力指数为 2.2,阻尼系数为 $10\text{ N}\cdot\text{s/mm}$,贯入深度为 0.1 mm ,摩擦力类型为 Coulomb,静摩擦因数为 0.5,动摩擦因数为 0.45,其余采用默认设置,弹性齿、滚筒和甘蔗茎秆虚拟样机模型如图 4 所示。

4.2 仿真结果分析

4.2.1 弹性齿作用过程变形分析

初始接触时刻如图 5a 所示。在继续转动过程弹性齿受到甘蔗茎秆的挤压,产生空间三维曲面大变形,如图 5b 所示。当变形到一定的时刻,弹性齿开始沿着接触茎秆的表面向下滑动,如图 5c 所示。这个滑动过程弹性齿对茎秆施加的垂直作用力和摩擦力可以造成叶鞘撕裂,破坏叶鞘整体对茎秆的紧

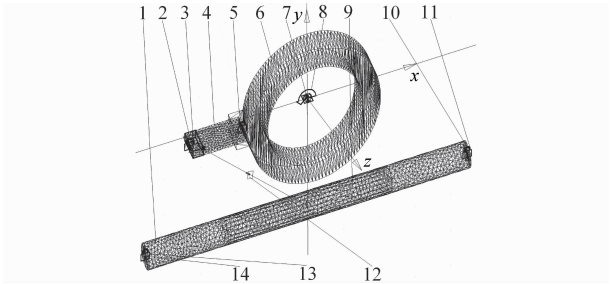


图 4 弹性齿、滚筒和甘蔗茎秆虚拟样机模型
Fig. 4 Virtual prototyping of elastic dentations roller and stalk

- 1. 甘蔗茎秆柔性体 2. 弹性齿哑物体 3. 哑物体与弹性齿固定约束 4. 弹性齿柔性体 5. 弹性齿与滚筒固定约束 6. 滚筒刚体 7. 滚筒与大地旋转约束 8. 滚筒旋转驱动 9. 甘蔗茎秆哑物体 10、13. 哑物体与甘蔗茎秆固定约束 11、14. 甘蔗茎秆与大地固定约束 12. 弹性齿哑物体与甘蔗茎秆哑物体接触

实包裹。滑动结束后,弹性齿对茎秆形成夹持之势并沿着轴向运动,如图 5d 所示。在这个过程弹性齿可以对叶鞘进行刮擦作用,有利于将已撕裂的叶鞘作进一步的推挤破坏。刮擦作用结束后,弹性齿开始脱离茎秆,如图 5e 所示。由于弹性齿在接触过程中受到茎秆的挤压作用始终处于较大弹性变形状态,在脱离时刻弹性齿会在瞬间产生弹性恢复,这个瞬间的恢复过程会对叶鞘产生一个向上挑起、撕扯的作用,可以造成叶鞘脱落。

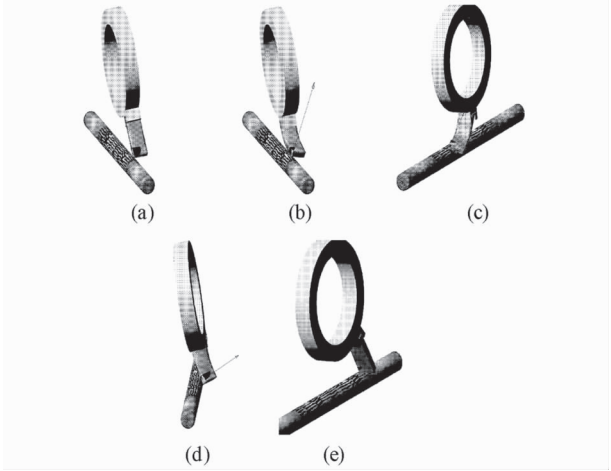


图 5 弹性齿作用过程变形分析
Fig. 5 Deformation analysis of elastic dentation in action process

- (a) 初始接触时刻 (b) 挤压变形过程 (c) 沿圆周下滑过程 (d) 夹持刮擦过程 (e) 脱离接触时刻

4.2.2 弹性齿作用过程相对速度分析

选择图 5a 中弹性齿与茎秆初始接触时刻的尖角点,分别测量空转和做功过程中该点在 x 、 y 和 z 轴方向的线速度,如图 6 所示。

仿真中,甘蔗茎秆设为固定状态,弹性齿的线速度可以认为是弹性齿与甘蔗茎秆相对速度。弹性齿

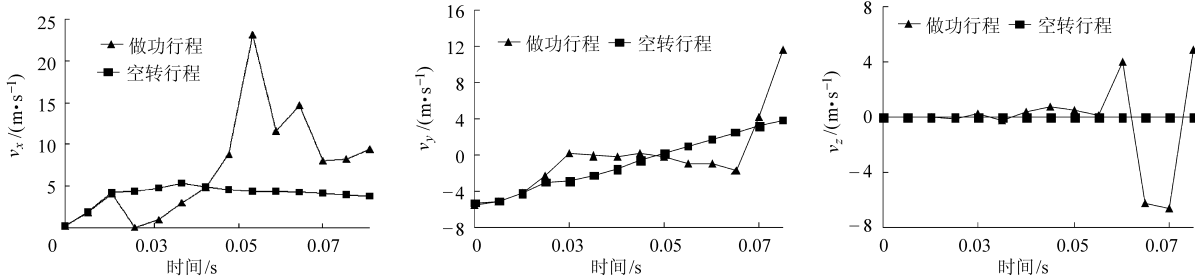


图 6 弹性齿作用过程速度分析

Fig. 6 Relative velocity of elastic dentations in action process

在未接触茎秆前空转与做功行程速度重合,从 0.03 s 开始 v_x 呈明显下降趋势,至 0.030 2 s 速度降为零,这是弹性齿在接触过程弹性变形导致的速度变化。自 0.030 2 s 开始 v_x 呈上升趋势,至 0.06 s 做功行程的速度值与空转行程的值一致,此时弹性齿进入到夹持刮擦阶段,所测试的尖角点已与茎秆脱离接触,0.06 s 后 v_x 产生突变增大,之后震荡下降至与空转值接近。弹性齿在 y 轴的线速度 v_y 从 0.03 s 开始呈明显下降趋势,至 0.035 s 速度降为零,一直持续到 0.05 s,这说明从 0.03 s 接触开始到 0.05 s 弹性齿在 y 轴方向始终处于挤压状态,没有产生相对于茎秆圆周的向下滑动。由 0.05 s 开始在 y 轴负方向 v_y 的值由零开始增大,至 0.065 s 增大到最大值,这个过程为弹齿性齿沿着圆周下滑过程,也是弹性齿对蔗叶撕裂的过程。到 0.07 s 时刻 v_y 恢复 y 轴正向并与空转值重合,之后产生突变增大,这说明 0.07 s 时刻弹性齿已基本脱离与茎秆的接触。在 0.06 s 之前做功与空转行程的 v_z 值重合,均为零,在此时间段内,弹性齿在 z 轴没有相对速度,0.065 s 后 v_z 产生一个突变增大,之后反复震荡。

上述分析可得,弹性齿脱离与茎秆接触后在 x 、 y 和 z 3 个方向的线速度均产生突变增大的趋势,为正常速度值的 4~5 倍,主要原因是弹性齿在脱离茎秆瞬间产生弹性恢复,导致弹性齿剧烈抖动。

图 7 为虚拟样机仿真中弹性齿与茎秆脱离前后的状态。图 7a 和 7b 分别为在 xOy 平面内记录的弹性齿与茎秆在分离前和分离后的瞬间状态。可以看

出,分离前的瞬间弹性齿在茎秆挤压作用下仍然有较大幅度的弹性变形,分离的瞬间弹性齿突然恢复至自由状态,并产生剧烈的抖动。同样,图 7c 和 7d 分别为在 yOz 平面内记录的弹性齿与茎秆在分离前和分离后瞬间的状态,可以看出分离瞬间弹性齿在 z 轴方向产生大幅度的剧烈摆动。

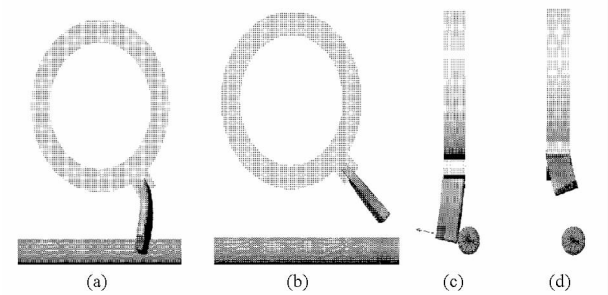


图 7 脱离过程弹性齿的运动状态

Fig. 7 Motion state of elastic dentation in process of separate

5 高速摄影验证试验

图 8 为叶鞘在弹性齿作用下破坏的高速摄影结果。茎秆接触弹性齿后在挤压过程中滑动到滚筒轴向相邻的 2 个弹性齿中间(图 8a)。弹性齿达到一定的弹性变形后在 y 轴方向产生相对速度差,弹性齿开始沿茎秆表面向下滑动(图 8b)。滑动过程弹性齿造成叶鞘沿纤维方向撕裂,叶鞘整体包裹茎秆的状态被破坏(图 8c)。弹性齿在 x 轴方向与甘蔗茎秆存在明显的相对线速度差,弹性齿在向下滑动

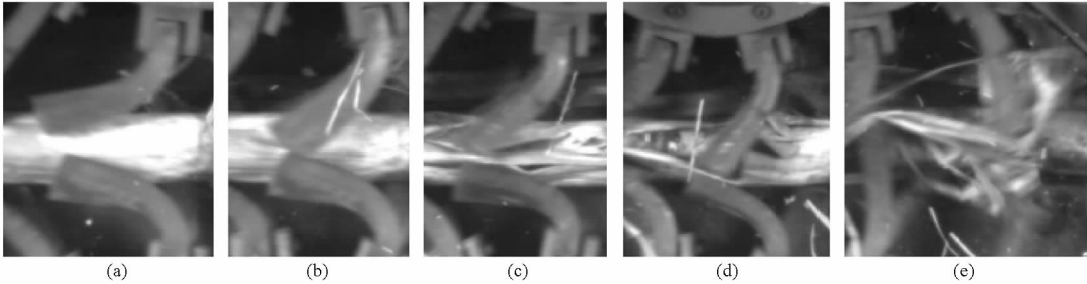


图 8 叶鞘在弹性齿作用下破坏过程的高速摄影

Fig. 8 Result of high-speed photography on fracture of sugarcane leaf sheath under action of elastic dentations

(a) 接触过程 (b) 弹性齿滑动 (c) 叶鞘撕裂 (d) 叶鞘刮擦破坏 (e) 叶鞘撕扯脱离

的同时沿茎秆轴向持续滑动,对叶鞘施加刮擦作用,将叶鞘推挤破坏(图 8d)。弹性齿脱离与茎秆接触的瞬间将叶鞘从茎秆上撕扯下来(图 8e)。

弹性齿与茎秆分离时刻在 x 、 y 和 z 3 个方向的线速度突变,有利于将叶鞘从茎秆上撕扯下来。弹性齿将叶鞘撕裂破坏后,至弹性齿与茎秆分离时刻,弹性齿仍有较大幅度弹性变形,并紧压住已破坏的叶鞘,如图 9a 所示。当弹性齿与茎秆脱离接触的时刻,弹性齿在瞬间恢复变形,并剧烈抖动,弹性齿对于叶鞘作用的冲量增大,使叶鞘整体脱离茎秆,如图 9b 所示。

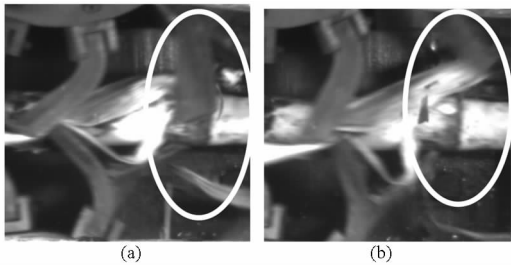


图 9 弹性齿脱离过程高速摄影

Fig. 9 High-speed photography result of motion state of elastic dentures in process of separate
(a) 弹性齿脱离茎秆前 (b) 弹性齿脱离茎秆瞬间

6 样机剥叶验证试验

在弹性齿滚筒式甘蔗剥叶装置正交试验^[10]的基础上安排了 2 组单因素试验,分别研究剥叶滚筒中心距和剥叶滚筒转速对剥叶效果的影响。剥叶滚

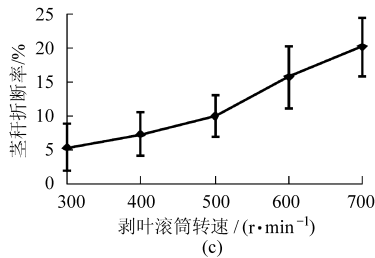
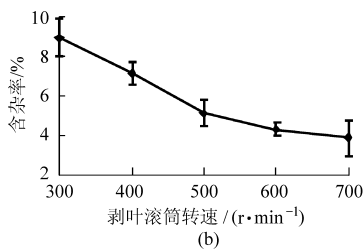
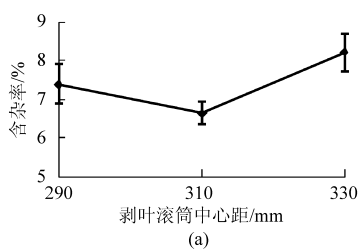


图 10 物理样机剥叶试验结果

Fig. 10 Result of experiments of physical prototype leaf-stripping

以含杂率低于 7%、折断率低于 15% 的指标来判断,在喂入滚筒转速为 100 r/min 的情况下,剥叶滚筒转速在 400 ~ 600 r/min 时,综合剥叶效果达到较优结果。结合式(7) ~ 式(25)得出,此时弹性齿与甘蔗茎秆接触时刻在 x 、 y 方向的最大相对线速度差值的范围为 $\Delta v_x = 4.61 \sim 7.54$ m/s, $\Delta v_y = 3.91 \sim 5.87$ m/s。

7 结论

(1)剥叶滚筒的中心距 L 是影响弹性齿与甘蔗

筒中心距取 290、310 和 330 mm 共 3 个水平;将喂入滚筒转速设为 100 r/min,剥叶滚筒取 300、400、500、600 和 700 r/min 共 5 个水平。试验过程其他因素参照文献[10]中获得的最优组合,试验指标为含杂率和茎秆折断率,每个水平试验重复 5 次,结果取平均值。

剥叶滚筒中心距单因素试验结果如图 10a 所示。结果表明,当滚筒中心距为 310 mm 时,含杂率达到最低值,此时上、下滚筒弹性齿的交错深度 d 为 30 mm,已达到最大重复接触面积。滚筒中心距减小或者增大含杂率均出现升高的情况。中心距 290 mm 时,弹性齿重复接触面积无法继续增大,而弹性齿在变形过程中由于交错深度太大,导致相互碰撞摩擦,含杂率升高;中心距为 330 mm 时则是由于交错深度不足,使得重复接触面减小,含杂率升高。

剥叶滚筒转速单因素试验结果如图 10b 和 10c 所示。结果表明,含杂率随剥叶滚筒转速增大而降低,茎秆折断率则随转速增大而升高。对试验数据进行方差分析得,剥叶滚筒转速在 300 ~ 500 r/min 内,含杂率随转速增大呈显著性降低趋势,而茎秆折断率则未呈显著性增大;在 500 ~ 700 r/min 内,转速增大含杂率降低程度不显著,但出现茎秆折断率显著增加的情况。剥叶滚筒转速在 500 r/min 时达到较好的剥叶效果。这验证了前面的运动学分析,剥叶滚筒转速过低导致弹性齿与甘蔗茎秆相对线速度差值较小,造成剥叶效果差;剥叶滚筒转速过高,则导致甘蔗茎秆输送过程合成速度较高,与输出滚筒碰撞增加造成折断率升高。

茎秆体表接触面积的主要因素。在 $2(R_2 + l) < L \leq 2(R_2 + l) + D$ 范围内减小 L ,可以增大重复接触面积,增加弹性齿与叶鞘的接触频率。当滚筒中心距为 310 mm 时,重复接触面积最大,含杂率达到最低值。

(2)弹性齿与甘蔗茎秆接触,在 y 轴方向的最大相对线速度差 $\Delta v_y = 3.91 \sim 5.87$ m/s 时,弹性齿沿茎秆表面向下滑动,有利于叶鞘沿着纤维方向撕裂;在 x 轴方向的最大相对线速度差 $\Delta v_x = 4.61 \sim 7.54$ m/s 时,弹性齿在甘蔗轴线方向持续滑动,有

利于对叶鞘造成刮擦和撕扯脱离。

弹性齿对叶鞘作用的冲量增大,有利于将叶鞘从茎秆上撕扯脱落。

(3)弹性齿与茎秆分离时刻在 x 、 y 和 z 3 个方向的出现线速度突变,达到正常速度的 4 ~ 5 倍,使

参 考 文 献

1 四川省内江地区农机所甘蔗机械研究组. 对影响甘蔗剥叶质量因素的初步分析与讨论[C]//甘蔗收获机械理论研究与探讨(专辑). 北京:全国甘蔗机械情报网,1980: 39 - 47.

2 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.

3 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)

4 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)

5 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(3): 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(3): 50 - 53, 38. (in Chinese)

6 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.
Meng Yanmei, Liu Zhengshi, Li Shangping, et al. Virtual experiment analysis of a brush shape of cleaning element for sugarcane harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003, 34(4): 43 - 46. (in Chinese)

7 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)

8 麻芳兰,蒋红梅,李尚平,等. 整秆式甘蔗收获机剥叶断尾机构设计与试验[J]. 农业机械学报,2012,43(6):73 - 78,7.
Ma Fanglan, Jiang Hongmei, Li Shangping, et al. Design and experiment on cleaning leaves and breaking tails mechanism of whole-stalk sugarcane harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(6): 73 - 78, 7. (in Chinese)

9 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)

10 牟向伟,区颖刚,刘庆庭,等. 弹性齿滚筒式甘蔗剥叶装置设计与试验 [J]. 农业机械学报,2012,43(4):60 - 65.
Mou Xiangwei, Ou Yinggang, Liu Qingting, et al. Design and experiment on elastic tooth roller type sugarcane leaf-stripping device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(4): 60 - 65. (in Chinese)

11 刘庆庭. 甘蔗切割机理[D]. 广州:华南农业大学,2004.
Liu Qingting. The cutting mechanism of sugarcane[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2004. (in Chinese)

12 蒋礼斌. 小型甘蔗收获机剥叶元件螺旋装夹方式的仿真分析与实验研究[D]. 南宁:广西大学,2006.
Jiang Libin. Simulation analysis and experimental research on cleaning leaves elements installed in helix angle style of small scale sugarcane harvester [D]. Nanning: Guangxi University, 2006. (in Chinese)

13 黄瑞. 小型甘蔗收获机剥叶机构仿真分析与实验研究[D]. 南宁:广西大学,2007.
Huang Rui. Simulation analysis and experimental research on cleaning leaves elements installed of small scale sugarcane harvester [D]. Nanning: Guangxi University, 2007. (in Chinese)

14 黄丽丽. 甘蔗剥叶机剥叶质量影响因素的试验研究[D]. 南宁:广西大学,2008.
Huang Lili. Experimental research on factors affecting the detrashing quality of the sugarcane detrasher[D]. Nanning: Guangxi University, 2008. (in Chinese)

15 赖晓. 小型甘蔗收获机剥叶与集蔗机构虚拟仿真分析及试验研究[D]. 南宁:广西大学,2008.
Lai Xiao. Simulation analysis and experimental research on leaves cleaner and collecting device of small scale sugarcane harvester [D]. Nanning: Guangxi University, 2008. (in Chinese)

Kinematic Analysis and Experiments of Elastic Dentations in Process of Sugarcane Leaf Sheath Stripping

Mou Xiangwei¹ Ou Yinggang² Liu Qingting² Feng Jiamo² Li Yuejin²

(1. College of Electronic Engineering, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China

2. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The action mechanism of elastic dentations was analyzed using elastic dentations-roller-type sugarcane leaf sheath-stripping device. The tearing and stripping of leaf sheath were studied by further kinematic analysis of elastic dentations. The virtual prototyping experiment was carried out using ADAMS software to analyze the contacting situation between elastic dentations and sugarcane stalk. The impact of velocity changes of elastic dentations and center distance between two leaf-stripping rollers on leaf sheath-stripping was obtained. The results of kinematic and simulation analysis were verified by high-speed photography test and physical prototype leaf-stripping experiments, which contained the single factor experiments of center distance between two rollers and rotate speed of leaf-stripping rollers. The results showed that when the center distance between two rollers was 310 mm, in the process of elastic dentations contacting sugarcane stalk, the elastic dentations slid down along the surface of sugarcane under the action of linear velocity difference in y direction $\Delta v_y = 3.91 \sim 5.87$ m/s, which was conducive to make leaf sheath tear along the direction of fiber. Meanwhile, the elastic dentations slid along the axis of stalk similarly because of linear velocity difference in x direction $\Delta v_x = 4.61 \sim 7.54$ m/s, which could make it scrape from the stalk. The result of the comprehensive leaf-stripping experiment proved that the impurity rate was less than 7% and the stalk broken rate was less than 15%. When the elastic dentations separated from the stalk, the linear velocity difference exerted on leaf sheath by elastic dentations increased as four to five times, which could help leaf sheath strip.

Key words: Sugarcane Leaf sheath Stripping Elastic dentations Kinematic analysis Simulation