

弹性齿对甘蔗茎秆的动态打击力与叶鞘剥离机理研究*

牟向伟

(广西师范大学职业技术师范学院, 桂林 541004)

摘要: 为研究弹性齿式剥叶元件的叶鞘剥离机理,进行了弹性齿对甘蔗茎秆的动态打击力试验。设计专用试验台固定甘蔗茎秆的两端,并在固定组件的3个方向安装单向压电型冲击力传感器,剥叶滚筒带动弹性齿在茎秆中部施加打击力,传感器测得纵向、横向和切向动态打击力并得出最大值 $F_{x\max}$ 、 $F_{y\max}$ 和 $F_{z\max}$ 。对剥叶滚筒转速、弹性齿与甘蔗茎秆交错深度、侧偏距离和弹性齿材料等4个变量进行单因素试验。分析各因素对打击力的影响规律,得出在样机剥叶试验的最优参数组合下三向动态打击力的最大值。结合叶鞘材料力学特性和剥离准则模型,推导叶鞘的最大破坏力公式,建立叶鞘剥离的力学模型。结果表明,滚筒转速达到 700 r/min、交错深度为 30 mm、侧偏距离为 20 mm、弹性齿材料为聚氨酯(85 HA)时,弹性齿在 x 和 y 方向最大打击力 $F_{x\max}$ 、 $F_{y\max}$ 分别为 93.87 N 和 138.26 N,同时大于叶鞘在相应方向的最大破坏力 76.40 N 和 53.53 N,实现叶鞘剥离。

关键词: 甘蔗 叶鞘 剥离 机理 弹性齿 打击力

中图分类号: S225.5⁺3 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2015)03-0103-07

Study on Dynamic Hitting Force of Elastic Dentation for Sugarcane Stalk and Mechanism of Leaf Sheath Stripping

Mou Xiangwei

(Teachers College for Vocational and Technical Education, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

Abstract: In order to study the mechanism of sugarcane leaf sheath stripping using elastic dentation typed stripping element, the experiments of three-dimensional dynamic hitting force were conducted under the action of elastic dentation on sugarcane stalks. The specialized test bench was designed to fix the stalk at opposite ends by using two fixed components, and one-way type piezoelectric impact sensors were respectively fastened on each fixed component. An elastic dentation driven by the rotating roller hit the middle of the stalk, and the dynamic hitting forces were measured in real time by sensors. After data processing, the maximum values of F_x , F_y and F_z in longitudinal, transversal, and tangential directions were obtained. Four factors including rotate speed of roller, interleaved depth and lateral offset distance between the elastic dentation and stalk, and material of elastic dentation were determined. Single factor experiments were carried out to analyze the effect of factors and obtain the maximum values of dynamic hitting forces in three directions with the optimal parameters combination. The formula of maximum failure force of leaf sheath stripping was deduced and the mechanical model of leaf sheath stripping was established which combined with material mechanics properties and leaf sheath stripping criteria. The results showed that the tested maximum values of F_x and F_y were equalled to 93.87 N and 138.26 N which were greater than the maximum failure force of leaf sheath in x and y directions, 76.40 N and 53.53 N simultaneously, under the condition that the rotate speed of roller was 700 r/min, the interleaved depth was 30 mm, the lateral offset distance was 20 mm, and the material of elastic dentation was polyurethane with shore hardness 85 HA.

Key words: Sugarcane Leaf sheath Stripping Mechanism Elastic dentation Hitting force

收稿日期: 2014-10-18 修回日期: 2015-01-05

* 国家自然科学基金资助项目(51205071)、广西自然科学基金资助项目(2013GXNSFBA019231)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

引言

叶鞘剥离是整秆式甘蔗收获的关键技术问题,目前的主要技术是通过不同形式的剥叶元件打击茎秆造成脆弱茎叶的破坏^[1-4]。国内外对元件打击力和茎叶连接力的研究集中在:用八角环测试元件在不同工况下的受力、变形及打击力并进行仿真分析,寻找最大打击力和元件所受应力最小的组合^[5-6];采用机械拉伸的方法对蔗叶施加单个方向拉力测试茎叶分离力,并采用应变式测力计测试链条式剥叶元件的打击力^[7-9];对蔗叶施加径向压力和轴向摩擦力测试蔗叶的破坏力^[10]。

上述元件打击力研究主要是得出最大打击力,没有结合材料特性分析剥离机理,蔗叶破坏力研究则主要针对某一个方向的作用力。实际剥叶时,叶鞘是在多个方向打击力共同作用下实现破坏。本文在弹性齿滚筒式剥叶样机剥叶试验^[11]、高速摄影和运动仿真分析叶鞘剥离过程^[12-13]、叶鞘材料特性与剥离准则^[14-15]等研究的基础上,结合弹性齿对甘蔗茎秆的三向动态打击力试验数据,分析叶鞘剥离机理,为整秆式甘蔗剥叶机械研究提供理论依据和参考。

1 设备与原理

1.1 试验设备

弹性齿滚筒式甘蔗剥叶装置中,甘蔗茎秆在喂入和输出滚筒组的支撑和夹持作用下受到弹性齿的打击力作用进行叶鞘剥离^[11-12],据此原理设计了弹性齿三向动态打击力试验台,主要由甘蔗固定与测力系统、滚筒弹性齿打击系统、动力系统和数据采集系统组成,如图1所示。测试时,将甘蔗茎秆两端固定,在茎秆中部位置用滚筒带动弹性齿施加打击力,模拟甘蔗茎秆受到弹性齿的打击力情况,实时测试茎秆在固定状态下受到的三向动态打击力。

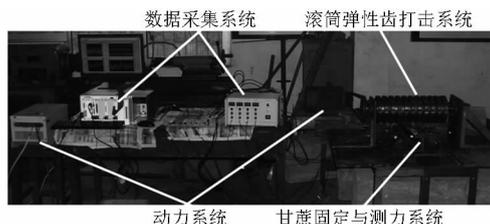


图1 三向动态打击力试验台

Fig.1 Test bench of three-dimensional dynamic hitting force

甘蔗固定与测力系统包括支撑座组件、传感器固定组件、传感器组和甘蔗固定组件,如图2a所示。支撑座组件由互相垂直且固定安装的底座、侧向支撑板和轴向支撑板组成。传感器固定组件包括固定

轴和细牙螺母。传感器组包括6个由绵阳市奇石缘科技有限公司生产的 QSY8301-01 型单向压电型冲击力传感器,量程为 0~1 kN,线性小于等于 1.0% FS,主要技术参数如表1所示,表中数据源自绵阳市奇石缘科技有限公司鉴定证书(编号:奇检字 2010167号)。传感器一端与固定轴端面固定连接。固定轴分别固定在底座、侧向支撑板和轴向支撑板上。甘蔗固定组件结构如图2b所示。在底面、一侧面和背面3个垂直的平面分别和3个方向的传感器的另一端固定连接。

表1 动态冲击力传感器技术参数

Tab.1 Technical parameters of dynamic hitting sensors

传感器编号	1	2	3	4	5	6
电荷灵敏度/(pC·N ⁻¹)	4.20	4.22	4.51	4.21	4.06	4.17

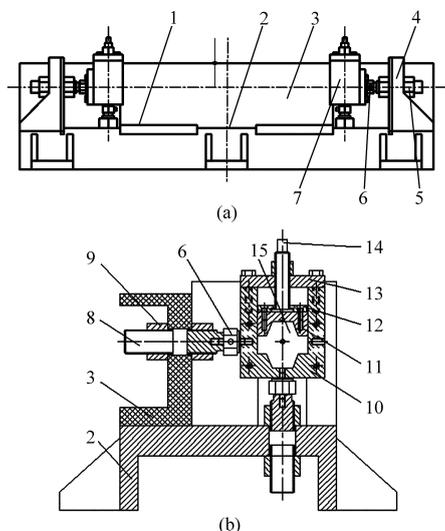


图2 甘蔗固定与测力系统结构示意图

Fig.2 Structure sketch of sugarcane fixed and force measurement system

(a) 甘蔗固定与测力系统 (b) 侧向剖视图

1. 支撑座组件 2. 底座 3. 侧向支撑板 4. 轴向支撑板 5. 传感器固定组 6. 传感器组 7. 甘蔗固定组件 8. 固定轴 9. 细牙螺母 10. 滑槽固定座 11. 压紧滑块 12. 连接板 13. 盖板 14. 锁紧螺杆 15. 背板

数据采集系统包括电荷放大器、数据采集卡、处理器和显示器等设备。选用绵阳市奇石缘科技有限公司生产的 QSY7704 型电荷放大器,最大电荷输入量:105 pC,灵敏度范围:1.00~10.00 pC/Unit,频率范围:0.3 Hz~100 kHz,噪声小于 5 μV,谐波失真度小于 1%,线性度小于 1%。采用美国国家仪器有限公司生产的 NI PXI-6220 型多功能数据采集卡,最高采样率:200 kSa/s,实现实时信号不间断采集与存储,配套 NI PXI-8106 嵌入式实时控制器,采用 NI LabVIEW 2009 软件编程进行数据采集和处理。

动力系统采用广东东莞机电厂生产的 JO2L

32-4型三相异步电动机,额定功率:3 kW,额定电压:380 V,额定电流:65 A,额定转速:1 450 r/min,频率:50 Hz。采用日本 SANKEN ELECTRIC., Ltd. 公司生产的 SVF-552-380C 型变频器实现电动机调速,频率调节范围为 1~50 Hz。

1.2 测试原理与数据处理

甘蔗茎秆的两端分别固定在甘蔗固定组件中,精确控制甘蔗样本的轴向长度,使两端紧贴固定组件内壁,形成稳定的三向紧固连接。传感器与各组成部分之间配合和位置关系精确确定,满足实时、准确测试三向动态打击力的要求。根据表 1 设定电荷放大器每一个通道的灵敏度数值,进行归一化处理。低通滤波频率设定为 1 kHz,高通滤波频率设定为 0.1 kHz。采样过程中每通道采样数为 200。

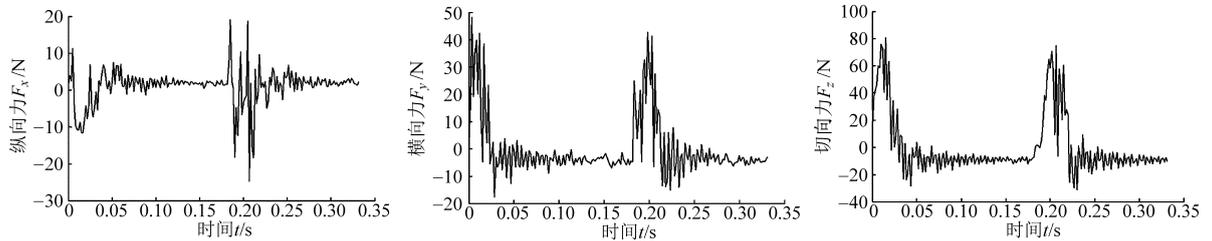


图3 三向动态打击力时域图

Fig. 3 Time-domain waveform of three-dimensional dynamic hitting force

2 材料与方法

2.1 材料

试验选用甘蔗样品的基本情况同文献[11],为了测试到较为稳定的打击力,选取的甘蔗茎秆样品要求通直、粗细均匀。试验中放入两端固定组件的甘蔗茎秆长度为 450 mm,截取时基本保证甘蔗段中间部位有 2 个完整茎节,选用甘蔗的直径为 30~35 mm。

2.2 方法

为了准确分离出弹性齿对甘蔗茎秆的三向动态打击力,试验中只采用 1 个滚筒且只安装 1 片弹性齿。根据物理样机剥叶试验^[11]中对含杂率指标影响因素的分析结果,确定剥叶滚筒转速、弹性齿与甘蔗茎秆的交错深度、侧偏距离和弹性齿材料作为影响三向打击力的因素,其中,侧偏距离对应剥叶样机的弹性齿间距,交错深度对应剥叶滚筒中心距,如图 4 所示,图中 l_1 表示弹性齿与甘蔗茎秆交错深度, l_2 表示弹性齿与甘蔗茎秆侧偏距离。在物理样机剥叶试验取得的较优参数组合的情况下,安排 4 个单因素试验,分别测试和分析 4 个因素的不同水平对弹性齿的三向动态打击力的影响规律,因素与水平安排如表 2 所示。

对甘蔗固定与测力系统建立坐标系,以甘蔗茎秆轴线为 x 轴,以空间垂线为 y 轴,切线方向为 z 轴。编制 LabVIEW 程序采集传感器的时间-力数据。将横向和切向分别在左、右的 2 个传感器同步输出的数据 F_{y1} 、 F_{y2} 和 F_{z1} 、 F_{z2} 相加,得出横向力 F_y 和切向力 F_z 的值,纵向力则取轴线方向上的一个传感器的力 F_x 为测试结果。时域图如图 3 所示,可见三向打击力均有明显峰值出现。采用 Matlab 软件编程读取数据的峰值,每次均分别取三向力的 50 个波峰读取峰值,取平均值后得出 3 个方向的最大打击力 $F_{x\max}$ 、 $F_{y\max}$ 和 $F_{z\max}$ 。为保证试验数据的稳定和可重复性,每组试验均选用 3 根形状和尺寸基本相同的甘蔗段进行测试,每组试验中每根甘蔗样品的测试值均取 50 组数据,综合计算结果为 3 根甘蔗样品共 150 组数据的平均值。

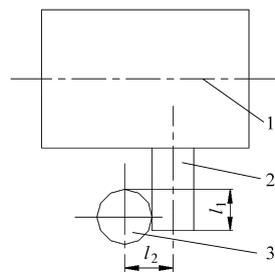


图4 因素设置示意图

Fig. 4 Schematic diagram of factors arrangement

1. 剥叶滚筒 2. 弹性齿 3. 甘蔗

表 2 单因素试验因素与水平

Tab. 2 Factors and levels of single factor experiment

水平	因素			
	滚筒转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	交错深度/ mm	侧偏距离/ mm	材料(硬度)
1	300	10	0	耐磨橡胶(80 HA)
2	400	15	5	聚氨酯(85 HA)
3	500	20	10	聚氨酯(95 HA)
4	600	25	15	
5	700	30	20	

3 结果与分析

3.1 单因素试验结果

滚筒转速、交错深度和侧偏距离 3 个单因素试

验结果如图5~7所示。每组试验结果均分别列出3根甘蔗样品在3个方向受到弹性齿最大打击力的统计值和综合处理后甘蔗茎秆在3个方向受到弹性

齿最大打击力的统计值。图5a、图6a、图7a所示结果表明,每组3个甘蔗样品测试结果有较高的吻合度,比较稳定。

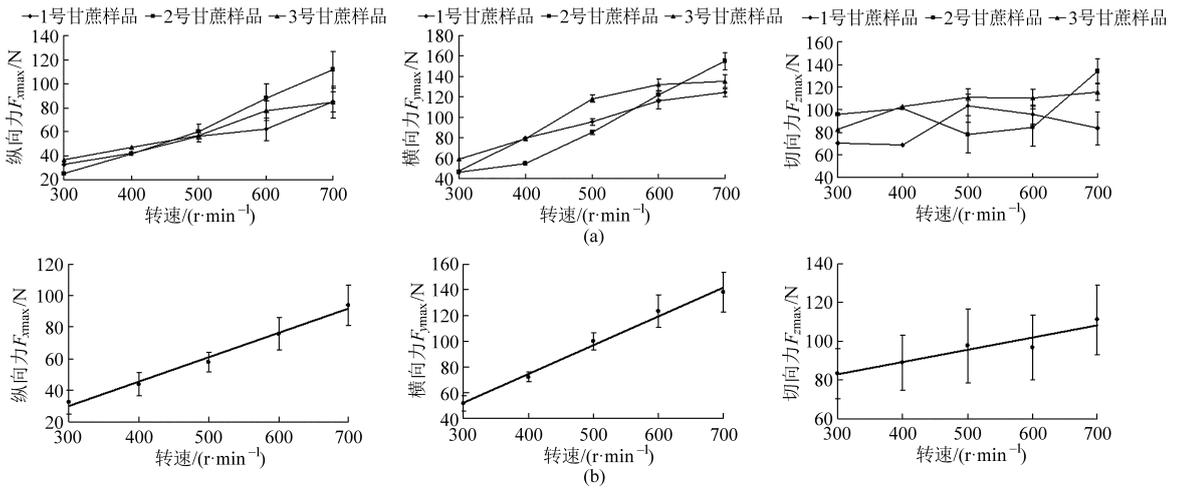


图5 剥叶滚筒转速单因素试验结果

Fig. 5 Results of single factor tests on rotate speed of leaf-stripping roller

(a) 3根甘蔗样品在3个方向受到的弹性齿最大打击力 (b) 综合处理后甘蔗茎秆在3个方向受到的弹性齿最大打击力

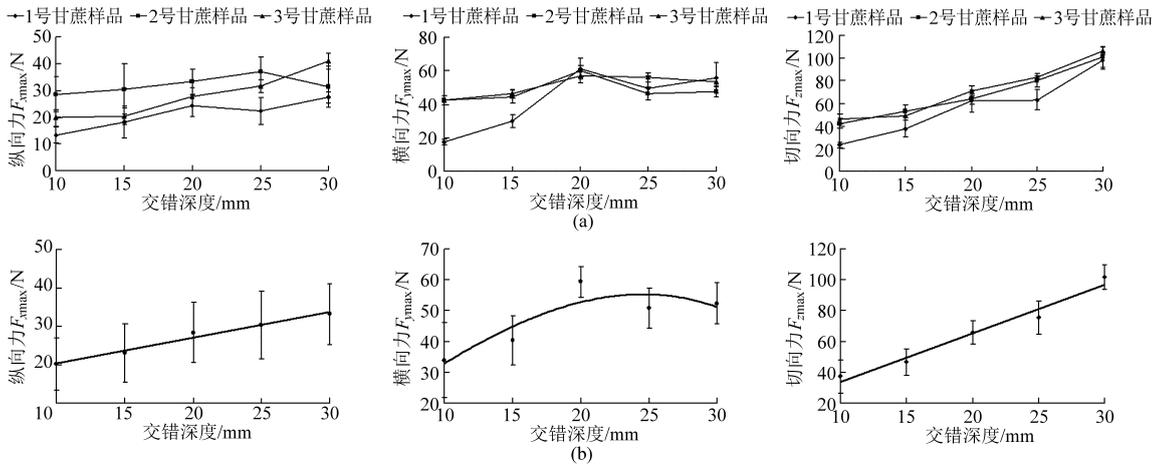


图6 交错深度单因素试验结果

Fig. 6 Results of single factor tests on interleaver depth

(a) 3根甘蔗样品在3个方向受到的弹性齿最大打击力 (b) 综合处理后甘蔗茎秆在3个方向受到的弹性齿最大打击力

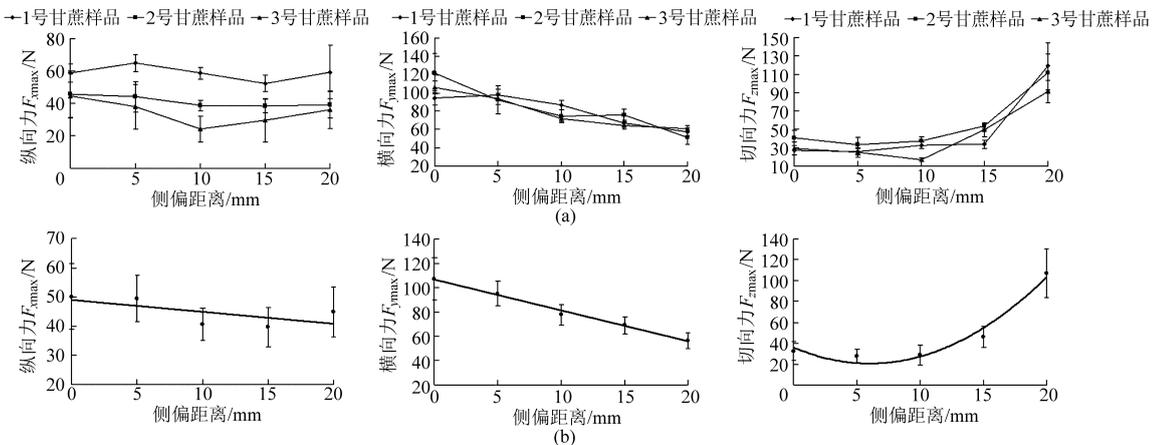


图7 侧偏距离单因素试验结果

Fig. 7 Results of single factor tests on offset distance

(a) 3根甘蔗样品在3个方向受到的弹性齿最大打击力 (b) 综合处理后甘蔗茎秆在3个方向受到的弹性齿最大打击力

由图 5b 得出, 弹性齿对甘蔗茎秆的三向打击力最大值均随剥叶滚筒转速的增大呈线性增加趋势, 其中, 滚筒转速变化对纵向力 $F_{x\max}$ 和横向力 $F_{y\max}$ 的影响较大, 对切向力 $F_{z\max}$ 的影响较小。滚筒转速是影响三向动态打击力的重要因素, 达到 700 r/min 时, 三向打击力均为最大值。

由图 6b 得出, 交错深度的变化对纵向力 $F_{x\max}$ 和横向力 $F_{y\max}$ 的影响幅度较小, 其中, 纵向力 $F_{x\max}$ 呈线性增加趋势, 横向力 $F_{y\max}$ 在交错深度 15 ~ 20 mm 区间内呈快速增大趋势, 在 20 ~ 30 mm 区间内的变化趋于平缓。交错深度的变化对切向力 $F_{z\max}$ 的影响较大, 呈线性增加关系。交错深度增大, 弹性齿与甘蔗茎秆接触过程的弹性变形增大, 三向打击力出现相应的变化。由于变形增大导致弹性齿无法处于稳定状态, 通过沿圆周向下滑动释放变形能, 造成纵向和切向力增大而横向力增大不显著的结果。综合分析, 交错深度为 30 mm 时, 三向打击力取得最大值, 对应的剥叶样机的滚筒中心距为 310 mm。

由图 7b 得出, 纵向力 $F_{x\max}$ 和横向力 $F_{y\max}$ 均随侧偏距离的增大而降低, 呈线性关系, 其中, 侧偏距离对纵向力 $F_{x\max}$ 影响幅度较小, 对横向力 $F_{y\max}$ 影响幅度较大。切向力 $F_{z\max}$ 在侧偏距离 0 ~ 10 mm 区间内呈较为平缓的变化趋势, 在 10 ~ 20 mm 区间内呈现快速增大的趋势。侧偏距离在 0 ~ 10 mm 范围内, 弹性齿在接触甘蔗茎秆时无法产生沿圆周下滑运动, 因此切向力较低, 侧偏距离增大使得弹性齿产生沿圆周下滑的运动, 切向力增大。切向力的增大有利于造成叶鞘横向撕裂破坏。侧偏距离 20 mm 时得到最大切向力 $F_{z\max}$ 。对应的剥叶样机中相邻弹性齿的间距为 15 mm。

弹性齿材料单因素试验结果如图 8 所示。3 种不同材料(硬度)的弹性齿对纵向力 $F_{x\max}$ 、横向力 $F_{y\max}$ 和切向力 $F_{z\max}$ 的影响呈现一致的趋势。采用 SPSS 软件进行独立样本 t 检验, 运用多重比较分析法(LSD)分析不同材料间的力值差异。结果表明, 聚氨酯(85 HA)的三向力值均略高于耐磨橡胶(80 HA)的相应力值, 两者之间没有显著性差异, 而聚氨酯(95 HA)的三向力值则明显高于前两者的相应值且均有显著性差异。聚氨酯(95 HA)弹性齿由于硬度增大, 横向力 $F_{y\max}$ 和切向力 $F_{z\max}$ 显著升高, 导致将甘蔗茎秆直接打碎破坏。根据试验结果, 弹性齿的硬度以 80 ~ 85 HA 为宜。

3.2 综合试验结果

结合物理样机剥叶试验因素优化结果^[11], 剥叶滚筒转速为 700 r/min, 交错深度为 30 mm, 侧偏距

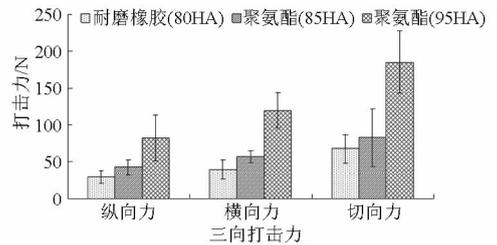


图 8 弹性齿材料单因素试验结果

Fig. 8 Results of tests on material of elastic dentation

离为 20 mm, 弹性齿材料为聚氨酯(85 HA)时, 对应的剥叶样机在剥叶含杂率等指标达到最优状态。在此条件下进行三向动态打击力综合试验, 测试剥叶样机主要参数在最优状态时, 弹性齿对甘蔗茎秆三向动态打击力的最大值, 分别为 $F_{x\max} = 93.87$ N、 $F_{y\max} = 138.26$ N、 $F_{z\max} = 111.19$ N。

4 叶鞘剥离机理分析

4.1 叶鞘剥离过程

弹性齿接触甘蔗茎秆过程中同时施加纵向、横向和切向的打击力作用, 弹性齿从接触甘蔗茎秆到脱离茎秆的过程这 3 个作用力始终同时存在。打击过程, 弹性齿沿甘蔗圆周向下滑动, 横向力 F_y 垂直于甘蔗叶鞘纤维方向持续施加打击力, 在横向力最大值 $F_{y\max}$ 出现时刻对叶鞘产生横向拉伸破坏, 造成叶鞘沿纤维方向的撕裂。同时, 弹性齿沿甘蔗轴线方向滑动过程, 纵向力 F_x 对已呈撕裂状的叶鞘进行刮擦、推挤和拉扯, 在纵向力最大值 $F_{x\max}$ 出现时刻对叶鞘产生纵向拉伸破坏。当弹性齿运动到叶鞘与茎节连接处时, 将叶鞘刮离茎秆, 实现整体剥离。在整个破坏过程, 切向力 F_z 同时存在, 切向的挤压力首先可以使弹性齿的尖角楔入叶鞘纤维之间造成剪切破坏, 有利于横向力 F_y 对叶鞘的撕裂作用, 其次使弹性齿在滑动过程中紧贴甘蔗茎秆表面有利于纵向力 F_x 对叶鞘的推挤和刮擦作用。

4.2 叶鞘剥离力学模型

前期研究已确定叶鞘剥离的判断标准, 实现叶鞘剥离应该同时满足在垂直于叶鞘纤维方向施加的应力 σ_2 大于等于最大横向抗拉强度 $\sigma_{2\max}$, 纵向应力 σ_1 大于等于叶鞘与茎秆连接抵抗撕扯最大强度 $\sigma_{1\max}$, “新台糖-16”品种的甘蔗, $\sigma_{2\max} = 0.9$ MPa, $\sigma_{1\max} = 0.78$ MPa^[15]。

在甘蔗茎秆上取单位体积的叶鞘作为分析对象, 如图 9 所示。叶鞘单元外表面受弹性齿的三向打击力, 内表面受茎秆的摩擦力。

叶鞘在外力作用下产生横向撕裂破坏的瞬间为动摩擦, 动摩擦力为

$$f_{iy} = \mu_2 F_z \quad (1)$$

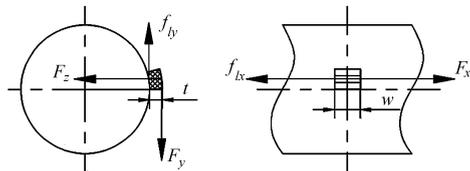


图9 叶鞘破坏过程受力分析

Fig.9 Force analysis on failure process of leaf sheath

式中 f_{ly} ——茎秆与叶鞘内表面在 y 方向动摩擦力, N

μ_2 ——茎秆与叶鞘内表面动摩擦因数, 取 0.36
造成叶鞘横向撕裂破坏的作用力为

$$F_{ly} = F_y - f_{ly} \quad (2)$$

式中 F_{ly} ——叶鞘横向破坏的作用力, N

叶鞘在 y 轴方向的拉应力为

$$\sigma_y = \frac{F_y - f_{ly}}{wt} \quad (3)$$

式中 σ_y ——叶鞘在 y 轴方向的拉应力, MPa

t ——叶鞘微单元厚度, m

w ——叶鞘微单元宽度, m

叶鞘撕裂破坏的同时纵向作用力 F_x 施加推挤和拉扯作用, 叶鞘滑动瞬间, 内表面受到的反向动摩擦力为

$$f_{lx} = \mu_2 F_z \quad (4)$$

式中 f_{lx} ——茎秆与叶鞘内表面 x 方向动摩擦力, N

此时, 叶鞘在 x 轴方向存在作用力差

$$F_{lx} = F_x - f_{lx} \quad (5)$$

式中 F_{lx} ——叶鞘纵向破坏作用力, N

则撕裂的叶鞘条在 x 轴方向的应力为

$$\sigma_x = \frac{F_x - f_{lx}}{u\pi Dt} \quad (6)$$

式中 σ_x ——叶鞘在 x 轴方向的拉应力, MPa

D ——叶鞘的内径, m

u ——撕裂的叶鞘条截面积与整片叶鞘截面积的比值

则叶鞘剥离的力学模型为

$$F_x \geq u\pi Dt\sigma_{x\max} + \mu_2 F_z \quad (7)$$

$$F_y \geq wt\sigma_{y\max} + \mu_2 F_z \quad (8)$$

式中, $\sigma_{x\max} = \sigma_{t\max} = 0.78$ MPa, $\sigma_{y\max} = \sigma_{2\max} = 0.9$ MPa。

式(7)、(8)表示, 实现叶鞘剥离的条件为弹性齿在 x 和 y 方向施加的打击力必须同时大于等于叶鞘在 x 和 y 方向的最大破坏力。

取 $D = 30$ mm、 $t = 1.5$ mm、 $w = 10$ mm、 $u = 0.33$, 并选择滚筒转速单因素试验中测试得到的三向动态打击力的数据, 计算叶鞘在 x 和 y 方向的最大破坏力, 结果如表 3 所示, 表中最大打击力为“平均值 \pm 标准差”。通过比较得出, 当滚筒转速为 700 r/min 时, 弹性齿对甘蔗茎秆施加的 $F_{x\max}$ 和 $F_{y\max}$ 的同时大于在 x 和 y 方向叶鞘最大破坏力, 表明可以同时实现对叶鞘的撕裂和剥离。模型的分析结果与样机剥叶试验^[11]中含杂率指标达到最低值的结果一致。

采用优化的参数结果进行综合剥叶试验, 剥叶

表3 剥叶滚筒转速对三向打击力影响试验结果

Tab.3 Results of three-dimensional force influenced by rotate speed of leaf-stripping roller

转速/(r·min ⁻¹)	弹性齿对甘蔗茎秆的三向最大打击力/N			叶鞘最大破坏力/N	
	$F_{x\max} \pm S. D.$	$F_{y\max} \pm S. D.$	$F_{z\max} \pm S. D.$	x 方向	y 方向
300	32.48 \pm 6.32	51.67 \pm 6.67	89.12 \pm 19.10	68.45	45.58
400	43.79 \pm 10.14	72.19 \pm 12.56	83.12 \pm 16.77	66.29	43.42
500	57.72 \pm 12.69	99.81 \pm 15.16	97.73 \pm 18.01	71.55	48.68
600	75.76 \pm 23.21	123.32 \pm 12.32	96.79 \pm 13.50	71.22	48.34
700	93.87 \pm 17.33	138.26 \pm 20.29	111.19 \pm 23.33	76.40	53.53

效果如图 10 所示, 试验取得的剥叶含杂率为 2.38%, 达到了较好的剥离效果。



图10 优化参数的剥叶效果

Fig.10 Leaf stripping effect of optimized parameters

5 结论

(1) 弹性齿对甘蔗茎秆三向打击力的最大值均

随滚筒转速增大呈线性增加。纵向力 $F_{x\max}$ 和切向力 $F_{z\max}$ 均随交错深度增大呈线性增加, 横向力 $F_{y\max}$ 随交错深度增加先增加后趋于平缓。 $F_{x\max}$ 和 $F_{y\max}$ 均随侧偏距离增大呈线性降低, $F_{z\max}$ 随侧偏距离增加先平缓变化再增加。聚氨酯(85 HA)与耐磨橡胶(80 HA)的三向打击力没有显著性差异, 弹性齿的硬度以 80~85 HA 为宜。

(2) 弹性齿接触甘蔗茎秆过程持续施加纵向、横向和切向的打击力。打击过程中弹性齿沿茎秆圆周向下滑动, 在横向力最大值 $F_{y\max}$ 出现时刻对叶鞘产生横向拉伸破坏, 造成叶鞘沿纤维方向撕裂。同时, 弹性齿

沿茎秆轴线滑动过程中,在纵向力最大值 $F_{x\max}$ 出现时刻对叶鞘产生纵向拉伸破坏。弹性齿运动到叶鞘与茎节连接处将叶鞘刮离茎秆,实现整体剥离。

(3) 剥叶滚筒转速为 700 r/min、交错深度为 30 mm、侧偏距离为 20 mm、弹性齿材料为聚氨酯

(85 HA) 时,弹性齿在 x 和 y 方向对甘蔗茎秆打击力的最大值分别为 $F_{x\max} = 93.87 \text{ N}$ 和 $F_{y\max} = 138.26 \text{ N}$, 同时大于 x 和 y 方向叶鞘的最大破坏力 76.40 N 和 53.53 N,实现对叶鞘的破坏和剥离,并经样机剥叶试验验证达到较为理想的叶鞘剥离效果。

参 考 文 献

- 1 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)
- 2 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. 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. (in Chinese)
- 3 罗菊川,区颖刚,刘庆庭,等.整秆式甘蔗联合收获机断蔗尾机构[J].农业机械学报,2013,44(4):89-94,107. Luo Juchuan, Ou Yinggang, Liu Qingting, et al. Tail-breaking mechanism of whole stalk sugarcane combine harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(4): 89-94, 107. (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,李尚平,刘正士,等.甘蔗收获机械关键元件动态试验测试的分析研究[J].广西大学学报:自然科学版,2004,29(3):222-225. Meng Yanmei, Li Shangping, Liu Zhengshi, et al. Dynamic test research on cleaning element in brush shape for sugarcane harvester [J]. Journal of Guangxi University: Natural Science Edition, 2004, 29(3): 222-225. (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 宫部芳照,阿部正俊.甘蔗脱葉機の開発に関する基礎的研究:I.蔗葉の引張抵抗について[R].鹿兒島大學農學部學術報告,1976,29:271-276. Yoshiteru Miyabe, Masatoshi Abe. Fundamental studies on the development of a leaf-stripping-machine for sugarcane I on the pulling-force of a leaf-detachment [R]. Bulletin of the Faculty of Agriculture, Kagoshima University, 1976, 29: 271-276. (in Japanese)
- 8 小島新,阿部正俊,宫部芳照,等.さとうきび脱葉ロールの引張力について[R].鹿兒島大學農學部學術報告,1986,36:215-219. Shin Kojima, Masatoshi Abe, Yoshiteru Miyabe, et al. On the pulling-force of leaf-stripping-roll for sugarcane [R]. Bulletin of the Faculty of Agriculture, Kagoshima University, 1986, 36: 215-219. (in Japanese)
- 9 阿部正俊,小島新,宫部芳照,等.チェーン型さとうきび脱葉機に関する基礎的研究[R].鹿兒島大學農學部學術報告,1984,34:165-171. Masatoshi Abe, Shin Kojima, Yoshiteru Miyabe. Fundamental studies on the tether typed leaf-stripping-machine for sugarcane [R]. Bulletin of the Faculty of Agriculture, Kagoshima University, 1984, 34: 165-171. (in Japanese)
- 10 Paulo S G Magalhães, Oscar A Braunbeck, Natasha B Pagnano. Resistência à compressão e remoção de folhas da cana-de-açúcar visando à colheita mecânica [J]. Engenharia Agrícola-Jaboticabal, 2004, 24(1): 177-184. Paulo S G Magalhães, Oscar A Braunbeck, Natasha B Pagnano. Resistance to compression and leaves removal of sugarcane for mechanical harvesting [J]. Engenharia Agrícola-Jaboticabal, 2004, 24(1): 177-184. (in Portuguese)
- 11 牟向伟,区颖刚,刘庆庭,等.弹性齿滚筒式甘蔗剥叶装置[J].农业机械学报,2012,43(4):60-65. Mou Xiangwei, Ou Yinggang, Liu Qingting, et al. Elastic dentation roller type sugarcane leaf-stripping device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(4): 60-65. (in Chinese)
- 12 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. Damage of sugarcane leaf sheath under 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)
- 13 牟向伟,区颖刚,刘庆庭,等.甘蔗叶鞘剥离过程弹性齿运动分析与试验[J].农业机械学报,2014,45(2):122-129. Mou Xiangwei, Ou Yinggang, Liu Qingting, et al. Kinematic analysis and experiments of elastic dentations in process of sugarcane leaf sheath stripping [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(2): 122-129. (in Chinese)
- 14 Mou Xiangwei, Liu Qingting, Ou Yinggang, et al. Mechanical properties of the leaf sheath of sugarcane [J]. Transactions of the ASABE, 2013, 56(3): 801-812.
- 15 牟向伟,区颖刚,王美美,等.甘蔗叶鞘破坏与剥离方式试验与分析[J].华南农业大学学报,2013,34(4):584-588.