

周绍鹏, 刘庆庭, 杨丹彤, 等. 甘蔗立式夹持输送通道剥叶装置设计与试验 [J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(3): 117-124.
ZHOU Shaopeng, LIU Qingting, YANG Dantong, et al. Design and test on leaf-stripping device of sugarcane harvester by a vertical clamping-conveying channel[J]. Journal of South China Agricultural University, 2019, 40(3): 117-124.

甘蔗立式夹持输送通道剥叶装置设计与试验

周绍鹏^{1,2}, 刘庆庭¹, 杨丹彤¹, 黄 淼¹, 何腾锋¹, 黄 峥¹

(1 华南农业大学 工程学院/南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广东 广州 510642;

2 广东白云学院, 广东 广州 510450)

摘要:【目的】探讨甘蔗立式夹持输送剥叶技术在整秆式收割机中的可行性, 解决现有整秆式甘蔗联合收割机甘蔗通道长、作业效率低的问题。【方法】以 4ZZX-48 型甘蔗收割机为作业平台, 在输送通道上设计立式剥叶装置。通过收获试验, 分析了夹持输送链轮转速 (n_1)、剥叶辊筒角度 (β)、剥叶辊筒转速 (n_2) 和甘蔗喂入率 (q) 等因素对甘蔗立式夹持输送剥叶性能的影响。【结果】 n_1 和 n_2 对剥叶性能有显著影响, 各因素对剥叶性能的影响依次为 $n_1 > n_2 > q > \beta$ 。 n_1 为 60 r/min、 β 为 30°、 n_2 为 360 r/min、 q 为 7.5 kg/s 时, 甘蔗叶片剥净率为 76.6%, 剥叶性能达到最优。曲线回归分析表明, 剥叶辊 n_2/n_1 与剥净率之间存在着二次多项式关系, n_2/n_1 在 5~6 之间时, 剥净率约 77%, 达到试验最优值。【结论】基于甘蔗立式夹持输送剥叶技术的收割机具有可行性, 本研究结果对研发新型整秆式甘蔗收割机有一定参考价值。

关键词: 甘蔗收割机; 立式; 剥叶机构; 设计与试验
中图分类号: S225.53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-411X(2019)03-0117-08

Design and test on leaf-stripping device of sugarcane harvester by a vertical clamping-conveying channel

ZHOU Shaopeng^{1,2}, LIU Qingting¹, YANG Dantong¹, HUANG Miao¹, HE Tengfeng¹, HUANG Zheng¹
(1 Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education/College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2 Guangdong Baiyun University, Guangzhou 510450, China)

Abstract: 【Objective】 To explore the feasibility of sugarcane vertical clamping-conveying technology for the whole stalk harvester, and provide a technical support for solving the problem of long sugarcane channel and low working efficiency of the existing stalk-type sugarcane combine harvester. 【Method】 A kind of vertical stripper was designed in a clamping-conveying channel for 4ZZX-48 sugarcane harvester . A harvesting test of this device was conducted in field. The influence factors of leaf stripping effect were analyzed, including the rotation rate of conveyor chain sprocket(n_1), the installation angle of leaf stripping roller(β), the rotation rate of leaf stripping roller(n_2) and sugarcane feeding speed(q) 【Result】 The values of n_1 and n_2 had significant impact on leaf stripping effect. The ranking of influence was $n_1 > n_2 > q > \beta$. When n_1 was 60 r/min , n_2 was 360 r/min , β was 30° and q was 7.5 kg/s, the machine got the best stripping effect and leaf stripping rate was 76.6%. The results of curve regression analysis showed that there was a quadratic polynomial relation between clearing rate and the ratio of n_2 to n_1 . When the value of n_2/n_1 ranged from 5 to 6, clearing rate reached the maximum of

around 77%. 【Cluclusion】 This harvester, based on sugarcane vertical clamping-conveying and stripping technology, is feasible and has certain reference value for research and development of a new whole stalk sugarcane harvester.

Key words: sugarcane harvester; erect; leaf-stripping mechanism; design and test

甘蔗 *Saccharum officinarum* L.整秆分段式收获中,剥叶所占用的时间为整个收获作业时间的60%左右^[1-3]。甘蔗整秆收获的剥叶技术是影响整秆分段式收获方式发展的关键因素。现有整秆式联合收获技术,甘蔗根部切割后被送入辊筒通道,甘蔗以卧倒状态通过辊筒(剥叶)通道的过程中进行剥叶;收获倒伏弯曲的甘蔗时,辊筒通道内的剥叶元件容易造成甘蔗折断,进而导致通道堵塞。现有的甘蔗分段收获技术,甘蔗根部被切割后,甘蔗在直立状态下被夹持输送并集堆铺放在田间,再由独立的剥叶机进行剥叶,导致分段式收获系统的作业效率较低。国内外学者对甘蔗整秆联合收获和分段收获中的剥叶技术研究较多,国内主要参研单位有华南农业大学、广西大学、浙江大学、广西农业机械研究院和中国农业机械化科学研究院等^[4-6],国外相关科研单位主要分布在日本、澳大利亚、古巴等国家^[6-7]。对甘蔗根部切割后以直立状态被夹持输送过程中进行剥叶的技术研究鲜见报道。本文以华南农业大学研制的4ZZX-48型甘蔗收割机为基础,搭建了甘蔗立式夹持收获作业平台,设计了用于立式夹持输送过程中进行剥叶的装置,并进行了田间试

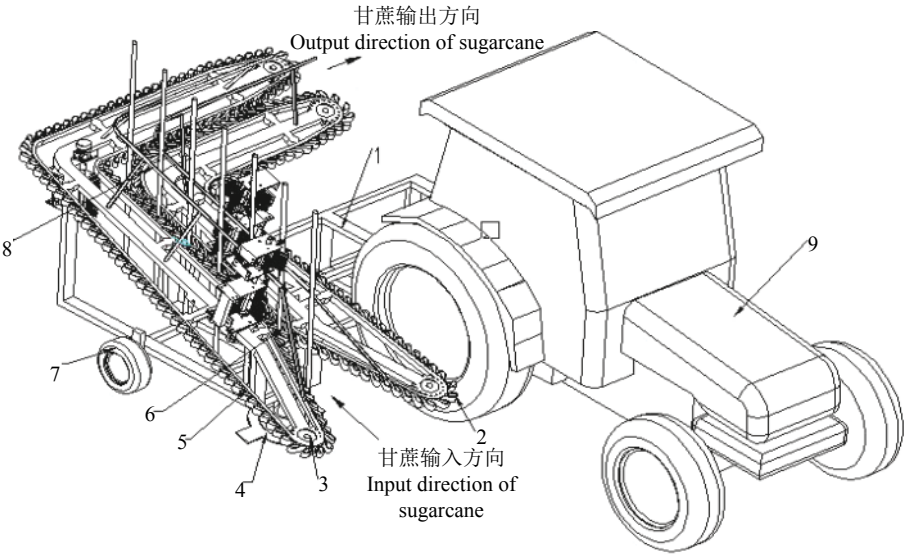
验。通过试验研究,分析了夹持输送链轮转速、剥叶辊筒安装角度、剥叶辊筒转速和甘蔗喂入率等因素对甘蔗剥叶性能的影响,并获得了最佳的组合参数,以期对甘蔗立式夹持输送的整秆联合收割机的研制提供理论参考。

1 甘蔗收割机平台搭建与试验

4ZZX-48型甘蔗收割机是华南农业大学甘蔗机械化研究室早期研制成功的一种机型。该机型主要由机架、甘蔗切割刀盘和夹持输送通道组成。夹持输送通道的链条上安装有弹性元件,2条相对的链条之间形成甘蔗输送通道,如图1所示。作业时,液压马达驱动2条链条向内同步运动。甘蔗根部切割后被柔性夹持输送链夹持,在直立状态下依次向右后方输送^[5]。该机的甘蔗入口夹持点距离地面800 mm。

1.1 立式剥叶装置设计

剥叶装置的结构是影响剥叶效果和效率的主要因素之一^[8-11]。本文设计了一种可以安装在收割机立式夹持输送通道上的剥叶装置,试图在甘蔗以直立状态通过夹持输送通道的过程中去除蔗叶。该



1: 架, 2: 夹持橡胶块, 3: 夹持输送链轮, 4: 甘蔗切割刀盘, 5: 夹持输送链条, 6: 夹持点位置, 7: 收割机支撑轮, 8: 甘蔗导向杆, 9: 驱动拖拉机
1: Frame, 2: Clamping rubber block, 3: Clamping conveyor sprocket, 4: Sugarcane cutter, 5: Clamping conveyor chain, 6: Clamping point, 7: Supporting wheel of sugarcane harvester, 8: Guide rod for sugarcane, 9: A tractor as power

图 1 4ZZX-48 型甘蔗收割机

Fig. 1 Type 4ZZX-48 sugarcane harvester

剥叶装置主要由剥叶辊筒和支架组成, 如图 2 所示。剥叶辊筒由液压马达驱动, 辊筒上圆周均匀分布 4 把剥叶刷, 剥叶刷端部到辊筒轴线的长度为 190 mm^[13]。剥叶刷上安装有尼龙绳作为剥叶元件。尼龙绳直径 2.5 mm, 每 4 根尼龙绳为一束, 安装在固定板上, 伸出长度 80 mm, 各尼龙束之间间隔 30 mm^[11-16], 如图 3 所示。

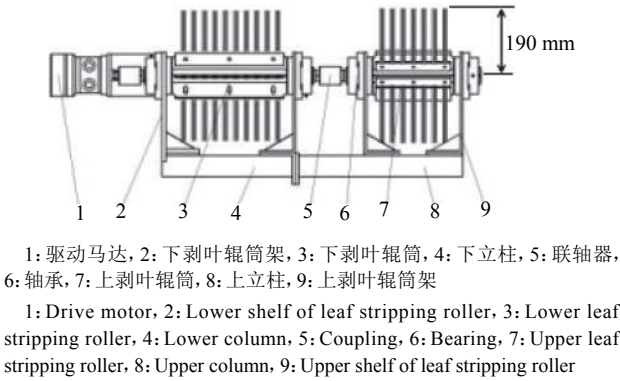


图 2 剥叶装置

Fig. 2 Leaf stripping device

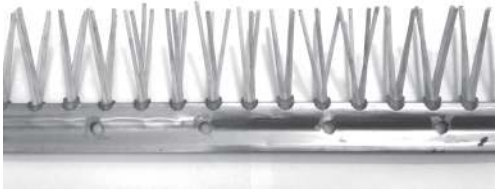


图 3 剥叶刷示意图

Fig. 3 Stripping leaf brush

1.2 剥叶装置布置

为了描述剥叶装置安装位置, 定义如下平面和轴线: 甘蔗在两侧夹持输送链作用下呈直立状态向后输送, 为了将进入输送链的甘蔗在向后输送过程中提升一定高度, 纵向输送链所在平面与地面成一定的角度 α , 将该平面标记为平面 M; 将两侧输送链中间的对称面标记为平面 N; 将剥叶辊筒轴线标记为轴线 l , 并使轴线 l 与平面 N 距离为 200 mm, 避免剥叶辊筒阻碍甘蔗顺利通过; 将通过轴线 l 且与平面 M 垂直、与平面 N 平行的平面标记为平面 Q。剥叶装置通过固定架和立柱安装在收割机框架的边梁上。为尽量减少剥叶元件对甘蔗输送通过能力的不利影响, 本文在收割机夹持输送通道前端交错安装 2 组剥叶装置、在后端安装 1 组剥叶装置。各平面和剥叶装置安装位置如图 4 和图 5 所示。输送链夹持甘蔗向后输送时, 剥叶元件打击在甘蔗上并将蔗叶去除^[17-20]。

剥叶辊筒轴线 l 的法平面与输送链平面 M 之间可以呈一定角度安装, 将该角度定义为剥叶辊筒

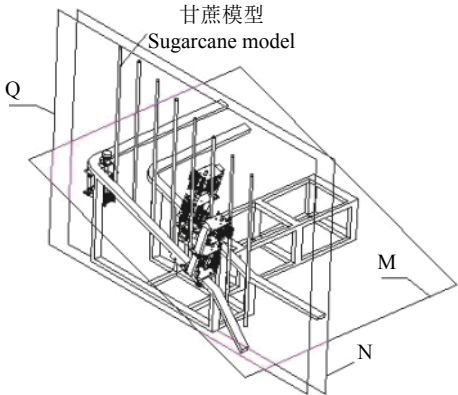


图 4 剥叶装置安装位置

Fig. 4 Installation site of leaf stripping device

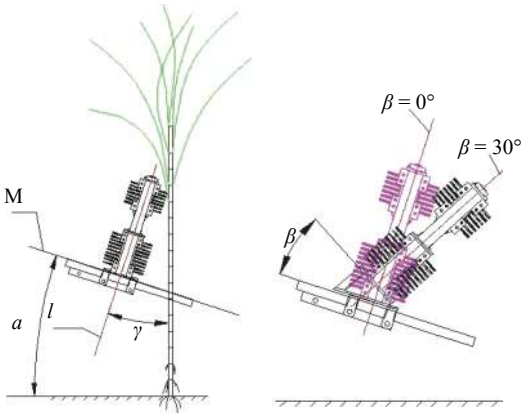


图 5 α 、 β 和 γ 角度关系示意图

Fig. 5 The relationship of α , β and γ

安装角度 β , 并将剥叶辊筒轴线 l 的法平面与输送链平面 M 重合时所在位置标记为 β 的起始点, 即此时 $\beta=0^\circ$ 。 β 大小决定了剥叶辊筒轴线与直立输送甘蔗之间的相应角度, 进而决定了剥叶元件与甘蔗茎秆之间相应角度^[18-19]。定义剥叶辊筒轴线与直立甘蔗之间的角度为 γ 。 β 大小影响着剥叶元件与甘蔗之间的相互作用, β 设计为 0° 、 15° 和 30° 共 3 种可调状态。本文设计为 $\alpha=30^\circ$, 当 β 分别为 0° 、 15° 和 30° 时, γ 分别为 30° 、 45° 和 60° , 如图 5 所示。

2 田间收获试验

试验时间为 2015 年 3 月, 试验地点为云南省农业科学院甘蔗研究所试验基地。甘蔗品种为 ‘粤糖 93-159’, 种植时间为 2014 年 2 月, 种植行距为 1.2 m, 种植密度为 75 000~105 000 芽/hm², 实际生长平均密度为 10 株/m, 甘蔗直立不倒伏。该品种甘蔗有效茎秆长度约 2 m, 平均蔗径为 28 mm, 单株甘蔗平均质量约 1.5 kg, 平均茎叶比为 86.5。

2.1 试验因素

甘蔗剥叶机的输入输出辊转速、剥叶元件与甘蔗茎的夹角、剥叶辊筒转速、喂入率等因素对剥叶

效果有影响^[9]。本文中,链轮转速决定了夹持输送链移动速度,两者之间的对应关系如表 1 所示。收割机前进速度直接影响甘蔗喂入率大小^[19],本文试验条件下收割机前进速度与甘蔗喂入率对应关系如表 2 所示。剥叶辊筒轴线与直立甘蔗间的角度 γ 影响着剥叶元件作用在甘蔗上的角度。因此,本文选择夹持输送链轮转速 (n_1)、剥叶辊筒安装角度 (β)、剥叶辊筒转速 (n_2)、甘蔗喂入率 (q) 为试验因素,分别进行单因素试验,研究各因素对甘蔗立式夹持输送剥叶性能的影响。然后,根据单因素试验结果进行多因素试验,并分析因素组合对剥叶性能的影响。

表 1 链轮转速与链条线速度对应关系表

Table 1 The relationship between sprocket speed and chain-line speed

链轮转速/(r·min)	60	90	120	150	180
Sprocket speed					
输送链速度/(m·s ⁻¹)	0.57	0.86	1.14	1.43	1.71
Chain-line speed					

表 2 收割机前进速度与喂入率对应关系表

Table 2 The relationship between harvester speed and feeding rate

收割机前进速度/(m·s ⁻¹)	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
Harvester speed					
甘蔗喂入率/(kg·s ⁻¹)	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5
Feeding rate of sugarcane					

2.2 试验指标与样本容量

剥叶试验时,为避免根部和梢部杂质对试验指标带来不利影响,先进行非剥叶区间杂质去除预处理,然后夹持输送经过剥叶装置进行剥叶作业。剥叶区间起点设置在离地高 0.4 m 处,区间长度为 1.2 m,

输送链夹持点在剥叶区间 1/3 高度处,如图 6 所示。剥叶装置的作业范围在甘蔗剥叶区间内,主要针对甘蔗中部枯黄及半枯黄蔗叶进行剥离作业。定义剥叶区剥净率作为试验指标^[21-25]。

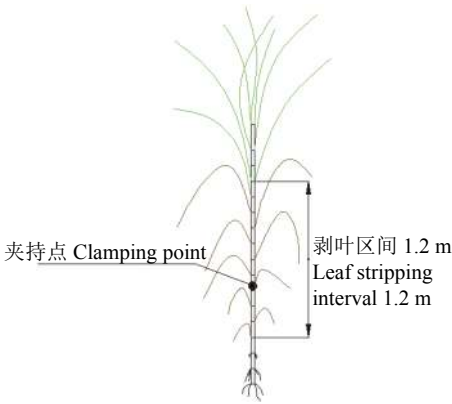


图 6 剥叶区间位置

Fig. 6 Leaf stripping interval position

剥叶区域剥净率 (S_j , 以下简称为剥净率) 定义为在剥叶区域内,剥离的蔗叶和叶鞘占该区域蔗叶总量的比例, S_j 越大表明剥叶效果越好^[24]。

$$S_j = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_2 + m} \times 100\%, \tag{1}$$

式中, m 为剥叶区间内茎秆上未剥下的蔗叶及叶鞘质量; m_1 为剥叶前蔗叶与蔗茎总质量; m_2 为剥叶后茎秆上未剥下的蔗叶及叶鞘和蔗茎的总质量。

试验开始时,预先在甘蔗地里进行样本容量的标定。每 1.5 m 长度为一个试验区域,区域内甘蔗质量约为 22.5 kg,如图 7 所示。试验时,每次试验的样本容量作为一个区域内的甘蔗量,喂入率试验按喂入率要求进行前进速度的确定,其他试验均以 0.5 m/s 速度匀速通过收割甘蔗。

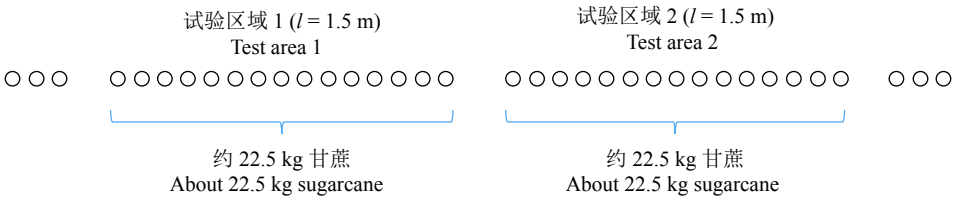


图 7 样本容量标定

Fig. 7 Calibration of sample size

2.3 单因素试验设计

以夹持输送链轮转速、剥叶辊筒安装角度、剥叶辊筒转速、甘蔗喂入率为试验因素,分别进行单因素试验^[26]。

2.3.1 夹持输送链轮转速单因素试验 夹持输送链轮的转速间接决定甘蔗经过剥叶区间的时间,剥

叶时间越长,剥叶效果会越好。安装剥叶装置后,综合收割机前进速度、收获质量和收获效率等情况,确定夹持输送链轮转速 (n_1) 为 60、90、120、150 和 180 r/min 共 5 个水平。其他影响因素:剥叶辊筒安装角度 (β) 为 30°,剥叶辊筒转速 (n_2) 为 360 r/min,喂入率 (q) 为 7.5 kg/s。每次试验的甘蔗质量 22.5 kg,

每个水平重复 3 次。

2.3.2 剥叶辊筒安装角度单因素试验 剥叶辊筒安装角度为 0°、15°和 30°共 3 个水平。其他因素水平: 夹持输送链轮转速 60 r/min, 剥叶辊筒转速 360 r/min, 喂入率 7.5 kg/s。每次试验甘蔗质量 22.5 kg, 每个水平重复 3 次。

2.3.3 剥叶辊筒转速单因素试验 剥叶辊筒转速因素水平取 120、180、240、300 和 360 r/min 共 5 个水平。其他因素水平: 剥叶辊筒安装角度 30°, 夹持输送链轮转速 60 r/min, 喂入率 7.5 kg/s。每次试验甘蔗质量 22.5 kg, 每个水平重复 3 次。

2.3.4 甘蔗喂入率单因素试验 喂入率取 4.5、7.5 和 10.5 kg/s, 共 3 个水平。其他因素水平: 夹持输送链轮转速 60 r/min, 剥叶装置安装角度 30°, 剥叶辊筒转速 360 r/min。每次试验甘蔗质量 22.5 kg, 每个水平重复 3 次。

2.4 双因素试验

根据单因素试验结果, 夹持输送链轮转速 (n_1) 和剥叶辊筒转速 (n_2) 对剥净率有显著影响, 因此设计双因素试验, 研究双因素间的交互作用对试验指标是否有影响。双因素试验的因素和水平如表 3 所示, 其他影响因素: 剥叶辊筒安装角度 30°,喂入率 7.5 kg/s。每次试验甘蔗质量 22.5 kg, 每个水

表 3 双因素试验安排表		
Table 3 Schedule of double factor test		
水平	输送链轮转速	剥叶辊筒转速
Level	Speed of conveying sprocket	Speed of leaf roller
1	60	120
2	120	240
3	180	360

平重复 3 次。

采用 SPSS16.0 统计分析软件对试验结果进行统计与分析。

3 结果与分析

3.1 单因素试验结果

3.1.1 夹持输送链轮转速 通过调节夹持输送链轮的转速 (n_1), 进行单因素试验, 对甘蔗剥净率进行测定, 试验结果如表 4 所示。由表 4 可以看出, 夹持输送链轮转速水平从 60 r/min 增加到 180 r/min 时, 夹持输送链轮转速越高, 剥叶刷对甘蔗的作用时间就越短, 蔗叶剥净率就越小。夹持输送链不同转速水平方差分析结果显示, 显著性水平 $P=0.002<0.01$, 表明夹持输送链轮转速对试验指标剥净率有极显著影响。

表 4 不同夹持输送链轮转速水平的剥净率和方差分析结果					
Table 4 The results of stripping rates of different speed levels and variance analysis					
项目 Item	60 r·min ⁻¹	90 r·min ⁻¹	120 r·min ⁻¹	150 r·min ⁻¹	180 r·min ⁻¹
剥净率/% Stripping rate	76.0	74.0	72.1	68.1	50.5
标准误/% Standard error	3.9	1.8	1.1	1.5	5.7
变异来源 Variation source	SS	DF	MS	F	P
组间 Between groups	0.126	4	0.032	9.649	0.002
组内 Within groups	0.033	10	0.003		
总计 Total	0.159	14			

3.1.2 剥叶辊筒安装角度 通过改变剥叶辊筒安装角度 (β), 对剥叶辊筒轴线与直立甘蔗间的角度 (γ) 进行调节, 试验结果见表 5。由剥叶效果平均值可知, 改变剥叶辊筒安装角度, 甘蔗剥叶区间内的蔗叶剥净率变化不大。方差分析结果显示, 显著水平 $P=0.954>0.05$, 表明剥叶辊筒安装角度对剥净率影响不显著。

3.1.3 剥叶辊筒转速 通过改变剥叶辊筒驱动马达的转速 (n_2) 调节剥叶辊筒的转速, 试验结果如表 6 所示。剥叶辊筒的转速越高, 剥净率越高。原因是因为剥叶辊筒的转速越高, 在相同时间内甘蔗通过剥叶刷时被打击的次数就越多, 蔗叶脱落的可

表 5 不同剥叶辊筒安装角度水平的剥净率和方差分析结果						
Table 5 The results of stripping rates of different installation angles and variance analysis						
项目 Item		0°	15°	30°		
剥净率/%		70.6	70.8	71.6		
Stripping rate						
标准误/%		1.57	1.64	3.81		
Standard error						
变异来源		SS	DF	MS	F	P
Variation source						
组间 Between groups		0.000	2	0.000	0.047	0.954
组内 Within groups		0.012	6	0.002		
总计 Total		0.012	8			

表 6 不同剥叶辊筒转速水平的剥净率和方差分析结果

Table 6 The results of stripping rates of different roller speeds and variance analysis

项目 Item	120 r·min ⁻¹	180 r·min ⁻¹	240 r·min ⁻¹	300 r·min ⁻¹	360 r·min ⁻¹
剥净率/% Stripping rate	67.6	75.9	76.6	76.9	81.1
标准误/% Standard error	1.75	1.66	2.60	2.60	2.66
变异来源 Variation source	SS	DF	MS	F	P
组间 Between groups	0.029	4	0.007	4.574	0.023
组内 Within groups	0.016	10	0.002		
总计 Total	0.045	14			

能性就越大，最终剥叶效果就越好。方差分析显示，差异性显著水平 $P=0.023<0.05$ ，表明剥叶辊筒转速对剥净率影响显著。

3.1.4 甘蔗喂入率 喂入率单因素试验采用定速定距喂入法，即根据喂入率要求，通过表 2 确定收割机前进速度和收割距离，保证喂入率和样本容量的准确性。试验结果见表 7。甘蔗喂入率越大，剥净率越低。喂入率单因素方差分析结果显示，差异性显著水平 $P=0.040<0.05$ ，表明喂入率在 95% 的置信区间内，对剥净率影响显著。

3.2 双因素试验结果

单因素试验方差分析结果显示，4 个因素对剥净率的影响由大到小依次为夹持输送链轮转速、剥叶辊筒转速、甘蔗喂入率、剥叶辊筒安装角度。选择夹持输送链轮转速和剥叶辊筒转速进行双因素试验，结果见表 8。

由表 8 可以看出，剥叶辊筒转速为 120 r/min、

表 7 不同喂入率的剥净率和方差分析结果

Table 7 The results of stripping rates of different feeding rates and variance analysis

项目 Item	4.5 kg·s ⁻¹	7.5 kg·s ⁻¹	10.5 kg·s ⁻¹			
剥净率/%	73.8	68.5	64.5			
Stripping rate						
标准误/%	2.12	1.21	2.31			
Standard error						
变异来源	<i>SS</i>	<i>DF</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	
Variation source						
组间 Between groups	0.013	2	0.007	5.782	0.040	
组内 Within groups	0.007	6	0.001			
总计 Total	0.020	8				

夹持输送链轮转速为 180 r/min 时，剥净率仅有 52.60%；而剥叶辊筒转速为 360 r/min、夹持输送链轮转速为 60 r/min 时，剥净率为 76.60%，达到了此

表 8 双因素试验的剥净率和方差分析结果

Table 8 The results of stripping rates of double factor test and variance analysis

输送链轮转速(n_1)/(r·min ⁻¹) Speed of conveying sprocket	不同剥叶辊筒转速(n_2)的剥净率(n_2)/% Stripping rate at different speed of leaf roller				
	120 r·min ⁻¹	240 r·min ⁻¹	360 r·min ⁻¹		
60	70.60	75.20	76.60		
120	66.10	71.00	74.00		
180	52.60	67.40	67.70		
变异来源 Variation source	SS	DF	MS	F	P
修正模型 Corrected model ¹⁾	0.135	8	0.017	9.397	0.000
截距 Intercept	12.957	1	12.957	7.236E3	0.000
n_1	0.070	2	0.035	19.536	0.000
n_2	0.054	2	0.027	15.060	0.000
$n_1 \times n_2$	0.011	4	0.003	1.497	0.245
误差 Error	0.032	18	0.002		
合计 Total ²⁾	13.124 ²⁾	27			

1) $R^2=0.807$ (修正 $R^2=0.721$); 2) 修正合计SS为0.167, DF 为26
1) $R^2=0.807$ (Adjusted $R^2=0.721$); 2) Corrected total SS was 0.167, DF was 26

次试验的最大值。双因素方差分析结果表明, 夹持输送链轮转速与剥叶辊筒转速的交互作用对试验指标的影响水平为 $P=0.254>0.05$, 所以 n_1 和 n_2 之间的交互作用对试验指标影响不显著。通过单因素和双因素试验分析得出, 单因素试验结果确定在 $n_1=60\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 、 $n_2=360\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 水平时, 有较好的剥叶效果, 达到文献 [12-13] 中水平式剥叶方式的剥净率 (75%)。 n_1 和 n_2 对剥净率的影响均达到显著水平 ($P<0.05$), 这也验证了单因素试验结果分析的正确性。

3.3 优化组合对剥净率的影响

为同时表达剥叶辊筒转速和夹持输送链轮转速与剥净率的关系, 定义“转速比”为剥叶辊筒转速 (n_2) 和夹持输送链轮转速 (n_1) 的比值, 根据表 4、表 6 和表 8 的试验数据, 分类整理出每个 n_2/n_1 的试验结果 (表 9)。由表 9 可知, 当 n_2 为 120 r/min、

n_1 为 180 r/min 时, n_2/n_1 为 0.7, 剥净率最低, 仅有 52.6%; 而 n_2 为 360 r/min、 n_1 为 60 r/min 时, n_2/n_1 为 6.0, 剥净率为 76.6%, 达到了此次试验的最大值。

运用 SPSS16.0 统计分析软件的相关性检验模块, 对该组数据进行一元线性相关和二次多项式分析, 计算出转速比和剥净率间的相关系数, 并进行显著性检验, 结果如表 10 所示。 R^2 可评判模型的优劣, R^2 越大, 则模型越优。表 10 中, 一元线性模型的 $R^2=0.573$, 二次多项式的 $R^2=0.632$, 说明二次多项式拟合的模型更符合试验结果, 即转速比和剥净率之间存在着二次多项式关系。当转速比越大时, 甘蔗剥叶区间内的剥净率越大; 转速比达到最大值时, 剥净率也达到最大值。同时, 一元线性模型与二次多项式模型的显著性水平 P 均为 0.000, 表明在 99% 的置信区间内, 转速比和剥净率之间具有相关性。

表 9 转速比与剥净率关系
Table 9 The relationship between speed ratio and stripping rate

转速比(n_2/n_1) Rotation speed ratio	0.7	1.0	1.3	2.0	2.4	3.0	4.0	5.0	6.0
剥净率/% Stripping rate	52.5	64.2	67.4	62.5	68.1	73.4	75.2	76.9	77.9

表 10 转速比与剥净率相关分析¹⁾
Table 10 Correlation analysis between rotation speed ratio and stripping rate

模型 Model	R^2	F	DF_1	DF_2	P	常量 Constant	b_1	b_2
一元线性 Linear	0.573	33.541	1	25	0.000	0.586	0.037	
二次多项式 Quadratic	0.632	20.602	2	24	0.000	0.526	0.090	-0.008

1) 自变量为转速比
1) The independent variable was rotation speed ratio

运用 SPSS16.0 统计分析软件的曲线回归分析模块, 对转速比与剥净率进行二次曲线拟合, 绘出曲线图, 如图 8 所示。图 8 中显示出了转速比与剥净率之间的变化规律趋势, 转速比越大, 剥叶区间

内的剥净率就越高。在试验转速比范围内, 转速比小于 5 时, 剥净率随转速比增大而增大; 转速比大于 6 时, 剥净率有所下降; 而转速比在 5~6 之间时, 剥净率达到最大值 77.9%, 该剥净率达到文献 [12-13] 中水平式剥叶机的剥净率 (75%)。

4 结论

设计了一种用于整秆式甘蔗收割机立式夹持收获过程中同步剥叶的装置, 试验表明该装置可行。夹持输送链轮转速和剥叶辊筒转速对甘蔗立式夹持输送剥净率有极显著影响; 本试验条件下, 当夹持输送链轮转速为 60 r/min、剥叶辊筒安装角度为 30°、剥叶辊筒转速为 360 r/min、甘蔗喂入率为 7.5 kg/s 时, 甘蔗剥净率为 76.6%, 剥叶性能达到最优值。剥叶辊筒转速和夹持输送链轮转速的比值 (n_2/n_1) 与剥净率之间存在着二次多项式关

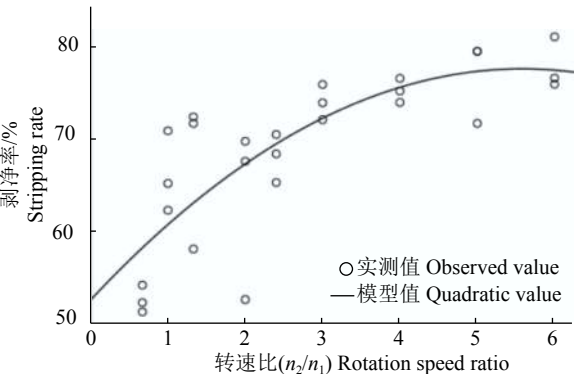


图 8 转速比与剥净率的拟合曲线
Fig. 8 Fitting curve of rotation speed ratio and stripping rate

系, 当 n_2/n_1 在 5~6 之间时, 剥净率达最大值, 为 77.9%, 达到了大多数水平式剥叶机的剥净率技术标准。今后将针对在不同甘蔗立地条件、不同甘蔗生长姿态 (如不同倒伏程度) 继续开展深入研究。

参考文献:

[1] 刘芳建, 杨学军, 刘赞东, 等. 我国整秆式甘蔗剥叶机械研究现状及思考 [J]. 农机化研究, 2013, 35(10): 238-241.

[2] 刘正龙. 甘蔗机械剥叶原理分析与新款机型构思 [J]. 农机科技推广, 2013(2): 50-51.

[3] 张威, 周新民, 邓道路, 等. 适用于云南山区小型整秆式甘蔗剥叶机的设计 [J]. 企业技术开发, 2011(10): 11-12.

[4] 程绍明, 王俊, 王永维. 我国整秆式甘蔗联合收割机的现状和问题 [J]. 现代农业科技, 2013(20): 193-194.

[5] 解福祥, 区颖刚, 刘庆庭, 等. 侧悬挂推倒式整秆甘蔗收获机设计与试验 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(S1): 26-29.

[6] 刘庆庭, 莫建霖, 区颖刚, 等. 我国整秆与切段 2 种甘蔗收获方式发展历程与前景分析 [J]. 甘蔗糖业, 2013(6): 45-55.

[7] 肖宏儒, 王明友, 宋卫东, 等. 整秆式甘蔗联合收获机降低含杂率的技术改进与试验 [J]. 农业工程学报, 2011, 27(11): 42-45.

[8] 刘芳建, 狄明利, 米义, 等. 甘蔗逆剥剥叶方式的试验研究 [J]. 农机化研究, 2015, 37(1): 174-176.

[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.

[10] DEUGAN J. Dynamic mechanical properties of sugarcane[C]//ZHANG J, TAN H H. Proceedings of 2013 2nd International Conference on Mechanical Properties of Materials and Information Technology(ICMPMIT 2013). Hong Kong: Information Engineering Research Institute, 2013: 321-325.

[11] 牟向伟. 弹性齿对甘蔗茎秆的动态打击力与叶鞘剥离机理研究 [J]. 农业机械学报, 2015, 46(3): 103-109.

[12] 牟向伟, 黄煜, 万理, 等. 甘蔗整秆剥叶关键技术与剥叶机理研究 [J]. 农机化研究, 2013, 35(11): 13-17.

[13] YANG N J. Research on integrated design platform of sugarcane harvester[C]//IEEE. Measuring technology and mechatronics automation (ICMTMA 2010). Beijin: IEEE, 2010: 252.

[14] 李昊, 林茂, 王伟, 等. 甘蔗剥叶机含杂率试验研究 [J]. 机械设计与制造, 2017(4): 144-147.

[15] 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.

[16] 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.

[17] 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.

[18] LAI X, LIANG S, LIU D M, et al. Virtual simulation analysis and experiment study on a new peel scratch relieving design of sugarcane leaf cleaning device [C]//IEEE. Measuring Technology and Mechatronics Automation. Beijin: IEEE, 2009: 499-500.

[19] 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.

[20] 黎毓鹏, 郑广平, 宋咏春, 等. 小型甘蔗剥叶机的试验与研究 [J]. 装备制造技术, 2010(2): 14-15.

[21] 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.

[22] 孔林, 周德俭, 谌炎辉. 新型小型甘蔗剥叶机剥叶机构设计与优化 [J]. 中国农机化学报, 2015, 36(2): 124-127.

[23] 黄深闯, 杨望, 杨坚, 等. 甘蔗茎秆-蔗叶系统有限元建模方法研究 [J]. 农机化研究, 2018, 40(6): 19-23.

[24] 王华准, 方卫山, 牛宪伟, 等. 轮式拖拉机驱动型甘蔗剥叶机研究开发 [J]. 现代农业装备, 2017(2): 31-35.

[25] 刘志华, 林茂. 甘蔗收割机剥叶元件的优化研究 [J]. 机械设计与制造, 2015(2): 253-256.

[26] 王伟, 林茂. 甘蔗剥叶元件的运动参数试验分析 [J]. 机械设计与制造, 2016(4): 203-206.

【责任编辑 周志红】