

甘蔗收获机组合式扶起装置设计与试验*

解福祥 区颖刚 刘庆庭

(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】 设计了一种由锥形螺旋滚筒和拨指链组成的组合式扶起装置,并在土槽中进行了试验研究。以扶起合格率为试验指标,对甘蔗倒伏状态、螺旋滚筒转速、甘蔗与滚筒中心距离和前进速度为因素进行正交试验。在得出优化组合后,再分别进行滚筒轴线与地面夹角、滚筒叶片螺距和滚筒转速等因素的单因素试验,以及滚筒转速和前进速度的双因素试验。通过高速摄影分析了扶起过程。试验结果表明,在最优参数组合下,组合式扶起装置对严重倒伏甘蔗的扶起合格率达到90%。

关键词: 甘蔗收获机 组合式扶起装置 扶起合格率 试验

中图分类号: S225.3*3 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)02-0094-05

Experiment of Combined-lifter Device for Sugarcane Harvester

Xie Fuxiang Ou Yinggang Liu Qingting

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

Abstract

In order to lift severely lodging sugarcane in harvesting, the combined-lifter composed of spiral roller and chain-lifter was designed, which was experimented on the vehicle of soil. The orthogonal experiments were conducted to study the following factors: the state, rotational speed of spiral roller, distance between sugarcane and spiral roller center and advancing velocity. According to the best combination of orthogonal test, the single experiments were conducted to study the following factors: the angle between the cylinder axis and ground, the blade pitch of helical spiral roller and rotational speed of spiral roller. The double experiments were conducted with the rotational speed and advancing velocity. High-speed photography experiments were conducted to analyze the process of lifting. In the optimal parameters, the results showed that eligible rate of lifting was up to 90% by the combined-lifter.

Key words Sugarcane harvester, Combined-lifter device, Eligible rate of lifting, Experiment

引言

甘蔗收获机扶起装置主要有螺旋式和拨指链式^[1~3]。螺旋式扶起装置对于倒伏姿态角小于30°的甘蔗适应性较差^[4~6]。拨指链式扶蔗装置对于倒伏姿态角小于15°、侧偏角小于30°的甘蔗扶起效果不理想^[7~9]。

受台风影响,我国雷州半岛地区的甘蔗严重倒伏时,其倒伏姿态角甚至在0°~15°。为了收获这

些严重倒伏的甘蔗,本文设计一种由圆锥螺旋滚筒和拨指链组成的组合式扶起装置。在前期运动学分析^[10]的基础上,以扶起合格率为试验指标对倒伏姿态角为0°~15°的甘蔗进行扶起试验研究。

1 组合式扶起装置的工作原理

组合式扶起装置主要由圆锥形螺旋滚筒扶起机构和拨指链式扶起机构两部分组成,如图1所示。

圆锥形螺旋滚筒扶起机构主要由圆锥滚筒、螺

收稿日期: 2010-05-18 修回日期: 2010-06-07

* 国家自然科学基金资助项目(50875091)、广东省科技计划资助项目(2010B020314004)和国家甘蔗产业技术体系资助项目

作者简介: 解福祥,博士生,主要从事农业机械设计研究,E-mail: xfx608@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设计研究,E-mail: ouying@scau.edu.cn

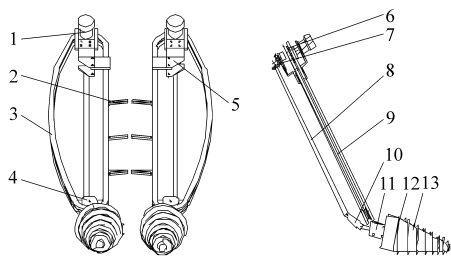


图 1 组合式扶起装置结构原理图

Fig.1 Structure of combined lifter device

1. 液压马达 2. 拨指 3. 环形轨道 4. 从动轮 5. 拨指链机构
6. 主动轮 7. 锥齿轮 8. 传动机构 9. 链条 10. 万向节
11. 轴承座 12. 螺旋叶片 13. 圆锥螺旋滚筒

旋叶片和轴承座等组成。圆锥形螺旋滚筒中心水平面与拨指链导轨平面的夹角为 120° 。锥形滚筒的锥角为 30° 。螺旋滚筒母线紧贴地面,工作时伸入倒伏甘蔗根下方,将倒伏姿态角 $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 的甘蔗通过螺旋叶片的提升作用扶起一定的高度,然后被拨指继续向上扶起。

拨指链式扶起机构主要由拨指、链条、环形导轨、主动轮、从动轮和传动机构等组成。其作用是将圆锥形螺旋滚筒扶起机构扶起的甘蔗扶起到夹持输送装置喂入口。

组合式扶起装置动力由拨指链马达传给锥齿轮,然后通过传动轴和万向节传给圆锥螺旋滚筒。

2 试验

2.1 试验设备、材料与方法

2.1.1 试验设备

主要由液压台车、组合式扶起装置试验台架和土槽组成,如图 2 所示。液压台车由三相电动机驱动,在土槽导轨上运行,并通过变频器改变供电频率,控制电动机的转向和转速。组合式扶起装置悬挂在液压台车上,液压台车上液压站为试验装置提供动力。

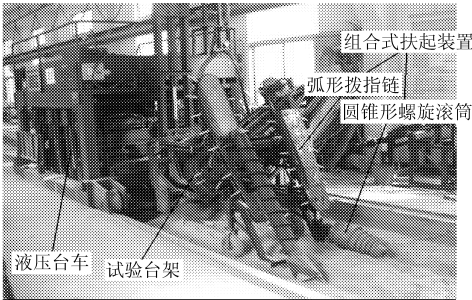


图 2 液压台车及试验台实物图

Fig.2 Hydraulic platform vehicle and test bed

2.1.2 试验材料

从华南农业大学宁西实验基地采集成熟的甘蔗,通直、无病虫害。品种为 YT(粤糖)79-177,两

年生宿根蔗。

2.1.3 试验方法

(1)正交试验:参考文献[6~8]的试验结果,初步确立影响扶起效果的试验因素及水平。

(2)在正交试验得出的最优参数组合下,分别进行单因素试验和双因素试验,得出各因素对扶起合格率的影响规律和最优速比。在双因素得出的最优速比下进行高速摄影,分析扶蔗过程。

(3)试验指标:甘蔗被扶起到夹持输送口,并被夹持输送装置输送定为扶起合格。扶起合格率为扶起合格次数与扶起试验次数之比。以扶起合格率为试验指标。

(4)在土槽中模拟甘蔗的种植情况,试验时将甘蔗埋在土槽内,埋入深度 $10 \sim 15\text{ cm}$ 并压实土壤,以防扶起时甘蔗从土中被拔出。每次试验将 1 根甘蔗按照 $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 的倒伏姿态角埋入甘蔗垄。土壤条件为:容积密度 1.22 g/cm^3 ,湿基含水率 28.66% 。

2.1.4 试验设计

(1)正交试验设计

试验时螺旋滚筒中心线与地面夹角为 15° 。选取甘蔗倒伏状态 A、甘蔗与螺旋滚筒中心距离 B、螺旋滚筒转速 C、台车前进速度 D 作为试验因素,各因素与水平设计如表 1 所示。每组试验重复 10 次。

表 1 正交试验因素与水平

Tab.1 Orthogonal experiment factors and levels

水平	因素			
	甘蔗倒伏状态 A	甘蔗与滚筒中心距离 B/mm	螺旋滚筒转速 C/ $r \cdot \text{min}^{-1}$	台车前进速度 D/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
1	侧倒伏	200	60	0.10
2	顺倒伏	300	100	0.15
3	逆倒伏	400	150	0.20

(2)单因素试验设计

根据正交试验得出的最优参数组合,分别对螺旋滚筒轴线与地面夹角、滚筒叶片螺距、螺旋滚筒的转速进行单因素试验,研究各因素对扶起合格率的影响规律。

由于设计时锥形滚筒的锥角为 30° ,锥筒母线紧贴地面,此时螺旋滚筒轴线与地面夹角为 15° ,如果增大夹角,滚筒就会陷入地面产生阻力,因此螺旋滚筒轴线与地面夹角取 0° 、 5° 和 15° 3 个水平进行试验。

单因素试验时各因素与水平如表 2 所示。每次单因素试验时其他参数取值按照正交试验得出的最优参数进行设置,每个水平试验重复 10 次。

表 2 单因素试验各因素水平

Tab.2 Levels of different factors in single factor experiment				
因素	水平			
	1	2	3	4
螺旋滚筒轴线与地面夹角/(°)	0	5	15	
滚筒叶片螺距/mm	30 ~ 100	70 ~ 200		
螺旋滚筒转速/r·min ⁻¹	60	100	150	200

(3) 双因素试验设计

为了确定台车前进速度与滚筒转速的最优速比,为高速摄影提供依据,进行双因素试验。双因素试验各因素与水平如表 3 所示。其他参数设置同上。每组试验重复 10 次。

表 3 双因素试验各因素水平

Tab.3 Level in two-factors experiment					
因素	水平				
	1	2	3	4	5
螺旋滚筒转速/r·min ⁻¹	60	100	150		
台车前进速度/m·s ⁻¹	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30

(4) 高速摄影设计

选取双因素试验得出的最优速比和正交试验得出的最优参数组合为试验因素,进行高速摄影。观察甘蔗被扶起过程中的运动情况,并进行分析。

高速摄影设备采用日本 PHOTRON 公司生产的 FAS-TCAM-Super 10KC 型高速摄影仪,记录速度最高为 3 000 帧/s,记录容量为 128 MB。因扶蔗运动过程速比较低,确定本试验记录速度为 125 帧/s,采用碘钨灯照明。

2.2 试验结果与分析

2.2.1 正交试验

正交试验方案及试验结果如表 4、图 3 所示。

从图 3 中分析得出最佳组合为 A₂B₁C₃D₂,由于此组合并未出现在正交列表中,因此需要对正交试验结果进行验证。并与试验指标较好的 4 个组合一起,在同一试验条件下进行试验对比。

选取正交试验中较好的 A₂B₁C₂D₃、A₂B₂C₃D₁、A₂B₃C₁D₂、A₃B₁C₃D₂ 与 A₂B₁C₃D₂ 5 个组合进行验证试验。试验方法与正交试验相同,试验结果如表 5 所示。结果表明,影响扶起后合格率的最优组合为 A₂B₁C₃D₂,即甘蔗倒伏状态为顺倒伏、甘蔗与滚筒中心距离为 200 mm、螺旋滚筒转速为 60 r/min 和台车前进速度为 0.15 m/s。

2.2.2 单因素试验

(1) 螺旋滚筒轴线与地面夹角

螺旋滚筒轴线与地面夹角单因素试验结果为:

表 4 正交试验方案及结果

Tab.4 Results of orthogonal experiment					
试验号	A	B	C	D	扶起合格率/%
1	1	1	1	1	60
2	1	2	2	2	40
3	1	3	3	3	20
4	2	1	2	3	80
5	2	2	3	1	90
6	2	3	1	2	80
7	3	1	3	2	90
8	3	2	1	3	10
9	3	3	2	1	0
T ₁	1.2	2.3	1.5	1.5	
T ₂	2.5	1.4	1.2	2.1	
T ₃	1.0	1.0	2.0	1.1	
X ₁	0.4	0.8	0.5	0.5	
X ₂	0.8	0.5	0.4	0.7	
X ₃	0.3	0.3	0.7	0.4	
R	1.5	1.3	0.8	1.0	

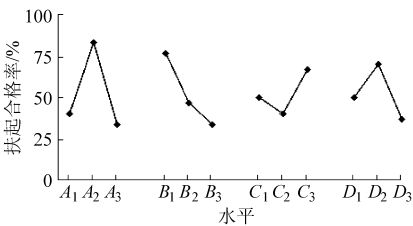


图 3 各因素影响趋势图

Fig.3 Impacting of different factors

表 5 验证试验结果

Tab.5 Results of validation					
组合	A ₂ B ₁ C ₂ D ₃	A ₂ B ₂ C ₃ D ₁	A ₂ B ₃ C ₁ D ₂	A ₃ B ₁ C ₃ D ₂	A ₂ B ₁ C ₃ D ₂
扶起合格率/%	80	90	80	90	100

夹角为 15°时扶起合格率为 100%,扶起效果最佳。夹角为 0°和 5°时扶起合格率分别为 0 和 30%。主要原因是 0°和 5°夹角的锥形滚筒小头端比 15°夹角的滚筒小头端水平位置相对要高,倒伏姿态角 0°~15°甘蔗多数被滚筒推倒。

试验表明:螺旋滚筒轴线与地面之间夹角在 0°和 5°时,甘蔗容易被滚筒推倒。角度越小、圆锥螺旋滚筒小头端翘起越高,易将甘蔗推倒。角度越大、小头端越低、导致台车在前进过程中滚筒陷入地面而产生较大阻力。

(2) 螺旋滚筒叶片螺距

螺旋滚筒叶片螺距单因素试验结果为:螺距 30 ~ 100 mm 的滚筒扶蔗合格率 100%,螺距 70 ~

200 mm 的滚筒扶蔗合格率 90%。通过单因素方差分析:显著值为 $0.331 > 0.05$, 两个水平的扶蔗合格率差异不显著。螺旋滚筒叶片螺距对扶蔗合格率影响不大。

(3)螺旋滚筒转速

螺旋滚筒转速单因素试验结果如图 4 所示。图中表明:滚筒转速为 60 r/min 时,扶起合格率最高为 100%;滚筒转速 200 r/min 时,扶起合格率最低为 40%。扶起合格率随滚筒转速的增加而减小,下降趋势较明显。

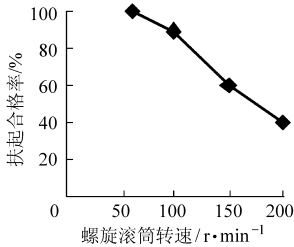


图 4 螺旋滚筒转速对扶起合格率的影响

Fig. 4 Impacting on rotate speed

在试验过程中,当滚筒转速在 60 ~ 100 r/min 时,扶起过程较为平稳,扶起合格率在 90% 以上;当滚筒转速在 150 ~ 200 r/min 时,虽然能够完成扶起,但是扶起过程很不稳定,对甘蔗根部土壤破坏严重,有甘蔗折断情况发生,而且转速过大引起整个机器振动加剧、动力消耗增加。

2.2.3 双因素试验

双因素试验结果如图 5 所示。图中表明,当滚筒转速 60 r/min 与台车前进速度 0.15 m/s;滚筒转速 100 r/min 与台车前进速度 0.2 m/s;滚筒转速 150 r/min 与台车前进速度 0.25 m/s,这 3 组速度配合时,扶蔗效果均达到各自试验的最佳效果,扶起后合格率依次为 100%、100%、90%。

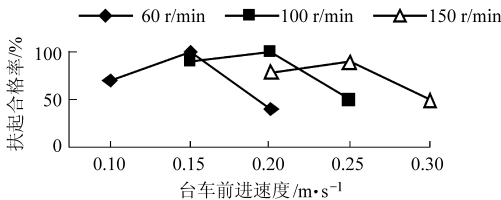


图 5 不同螺旋滚筒转速时前进速度对扶起合格率的影响

Fig. 5 Impacting on success rate of lifting

在每个螺旋滚筒转速下,扶起合格率均在台车前进速度 3 个水平内先上升,到达最大值,再呈下降趋势。因此,最优速比为螺旋滚筒转速 100 r/min,台车前进速度 0.2 m/s。

在最优速比下,滚筒与拨指衔接过程所需的时间变短。主要由于此时螺旋滚筒转速升高,拨指链的转速也相应增大,拨指与甘蔗接触频率加快,锥形

滚筒大端对甘蔗的弹跳范围增大,能够及时与拨指接触并被其扶起,停滞时间较短。

2.2.4 高速摄影

当滚筒转速 100 r/min、台车前进速度 0.2 m/s 时,滚筒与拨指之间衔接高速摄影图像如图 6 所示(以螺旋滚筒将甘蔗扶起到大端开始记为 $t = 0.100$ s)。

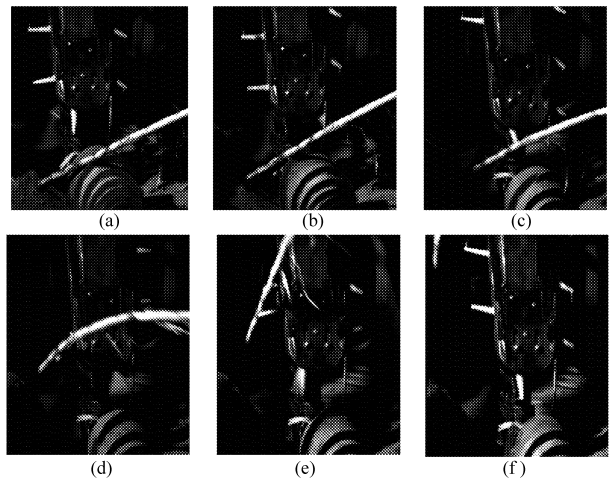


图 6 滚筒与拨指之间衔接高速摄影图像

Fig. 6 Impacting on high-speed photographic between roller and finger

(a) $t = 0.100$ s (b) $t = 0.157$ s (c) $t = 0.285$ s
(d) $t = 0.295$ s (e) $t = 0.308$ s (f) $t = 0.327$ s

在图 6 中,当锥形螺旋滚筒将甘蔗扶起到大端时(图 6a),随着螺旋滚筒的转动甘蔗被弹起到与拨指接触的高度(图 6b),此时拨指与甘蔗的接触点距离甘蔗重心约为 700 mm,拨指与甘蔗紧密接触(图 6c),依靠拨指将甘蔗搂住并扶起,此时甘蔗发生弯曲变形(图 6d),然后将甘蔗转入直线轨道向上扶起(图 6e),最后扶起到夹持输送喂入口(图 6f)。

3 结论

(1)通过正交试验得出最优参数组合为:甘蔗倒伏状态为顺倒伏、甘蔗与滚筒中心距离 200 mm、滚筒转速 60 r/min 和台车前进速度 0.15 m/s。在此参数组合下,组合式扶起装置扶起合格率为 100%。

(2)对于倒伏姿态角 $0^\circ \sim 15^\circ$ 的甘蔗,螺旋滚筒轴线与地面之间夹角越小,扶起成功率越低。滚筒叶片螺距对扶蔗成功率影响不显著。当滚筒转速为 60 ~ 100 r/min 时,扶起合格率在 90% 以上。

(3)当滚筒转速为 100 r/min、台车前进速度为 0.2 m/s 时,扶蔗合格率为 100%。

(4)通过高速摄影表明,甘蔗首先被螺旋滚筒弹起到拨指能够接触的高度,然后通过拨指继续向上扶起到夹持输送喂入口。

参 考 文 献

1 Schembri M, Carson C A. The challenge of harvesting green cane[J]. International Cane Energy News, 1997(7):2~6.

2 Kerr B, Blyth K. They are all crazy – 100 years of mechanical cane harvesting[M]. Brisbane: Canegrowers, 1993.

3 邓劲莲,李尚平,梁式. 甘蔗收获机扶蔗机构的概念设计与创新设计[J]. 农业机械学报, 2003, 34(6):58~61.
Deng Jinlian, Li Shangping, Liang Shi. Conceptual design and innovation on holding device of sugarcane harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003,34(6):58~61. (in Chinese)

4 高建民,区颖刚. 甘蔗螺旋扶起机构的理论研究及虚拟样机仿真[J]. 农业工程学报, 2004, 20(3):1~5.
Gao Jianmin, Ou Yinggang. Theoretical study on spiral sugarcane-lifting mechanism of sugarcane harvester and virtual prototype simulation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(3): 1~5. (in Chinese)

5 高建民,区颖刚,宋春华,等. 基于物理模型的甘蔗螺旋扶起机构虚拟样机研究[J]. 农业机械学报, 2005, 36(3):57~59.
Gao Jianmin, Ou Yinggang, Song Chunhua, et al. Study on virtual prototype of spiral sugarcane-lifting organ based on physical model[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(3): 57~59. (in Chinese)

6 宋春华. 螺旋式甘蔗扶起机构的试验研究[D]. 广州:华南农业大学, 2003.
Song Chunhua. Research on spiral sugarcane-lifting organ of sugarcane harvester[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2003. (in Chinese)

7 张杨. 甘蔗收割机拨指链式扶蔗器样机研究[D]. 广州:华南农业大学, 2008.
Zhang Yang. Virtual prototype study on the rake bar chain-type sugarcane lifter[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2008. (in Chinese)

8 牟向伟. 拨指链式扶蔗装置的设计与试验[D]. 广州: 华南农业大学, 2008.
Mou Xiangwei. Design and test on the rake finger chain sugarcane-lifter [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2008. (in Chinese)

9 牟向伟,区颖刚,张杨. 拨指链式扶蔗器试验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(8):49~53.
Mou Xiangwei, Ou Yinggang, Zhang Yang. Experiment of the finger-chain type sugarcane-lifter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(8):49~53. (in Chinese)

10 解福祥,区颖刚,刘庆庭,等. 整秆甘蔗收割机组式扶起装置运动学分析[J]. 农机化研究, 2009, 31(5):27~30.
Xie Fuxiang, Ou Yinggang, Liu Qingting, et al. The whole stalk of sugarcane harvesters combined device kinematics of lifting[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(5):27~30. (in Chinese)