

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.10.009

胡萝卜缨果拉拽式分离装置设计与试验

曾功俊^{1,2} 陈建能^{1,3} 夏旭东^{1,3} 叶 军^{1,2}

(1. 浙江理工大学机械与自动控制学院, 杭州 310018; 2. 浙江工业职业技术学院, 绍兴 312000;
3. 浙江省种植装备技术重点实验室, 杭州 310018)

摘要: 为了获得胡萝卜缨果拉拽式分离装置最优设计参数,以获取最佳分离效果,建立了拉拽式缨果分离装置运动学模型,定性分析了相关参数对拉拽杆运动学特性的影响。设计了胡萝卜缨果拉拽式分离试验台并进行了缨果分离正交试验,经分析发现拉拽杆的转速对胡萝卜缨果分离效果影响最大,拉拽杆与输送带的夹角对胡萝卜缨果分离效果的影响显著;同时得到了胡萝卜缨果分离装置的最佳参数组合:拉拽杆转速为 200 r/min、输送带线速度为 1.2 m/s、拉拽杆与输送带夹角为 40°,此时缨果分离的一致性为 97%,成功率为 94%,损伤率为 7.7%。

关键词: 胡萝卜; 拉拽式; 运动学分析; 缨果分离; 试验

中图分类号: S225.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2018)10-0073-07

Design and Experiment on Pull Type of Tassel Fruit Separation for Carrot

ZENG Gongjun^{1,2} CHEN Jianneng^{1,3} XIA Xudong^{1,3} YE Jun^{1,2}

(1. Faculty of Mechanical Engineering and Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China
2. Zhejiang Industry Polytechnic College, Shaoxing 312000, China
3. Key Laboratory of Transplanting Equipment and Technology of Zhejiang Province, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Separating carrot tassel from fruit by pulling can meet the requirement of tassel fruit separation better. In order to provide design parameters for pull type carrot tassel fruit separation device, and obtain the best separation effect, the influence of related parameters on the pull rod kinematics characteristics should be analyzed qualitatively. To analyze the influence of relevant parameters on the kinematic characteristics of pull rod accurately, the kinematics model of pulling device type tassel fruit separation should be established. To verify the correctness of the previous theoretical analysis, the pull type carrot tassel fruit separation test device was designed. Then a series of orthogonal tests were carried out to explore the factors that affecting the effect of tassel fruit separation. In the orthogonal testing, the pull rod speed, belt line speed and the angle between pull rod and conveyer belt were test factors. The comparison between the results of test and theoretical analysis showed that the pull rod speed had the biggest influence on carrot tassel fruit separation effect, and angle between pull rod and conveyer belt also had significant effects on carrot tassel fruit separation effect. At the same time, the best combination of parameters in carrot tassel fruit separating device was obtained as follows: pull rod speed was 200 r/min, belt line speed was 1.2 m/s, and angle between pull rod and conveyer belt was 40°. The results showed that the concordance rate in the tassel fruit separation was 97%, the success rate was 94%, and the injury rate was 7.7%.

Key words: carrot; pulling type; kinematics analysis; tassel fruit separation; experiment

0 引言

我国胡萝卜种植面积和总产量都稳居世界前

三,但是大多地区仍然采用人工收获,人工收获劳动强度大、效率低^[1-4]。目前大量农村劳动力流向城市,雇工难、费用高,胡萝卜机械化收获势在必

收稿日期: 2018-01-06 修回日期: 2018-05-13
基金项目: 国家自然科学基金项目(51675486、51805487)和绍兴市公益性技术应用研究计划项目(2017B70076)
作者简介: 曾功俊(1989—),男,博士生,浙江工业职业技术学院助教,主要从事现代农业装备与技术研究,E-mail: 15902775059@163.com
通信作者: 陈建能(1972—),男,教授,博士生导师,主要从事现代农业装备与技术研究,E-mail: jiannengchen@zstu.edu.cn

行^[5-7]。

胡萝卜收获包括胡萝卜拔起、输送、纓果分离等过程。纓果分离过程实现了胡萝卜纓与果实的分离,是收获过程最重要的工序。胡萝卜纓果分离效果直接影响到胡萝卜收获效果、损伤率、一致性,进而影响胡萝卜货架期长短。现有纓果分离方式主要有双圆盘割刀式分离和拉拽式分离两种^[8-9]。金鑫等^[10]在统计分析主要胡萝卜品种物理特性参数的基础上,设计了一种由平板式齐平器、水平夹持输送机构、双圆盘式切秧机构和上水平夹持输送机构等组成的胡萝卜根茎分离装置,该结构复杂,安装、拆卸较困难。丹麦 ASA-LIFT 公司研制出一种结构简单、可靠性高的拉拽式胡萝卜收获机,但因技术不成熟,损伤胡萝卜和纓果分离不彻底时有发生,分离效果和工作性能还有很大的提升空间,不能直接引进推广。

为了优化胡萝卜纓果拉拽式分离装置的设计参数以提高胡萝卜纓果分离效果,本文建立胡萝卜纓果拉拽式分离装置的数学模型,分析胡萝卜纓果拉拽式分离装置的参数对纓果分离性能的影响;设计拉拽式胡萝卜纓果分离试验台并进行正交试验,获得一组最佳参数。

1 胡萝卜纓果拉拽式分离装置工作原理与结构

1.1 工作原理

胡萝卜收获机收获过程主要包括胡萝卜拔取、输送和纓果分离^[11-14]。胡萝卜纓果拉拽式分离装置主要由输送装置和拉拽装置组成,如图 1 所示。拉拽式胡萝卜收获机作业时,首先将胡萝卜从泥土中拔取出来,再通过输送带将胡萝卜纓夹持并沿着输送带方向往上输送,两组拉拽杆在液压马达带动下拉拽胡萝卜,在拉拽杆和输送带的共同作用下实现胡萝卜纓果分离。

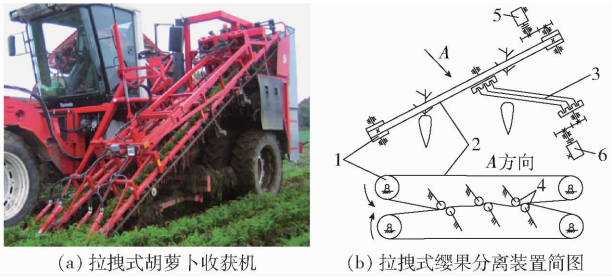


图 1 胡萝卜收获机及拉拽式纓果分离装置简图

Fig. 1 Diagrams of carrots harvester and pull type tassel fruit separating device

1. 从动带轮 2. 输送带 3. 拉拽装置 4. 张紧轮 5. 输送带液压马达 6. 拉拽杆液压马达

1.2 结构特点

拉拽装置是拉拽式胡萝卜收获机的关键部件,如图 2 所示,主要由拉拽杆和圆盘组成。拉拽装置工作时,动力装置带动主动圆盘转动,然后主动圆盘带动拉拽杆的一端在圆盘平面做圆周平动,拉拽杆另一端推动从动圆盘转动。拉拽装置具有结构简单、可靠性高和适应性好等特点;相对于纓果切割式分离方式,拉拽式的分离效果好并且胡萝卜没有切伤现象。

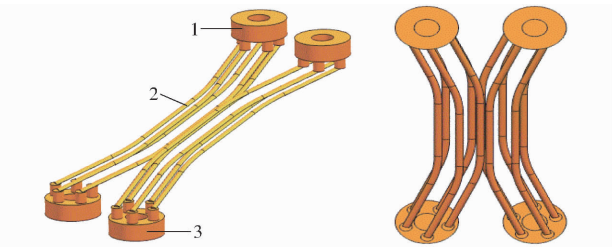


图 2 拉拽装置结构图

Fig. 2 Structure diagram of pulling device

1. 主动圆盘 2. 拉拽杆 3. 从动圆盘

2 胡萝卜纓果拉拽式分离装置运动学分析

2.1 运动学模型的建立

2.1.1 胡萝卜被拉拽的速度计算模型

工作时,拉拽杆与胡萝卜作用的速度分析如图 3

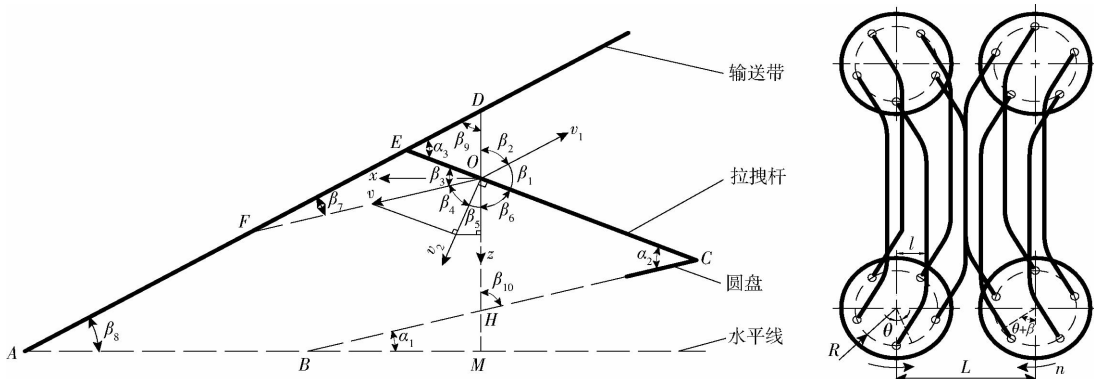


图 3 拉拽杆与胡萝卜作用速度分析

Fig. 3 Analysis of pull rod and carrot velocity

所示。图中, θ 为圆盘的转角, 输送带线速度 v_1 的方向与 AD 平行, $HC \parallel OF$ 。拉拽杆与胡萝卜相互作用时的作用力远大于胡萝卜自身的重力, 在对胡萝卜进行运动分析的过程中忽略胡萝卜自身的质量。

根据图 3 中的几何关系, 由 v_1 的方向与 AD 平行得: $\beta_1 = \alpha_3, \beta_2 = \beta_9$; 由 $HC \parallel OF$ 得: $\beta_3 = \alpha_2$; 又由 $\triangle EFO$ 得: $\alpha_3 = \beta_3 + \beta_7$, 故 $\beta_7 = \alpha_3 - \alpha_2$; 由 v_2 的方向与 EC 垂直得: $\beta_3 + \beta_4 = 0.5\pi$, 得 $\beta_4 = 0.5\pi - \beta_3 = 0.5\pi - \alpha_2$; 由四边形 $ABCE$ 得: $\alpha_3 + \alpha_1 = \beta_8 + \alpha_2$, 故 $\beta_8 = \alpha_3 + \alpha_1 - \alpha_2$; 由 $OM \perp AM$, 则在 $\triangle BMH$ 中有 $\beta_{11} = 0.5\pi - \alpha_1$ (β_{11} 为 $\angle BHM$), $\beta_{10} = 0.5\pi - \alpha_1$; 又在 $\triangle OHC$ 中, $\beta_6 + \beta_{10} + \alpha_2 = \pi$, 得 $\beta_6 = 0.5\pi + \alpha_1 - \alpha_2$; 由 $\beta_6 + \beta_5 = 0.5\pi$ 得 $\beta_5 = \alpha_2 - \alpha_1$; 由 $\beta_6 + \beta_1 + \beta_2 = \pi$ 得 $\beta_2 = 0.5\pi + \alpha_2 - \alpha_1 - \alpha_3$ 。

根据前面的分析可得, 输送带沿竖直方向的速度分量 v_{z1} 、拉拽杆作用在胡萝卜上的速度沿竖直方向的分量 v_{z2} 、胡萝卜在拉拽杆作用下相对于输送带沿竖直方向的速度 v_z 分别为

$$v_{z1} = v_1 \cos \beta_2 = v_1 \cos (0.5\pi + \alpha_2 - \alpha_1 - \alpha_3) \quad (1)$$

$$v_{z2} = v_2 \cos \beta_5 = v_2 \cos (\alpha_2 - \alpha_1) \quad (2)$$

$$v_z = v_{z1} + v_{z2} = v_2 \cos (\alpha_2 - \alpha_1) + v_1 \cos (0.5\pi + \alpha_2 - \alpha_1 - \alpha_3) \quad (3)$$

- 式中 v_1 ——输送带的实际线速度
 v_2 ——胡萝卜在杆作用下的实际速度
 α_1 ——圆盘和水平面的夹角
 α_2 ——圆盘和拉拽杆的夹角
 α_3 ——输送带和拉拽杆的夹角

当拉拽杆所在圆盘以转速 n 转动时, 拉拽杆在圆盘平面上纵向的平移速度为

$$v = 2\pi n R \sin (2\pi nt) \quad (4)$$

- 式中 R ——拉拽杆的圆周运动半径
 t ——圆盘转动时间

在拉拽杆的作用下可得胡萝卜的实际运动速度为

$$v_2 = v \cos \beta_4 = v \cos (0.5\pi - \alpha_2) \quad (5)$$

综合得出, 胡萝卜在拉拽杆作用下相对于输送

带沿竖直方向的速度为

$$v_z = 2\pi n R \sin \alpha_2 \cos (\alpha_2 - \alpha_1) \sin (2\pi nt) + v_1 \sin (\alpha_3 - \alpha_2 + \alpha_1) \quad (6)$$

2.1.2 拉拽杆位移分析

由图 3 中圆盘的结构简图可得, 两相对拉拽杆的水平距离为

$$X = L + R \cos (1.5\pi - \beta - 2\pi nt) - R \cos (1.5\pi + 2\pi nt) - 2l \quad (7)$$

- 式中 L ——两组拉拽杆所在圆盘的中心距
 β ——两组拉拽杆的相对安装相位角
 l ——拉拽杆的偏移距离

当拉拽杆所在圆盘以转速 n 转动时, 拉拽杆在圆盘的作用下在圆盘平面内随圆盘转动, 以 R 为半径做圆周平动。如图 4 所示, S 为拉拽杆沿 OF 方向的位移, Y_1 为拉拽杆沿垂直于拉拽杆方向的位移, 则

$$S = R \sin (2\pi nt) \quad (8)$$

$$Y_1 = R \sin (2\pi nt) \sin \alpha_2 \quad (9)$$

由于两相对的拉拽杆安装在两个转向相反的圆盘上, 并且相差角度为 β 的相位角, 则可以得到两相对拉拽杆的垂直间距

$$Y = R \sin (1.5\pi - \beta - 2\pi nt) \sin \alpha_2 - R \sin (1.5\pi + 2\pi nt) \sin \alpha_2 \quad (10)$$

2.2 运动学参数分析

2.2.1 主要参数对拉拽杆速度的影响

分析式(6)可知, 拉拽杆速度曲线整体呈正弦曲线变化。圆盘和拉拽杆的夹角 α_2 的变化使拉拽杆速度曲线整体上下平移, 同时也会改变速度曲线波峰的陡峭程度; 输送带和拉拽杆的夹角 α_3 的变化使拉拽杆速度曲线整体上下平移; 拉拽杆的圆周运动半径 R 的变化会改变拉拽杆速度曲线波峰的陡峭程度; 输送带速度 v_1 的变化使拉拽杆速度曲线整体上下平移。

2.2.2 主要参数对两组拉拽杆相对水平间距的影响

分析式(7)可知, 两组拉拽杆相对水平间距曲线呈余弦曲线变化。两组拉拽杆的相对安装相位角

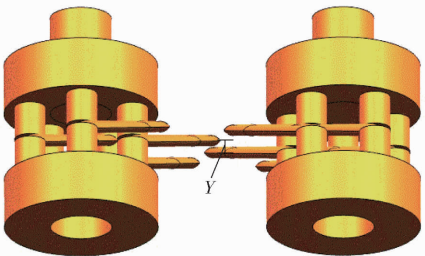
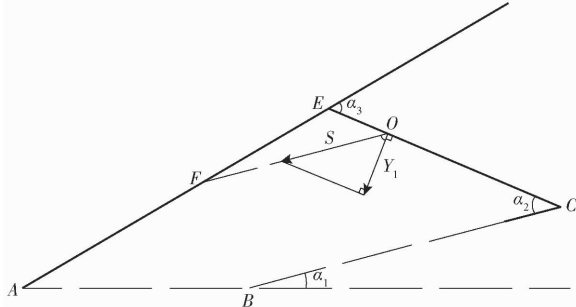


图 4 两相对拉拽杆的垂直间距分析

Fig. 4 Analysis of vertical interval between two relatively pull rods

β 的变化使两相对拉拽杆水平间距曲线整体左右平移,同时波峰的大小也有变化;两组拉拽杆所在圆盘的中心距 L 的变化只会使两相对拉拽杆水平间距曲线整体上下平移;拉拽杆的圆周运动半径 R 的变化只会改变两相对拉拽杆水平间距曲线波峰的陡峭程度;输送带的速度 v_1 的变化只会使两相对拉拽杆水平间距曲线整体上下平移。

2.2.3 主要参数对两组拉拽杆相对垂直间距的影响

分析式(10)可知,两组拉拽杆相对垂直间距曲线整体呈正弦曲线变化。两组拉拽杆的相对安装相位角 β 的变化使拉拽杆垂直间距曲线整体左右平移,同时波峰的大小也有变化;圆盘和拉拽杆的夹角 α_2 的变化只会改变拉拽杆垂直间距曲线波峰的陡峭程度;拉拽杆的圆周运动半径 R 的变化只会改变拉拽杆垂直间距曲线波峰的陡峭程度。

可见,拉拽杆所在圆盘的转速 n 、拉拽杆与输送带夹角 α_3 及输送带的速度 v_1 会影响拉拽杆与胡萝卜相互作用时的速度,对胡萝卜缨果分离的效果有影响,故 n 、 α_3 和 v_1 是设计拉拽式胡萝卜收获机的关键参数。 L 、 R 和 β 等参数主要是影响拉拽杆的水平间距和垂直间距,对胡萝卜缨果分离效果的影响甚小,故本文重点研究参数 n 、 α_3 和 v_1 对胡萝卜缨果分离效果的影响。

3 胡萝卜缨果拉拽式分离试验

3.1 试验台

3.1.1 试验台总体设计

胡萝卜缨果拉拽式分离试验台主要由机架、输送装置和拉拽装置 3 部分组成,输送带和拉拽杆的动力由不同的电动机提供。两圆盘的中心距 L 为 200 mm,两组拉拽杆的相对安装相位角 β 为 36° ,拉拽杆的偏移距离 l 为 55 mm,圆盘和拉拽杆的夹角 α_2 为 30° ,由式(7)和式(10)计算得两组拉拽杆最小水平间距为 15.3 mm,最小垂直间距为 17.6 mm。图 5 为试验台简图,图 6 为试验台实物。



(a) 调速电动机及减速装置



(b) 拉拽杆



(c) 从动圆盘托盘

图 7 拉拽装置主要部件

Fig. 7 Main components of pulling device

1. 齿轮箱 2. 支架 3. 弧形槽孔 4. 托盘 5. 圆盘

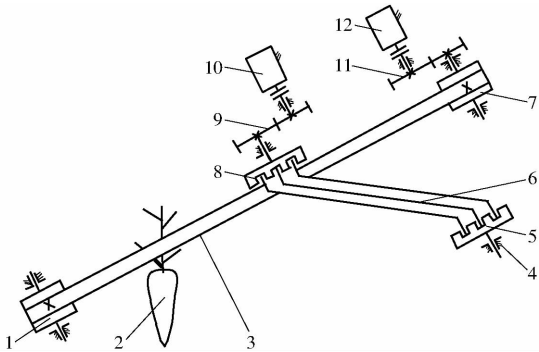


图 5 胡萝卜缨果拉拽式分离试验台简图

Fig. 5 Diagram of pull type carrots with fruit separation test bench

1. 从动带轮 2. 胡萝卜 3. 输送带 4. 机架 5. 从动圆盘 6. 拉拽杆 7. 主动带轮 8. 主动圆盘 9. 拉拽减速装置 10. 拉拽杆调速电动机 11. 输送减速装置 12. 输送带调速电动机



图 6 胡萝卜缨果拉拽式分离试验台

Fig. 6 Test bench of pull type carrots with fruit separation

1. 角钢 2. 输送装置 3. 拉拽装置 4. 方钢 5. 机架

3.1.2 试验台拉拽装置

拉拽装置主要由调速电动机及减速装置部件(图 7a)、拉拽杆(图 7b)和托盘(图 7c)等部分组成。调速电动机提供动力经减速装置传递到主动圆盘,主动圆盘驱动拉拽杆转动,从而带动从动圆盘转动。从动圆盘托盘通过螺栓与机架竖直边上的角钢相连,托盘上有圆弧形槽孔便于托盘调节角度,角钢上有腰型孔方便调整托盘在机架上的安装位置。齿轮箱通过螺栓与机架斜边上的方钢相连,齿轮箱支架上有圆形槽孔便于齿轮箱调节安装角度,方钢上有腰型孔,方便调整齿轮箱在机架斜边上的安装位置^[15-16]。通过改变拉拽装置的托盘和齿轮箱与机

架的位置关系来调节拉拽杆与输送带的夹角。在安装拉拽杆时,借助倾角传感器保证拉拽杆主动圆盘和从动圆盘的端面平行,误差不超过 0.5°。

3.1.3 试验台输送装置

如图 8 所示,输送装置主要由调速电动机、减速装置、输送带和张紧轮等部分组成。输送装置由调速电动机驱动减速装置,从而驱动输送带转动,两条输送带相互作用带动夹持在输送带中间的胡萝卜缨沿输送带向上运动。为了保证输送带夹持胡萝卜缨的过程中胡萝卜缨既不会滑落也不会被输送带夹断,本试验台的输送带为表层涂有金刚砂的多层复合型 EVA 输送带。由于本试验要测试多组不同的参数,为了保证输送带的夹持效果,张紧轮的位置可调,通过安装在机架上的张紧轮支撑架并由螺母紧固的方式调整并紧固张紧轮的位置。

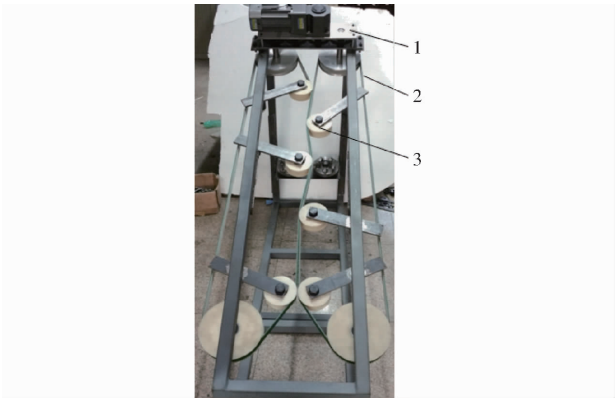


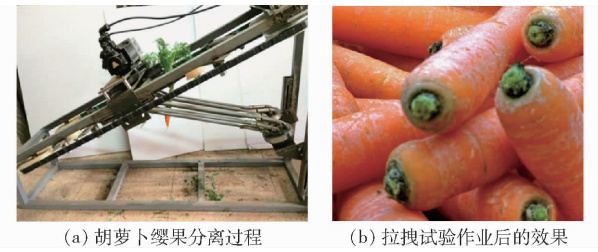
图 8 输送装置
Fig. 8 Conveying equipment
1. 减速装置 2. 输送带 3. 张紧轮

3.2 正交试验

胡萝卜缨果分离效果的评定指标主要有成功率、一致性和损伤率。成功率是指试验过程中胡萝卜缨果分离成功的概率;一致性是指胡萝卜缨果分离之后顶部均不留缨的胡萝卜(图 9b)占试验样本的比例;损伤率是指胡萝卜在缨果分离过程中由于拉拽杆敲击、摩擦胡萝卜顶部造成胡萝卜损伤的概率。从前面的理论分析可知, n 、 α_3 和 v_1 是设计胡萝卜缨果拉拽式分离装置的关键参数,因此以 n 、 v_1 和 α_3 为试验因素进行正交试验。

3.2.1 试验方案设计

每个试验因素设计水平如表 1 所示。参考拉拽式胡萝卜收获实际工作情况可知,拉拽杆转速为 120 ~ 200 r/min 时,拉拽杆的转速对胡萝卜缨果分离成功率的影响显著,故拉拽杆转速取为 120 ~ 200 r/min;胡萝卜收获机正常工作时输送带的线速度约 1 m/s,故输送带线速度取 0.8 ~ 1.2 m/s;收获机工作时拉拽杆与输送带的夹角为 35° ~ 50°,故拉



(a) 胡萝卜缨果分离过程 (b) 拉拽试验作业后的效果
图 9 胡萝卜缨果分离正交试验
Fig. 9 Orthogonal test of carrots with separation

拽杆与输送带夹角取 30° ~ 50°。试验过程中,每组试验选取 50 个处于收获期的胡萝卜样品进行试验,观察胡萝卜缨果分离效果,记录试验数据^[17-19]。

表 1 正交试验因素水平 Tab.1 Factors of orthogonal test			
水平	因素		
	拉拽杆转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	输送带线速度/ ($m \cdot s^{-1}$)	拉拽杆与输送 带夹角/(°)
1	120	0.8	30
2	160	1.0	40
3	200	1.2	50

3.2.2 试验材料与过程

在浙江杭州下沙地区农田试验地里培育浙江地区普遍种植的“新红胡萝卜”品种,选取成熟期的胡萝卜作为试验样品,将若干已经制备好的试验样品分成 9 个组,每组 50 棵^[20-21]。调整试验台的参数按照正交试验流程分组进行试验,试验过程如图 9 所示。

3.3 试验结果及分析

试验设计与结果如表 2 所示, A 、 B 、 C 分别为拉拽杆转速、输送带线速度、拉拽杆与输送带夹角水平值。

表 2 胡萝卜缨果拉拽式分离正交试验设计与结果 Tab.2 Design and results of pull type carrots with separation of orthogonal test						
试验号	试验因素			试验结果		
	A	B	C	一致性/%	成功率/%	损伤率/%
1	1	1	1	85	85	5.9
2	1	2	2	91	88	5.5
3	1	3	3	86	78	6.8
4	2	1	2	95	93	6.4
5	2	2	3	89	88	8.6
6	2	3	1	90	91	7.8
7	3	1	3	95	93	10.9
8	3	2	1	93	95	9.6
9	3	3	2	97	94	7.7

3.3.1 试验因素主次顺序分析

为了评价各因素对胡萝卜缨果分离效果的影响程度,本试验采用极差 R 作为评价指标分别评价各

因素对胡萝卜缨果分离结果的一致性、成功率和损伤率影响。采用各因素对应水平试验指标的平均值 K_i 来评价每个因素各水平对指标的影响。各因素的极差 R 和指标平均值 K_i 如表3所示。

表 3 各因素的极差
Tab.3 Range of factors

性能指标		因素		
		A	B	C
一致性	K_1	87.33	91.70	89.33
	K_2	91.00	91.00	92.00
	K_3	95.00	91.00	91.33
	R	7.67	0.67	5.00
成功率	K_1	83.67	90.33	90.33
	K_2	90.67	90.33	91.67
	K_3	94.00	87.67	86.33
	R	10.33	2.66	5.33
损伤率	K_1	6.07	7.73	7.77
	K_2	7.60	7.90	6.53
	K_3	9.40	7.43	8.77
	R	3.33	0.47	2.24

3.3.2 试验因素显著性分析

将各因素对胡萝卜缨果分离效果的影响值进行方差分析,通过计算结果判断各因素对胡萝卜缨果分离效果影响的显著性。方差分析结果如表4所示, $\alpha=0.05$ 。从表4可以看出,拉拽杆的转速和拉拽杆与输送带夹角对拉拽式胡萝卜收获装置缨果分离效果的影响显著,输送带的线速度对胡萝卜缨果分离的效果影响不显著。

表 4 各因素对胡萝卜缨果分离效果的方差分析
Tab.4 Variance analysis of carrots with fruit separation efficiency

因素	自由度	F	显著性
A	2	2.69	显著
B	2	0.11	不显著
C	2	1.10	显著

3.3.3 试验最优参数组合

通过矩阵分析法计算出影响试验结果的各因素各水平的权重^[22]。根据试验对各指标的要求,在求出的权矩阵内找出每个因素中最大值或最小值所对应的水平数,将其作为对应因素的最佳水平,进而找出所有因素的最佳水平搭配组合。

在多因素多水平试验中,因素 i 的第 j 个水平上的指标平均值为 K_{ij} ,极差为 R_i 。定义指标层的矩阵分别为 M 、 T 、 S ,权矩阵为

$$K=MTS$$

其中

$$M=\begin{bmatrix} K_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ K_{12} & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & K_{mn} \end{bmatrix}$$

$$T=\begin{bmatrix} T_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & T_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & T_m \end{bmatrix} \quad T_i=\frac{1}{\sum_{j=1}^n K_{ij}}$$
$$S=[S_1 \quad S_2 \quad \cdots \quad S_m]^T \quad S_i=\frac{R_i}{\sum_{i=1}^m R_i}$$

影响胡萝卜缨果分离效果的权矩阵计算结果为

$$K=\begin{bmatrix} 0.180\ 77 \\ 0.187\ 50 \\ 0.195\ 07 \\ 0.030\ 33 \\ 0.030\ 30 \\ 0.030\ 47 \\ 0.113\ 83 \\ 0.123\ 07 \\ 0.108\ 63 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix}$$

由前面的计算可以看出:因素 A 的3个水平中, A_3 所占的权重最大;因素 B 的3个水平中, B_3 所占权重最大;因素 C 的3个水平中, C_2 所占权重最大。权重越大表示对结果的影响程度越高,因此方案 $A_3B_3C_2$ 为最佳组合方案。即最佳参数组合为:拉拽杆转速为200 r/min、输送带线速度为1.2 m/s、拉拽杆与输送带夹角为40°,这组参数下缨果分离的一致性为97%,成功率为94%,损伤率为7.7%。

4 结论

(1)建立了胡萝卜缨果拉拽式分离装置的运动学分析模型,定性分析了各参数对拉拽杆速度曲线、两组拉拽杆相对水平间距曲线和垂直间距曲线的影响,圆盘和拉拽杆的夹角 α_2 的变化能使拉拽杆速度曲线整体上下平移,并改变波峰陡峭程度;两组拉拽杆所在圆盘的中心距 L 的变化能使两相对拉拽杆水平间距曲线整体上下平移;两组拉拽杆的相对安装相位角 β 的变化能使拉拽杆垂直间距曲线整体左右平移,同时改变波峰大小。

(2)设计了胡萝卜缨果拉拽式分离试验台,通过正交试验,得到拉拽杆转速对胡萝卜缨果分离效果影响最大,拉拽杆与输送带夹角对胡萝卜缨果分离效果的影响显著。得到了胡萝卜缨果拉拽式分离装置的最佳参数组合:拉拽杆转速为200 r/min、输送带线速度为1.2 m/s、拉拽杆与输送带夹角为40°,此时缨果分离的一致性为97%,成功率为94%,损伤率为7.7%。

参 考 文 献

- 1 李凯锋,杨炳南,杨薇,等. 国内外胡萝卜种植现状及播种机研究进展[J]. 农业工程,2015,5(1):1-5.
LI Kaifeng, YANG Bingnan, YANG Wei, et al. Planting status and research progress on seeding machine of carrot at home and abroad[J]. Agricultural Engineering,2015,5(1):1-5. (in Chinese)
- 2 王俊,杜冬冬,胡金冰,等. 蔬菜机械化收获技术及其发展[J/OL]. 农业机械学报,2014,45(2):81-87. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20140214&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.02.014.
WANG Jun, DU Dongdong, HU Jinbing, et al. Vegetable mechanized harvesting technology and its development [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(2):81-87. (in Chinese)
- 3 宫元娟,佟林林,秦军伟. 胡萝卜微粉碎机盘刀设计及试验[J]. 农业工程学报,2012,28(9):64-69.
GONG Yuanjuan, TONG Linlin, QIN Junwei. Design and experiment on carrot micro-comminution cutters[J]. Transactions of the CSAE,2012,28(9):64-69. (in Chinese)
- 4 马勇,李伟,侯连民,等. 我国胡萝卜栽培技术与机械化生产[J]. 农业机械,2011(34):97-98.
- 5 付威,陈海涛,坎杂. 萝卜收获机振动松土铲参数的优化[J]. 农业工程学报,2011,27(11):46-50.
FU Wei, CHEN Haitao, KAN Za, et al. Optimizing parameters on vibration breakshovel of radish harvester[J]. Transactions of the CSAE,2011,27(11):46-50. (in Chinese)
- 6 贾品霞,张东兴,郝新明,等. 马铃薯收获机参数化造型与虚拟样机关键部件仿真[J]. 农业机械学报,2005,36(11):64-67.
JIA Jingxia, ZHANG Dongxing, HAO Xinming, et al. Parametric modeling and computer simulation of potato harvester parts[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2005,36(11):64-67. (in Chinese)
- 7 胡志超,彭宝良,尹文庆,等. 多功能根茎类作物联合收获机设计与试验[J]. 农业机械学报,2008,39(8):58-61.
HU Zhichao, PENG Baoliang, YIN Wenqing, et al. Design and experiment on multifunctional root-tuber crops combine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2008,39(8):58-61. (in Chinese)
- 8 杨薇,李建东,杨宏伟,等. 胡萝卜联合收获机拉齐切割装置设计与试验[J]. 农业工程,2015,5(3):85-88.
YANG Wei, LI Jiandong, YANG Hongwei, et al. Design and experiment of uniformity cutting device of carrot harvester [J]. Agricultural Engineering,2015,5(3):85-88. (in Chinese)
- 9 MAKSIMOV L M, MAKSIMOV P L, MYAKISHEV A A. The separating device of a carrot harvesting combine [J]. Traktory i Selskokhozya Istvennye Mashiny,2000,13(5):12-13.
- 10 金鑫,杜新武,王世光,等. 胡萝卜收获机根茎分离装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(3):82-89. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160312&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.03.012.
JIN Xin, DU Xinwu, WANG Shiguang, et al. Design and experiment of stems cutting device for carrot harvester [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2016,47(3):82-89. (in Chinese)
- 11 韩凤. 双行拔取式胡萝卜收获机设计研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2012.
- 12 王家胜,尚书旗. 自走式双行胡萝卜联合收获机的研制及试验[J]. 农业工程学报,2012,28(12):38-43.
WANG Jiasheng, SHANG Shuqi. Development and experiment of double-row self-propelled carrots combine [J]. Transactions of the CSAE,2012,28(12):38-43. (in Chinese)
- 13 李凯锋. 自走式胡萝卜联合收获机关键技术的研究[D]. 北京:中国农业机械化科学研究院,2015.
- 14 TOURU A, TOSIYUKI K, HISAYOSHI T, et al. Harvester for root vegetables: United States Patent, 5431231 [P]. 1995-07-11.
- 15 ABDEI-GANY M, EI-SAHHAR E A, MOSTAFA M M, et al. A developed machine to harvest carrot crop [J]. Misr Journal of Agricultural Engineering,2008,25(4):1163-1173.
- 16 LESZEZYNSKI N. The influence of working parameters of a carrot harvester on carrot root damage [J]. Maintenance and Reliability,2011(1):35-41.
- 17 郑源,孙奥冉,杨春霞,等. 轴流泵多目标优化正交试验[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(9):129-136. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170916&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.09.016.
ZHENG Yuan, SUN Aoran, YANG Chunxia, et al. Multi-objective optimization design and test of axial-flow pump [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2017,48(9):129-136. (in Chinese)
- 18 王洪亮,施卫东,陆伟刚,等. 基于正交试验的深井泵优化设计[J]. 农业机械学报,2010,41(5):56-63.
WANG Hongliang, SHI Weidong, LU Weigang, et al. Optimization design of deep well pump based on latin square test [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2010,41(5):56-63. (in Chinese)
- 19 耿端阳,李玉环,孟凡虎,等. 玉米收获机多棱立辊式摘穗装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(3):84-91. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170310&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.03.010.
GENG Duanyang, LI Yuhuan, MENG Fanhu, et al. Design and experiment of corn harvester polygonal vertical-rollers snapping means [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2017,48(3):84-91. (in Chinese)
- 20 赵春花,韩正晟,王芬娥,等. 收割期牧草底部茎秆生物力学性能试验[J]. 农业机械学报,2010,41(4):85-89.
ZHAO Chunhua, HAN Zhengsheng, WANG Fene, et al. Experiment on biomechanical properties of bottom stems of forage in harvesting period [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2010,41(4):85-89. (in Chinese)
- 21 廖宜涛,廖庆喜,田波平,等. 收割期芦竹底部茎秆机械物理特性参数的试验研究[J]. 农业工程学报,2007,23(4):56-63,129.
LIAO Yitao, LIAO Qingxi, TIAN Boping, et al. Experimental research on the mechanical physical parameters of bottom stalk of the *Arundo donax* L. in harvesting period [J]. Transactions of the CSAE,2007,23(4):56-63,129. (in Chinese)
- 22 王玄静. 正交试验设计的应用及分析[J]. 兰州文理学院学报(自然科学版),2016,30(1):17-22.
WANG Xuanjing. Application and analysis of the orthogonal test design [J]. Journal of Lanzhou University of Arts and Science (Natural Sciences),2016,30(1):17-22. (in Chinese)