

胡萝卜收获机根茎分离装置设计与试验

金鑫¹ 杜新武¹ 王世光² 姬江涛¹ 董祥² 王东洋¹

(1. 河南科技大学农业工程学院, 洛阳 471003; 2. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083)

摘要: 为了提高胡萝卜收获机的作业质量,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根茎分离装置。利用解析作图法对双圆盘式切秧机构进行受力和运动分析,得出了茎秆顺利切割满足的力学关系;结合作业速度分析,确定了圆盘刀的转速范围为312~325 r/min;以胡萝卜收获农艺要求及低能耗为目标,通过理论计算得出了圆盘刀的各关键结构和工作参数。设计了两种结构形式的圆盘刀,选取切净率和肉质根损伤率为试验指标,进行对比田间试验,结果表明:在转速315 r/min时,刃角型普通圆盘刀与锯齿状圆盘刀根茎分离效果近似,切秧率均超过90%,肉质根损伤率低于2%。考虑经济性,采用刃角型普通圆盘刀加装根茎分离装置,进行了整机田间试验,结果表明:在机器前进速度1.34 m/s时,胡萝卜收净率98.3%、切秧率90.6%、肉质根损伤率1.8%、总损失率3.5%,符合胡萝卜收获的技术指标要求。

关键词: 胡萝卜; 收获机; 根茎分离装置; 双圆盘刀

中图分类号: S225.99 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)03-0082-08

Design and Experiment of Stems Cutting Device for Carrot Harvester

Jin Xin¹ Du Xinwu¹ Wang Shiguang² Ji Jiangtao¹ Dong Xiang² Wang Dongyang¹

(1. College of Agricultural Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China

2. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to improve the work quality of carrot harvester, roots and stems cutting device of carrot was designed based on statistical analysis of physical parameters of carrot. This device consists of leveler, gripping delivery mechanism, double disc blade cutting device and upper gripping delivery mechanism. Force analysis of double disc blade cutting device was done by the means of graphic analysis, the request of stems being cut was obtained by the experiment; rotate speed of disc blade was determined at 312~325 r/min by analyzing the operation velocity. The working parameters of disc blade were calculated according to the agricultural requirements and the objective of low energy consumption. Two kinds of blades were designed, and cutting rate and root damage rate were chosen as the experiment indicators. The contrast test was done and the result showed that operation performance of the ordinary disc blade and blade with serrated edge was approximate. Both of above blade's cutting rates were more than 90%, and the root damage rate was less than 2%. Taking the economy into consideration, field experiment was done with the ordinary blade, the result showed that when the device worked at the speed of 1.34 m/s, the net rate was 98.3%, cutting rate was 90.6%, root damage rate was 1.8% and the total losing rate was 3.5% which met the requirement of carrot harvester.

Key words: carrot; harvester; roots and stems separating device; double disc blade cutting device

收稿日期: 2015-09-11 修回日期: 2015-11-05

基金项目: 国家国际科技合作专项(2013DFA71130)、河南省产学研合作项目(132107000051)和河南省自然科学基金项目(132300410152)

作者简介: 金鑫(1986—),男,讲师,博士,主要从事现代农业装备技术研究,E-mail: jx.771@sina.com

通信作者: 王世光(1977—),男,高级工程师,博士,主要从事现代农业装备与先进制造技术研究,E-mail: wangsg@caams.org.cn

引言

我国胡萝卜收获面积和总产量稳居世界前列,但由于胡萝卜的种植和收获基本靠手工完成,效率低、强度大,严重降低了胡萝卜生产的综合经济效益^[1-2]。虽然一些地区已开始利用其它根茎类作物收获机对胡萝卜进行半自动化收获,提高了收获速度,但由于关键部件机械参数不匹配等问题,在收获过程中出现了萝卜秧和根分离率低、根茎的损伤率高等问题^[3-5],因此对胡萝卜收获机的核心作业部件进行分析与试验是研究的重点。

胡萝卜属于典型的根茎类作物,在根茎类作物的收获机械中,根茎分离部件为收获机械的重要部件,切割分离效果的好坏直接影响到作物的收获质量^[6-7]。目前根茎类作物机械收获技术的研究对象

主要集中于甜菜、马铃薯、花生、大蒜等,对胡萝卜机械收获关键技术的研究较少,大多侧重于整机研制^[8-9]。为此,本文设计一种具备齐平导向输送的双圆盘式胡萝卜根茎分离装置,并对其进行理论分析与参数设计,通过胡萝卜田间收获试验,进行两种结构形式圆盘切割效果的对比试验与整机作业质量试验分析。

1 胡萝卜物理参数

胡萝卜由茎叶、肉质根、须根组成,肉质根为可食用部分,“根茎分离”即为肉质根与茎叶分离^[10]。为了给胡萝卜收获机关键部件的设计提供理论参考,本文选取具有北方代表性的胡萝卜品种幕田珠红和孟德尔,统计了其收获机关键部件设计相关的主要物理特性参数。分别选取两个品种的30个样本,数据见表1。

表1 胡萝卜主要物理特性参数

Tab.1 Statistical results of carrot physical properties

统计参数	总长度/ mm	根长度/ mm	茎高度/ mm	2 cm 处单根茎 直径/mm	2 cm 处茎叶 直径/mm	茎根数/根	茎拉断力/ N	拔取力/ N
最大值	783.2	278.2	485.7	3.4	20.5	12.0	313.8	409.2
最小值	552.4	159.3	288.6	1.8	10.8	6.0	126.9	156.5
平均值	691.2	219.7	392.5	2.5	15.7	7.9	233.5	293.4
标准差	53.4	26.1	43.1	0.3	2.1	1.5	54.1	63.2
变异系数/%	8	12	11	12	13	19	23	21

注:2 cm 处茎叶直径是采用保鲜膜将分散的茎叶聚拢后测定;茎拉断力测定标定的位置是距离胡萝卜根部顶端 150 mm 处;拔取力测定是在自然状态下进行的,未松土。

2 整机结构与作业过程

如图1所示,设计的双行自走式胡萝卜联合收获机主要由履带式拖拉机、仿形扶禾器、松土装置、拔取夹持装置、齐平导向器、根茎分离装置、去土装置、块根输送装置及抛秧装置等部件组成。该机器作业时,一次可以收获两行胡萝卜,主要工作过程如下:

(1) 胡萝卜茎叶被扶起。扶禾器在液压马达驱动下转动,将分散的胡萝卜茎叶聚拢,并通过导向杆喂入到拔取夹持装置。

(2) 胡萝卜块根周围土壤被疏松。在松土铲的作用下胡萝卜周围土壤被铲松,并托起掘起物喂入拔取夹持装置。

(3) 拔取并提升胡萝卜。胡萝卜进入拔取夹持装置后被橡胶带拨起并沿导向梁向上输送。

(4) 去土。胡萝卜沿导向梁输送过程中在去土装置作用下将粘在块根上的土壤拍落。

(5) 根茎分离。胡萝卜被输送到一定高度后在

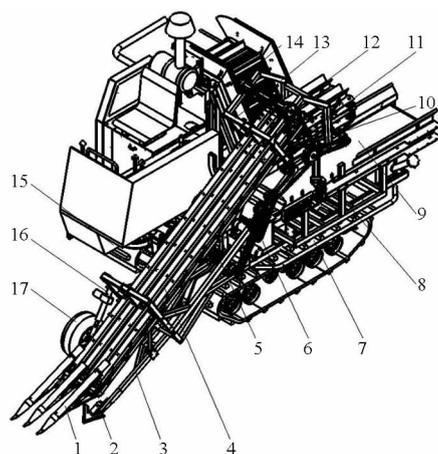


图1 自走式胡萝卜联合收获机结构简图

Fig.1 Structural schematic of double row self-propelled carrot combine harvester

1. 仿形扶禾器 2. 松土铲 3. 铲柄 4. 拔取夹持装置 5. 去土辊 6. 液压升降油缸 7. 履带行走底盘 8. 下机架 9. 抛秧装置 10. 根茎分离装置 11. 齐平导向器 12. 水平夹持机构 13. 上机架 14. 块根输送装置 15. 履带式拖拉机 16. 限深轮 17. 限深轮

齐平导向器作用下,进入到双圆盘式刀片组成的分

离装置,完成根茎分离的过程。

(6) 抛秧。被切下的胡萝卜秧被水平传送带进一步向后传输并最终回落田间。

(7) 胡萝卜块根输出并装袋。被切下的胡萝卜块根则落入块根输送装置,被输送到集果箱或太空袋,完成全部收获过程。

3 根茎分离装置结构与工作原理

胡萝卜机械收获中根茎分离过程如图2所示,图中 v_0 为拔取夹持输送带传送速度, m/s ; v_1 为水平夹持输送带传送速度, m/s 。被拔出的胡萝卜经拔取提升机构输送至水平夹持机构,然后通过双圆盘式切秧机构进行茎叶切割,而在切割前已由齐平器实现根部顶端对齐和上水平夹持输送装置实现茎叶紧束。

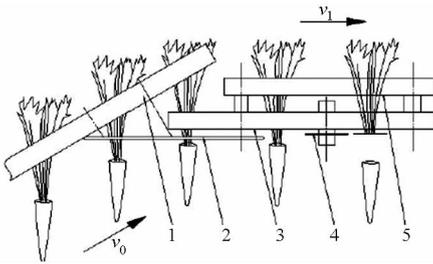


图2 根茎分离过程示意图

Fig. 2 Diagram of separating roots from stems process

1. 拔取夹持机构
2. 齐平器
3. 水平夹持输送装置
4. 双圆盘式切秧机构
5. 上水平夹持输送机构

根茎分离装置的设计不仅要实现胡萝卜根茎的分离,还要使切口整齐并尽量贴近胡萝卜的块根顶端,同时须将分离以后的块根和茎叶输送至对应的传送机构。本研究设计的胡萝卜根茎分离装置如图3所示,主要由水平夹持输送机构、端部支架、圆盘刀、整机固定架、张紧装置、后端固定架、传动链条、上水平输送机构、主动链轮和挡秧板等部件组成。水平夹持输送机构的功能通过带传动来实现,并在其支撑架上安装双圆盘式切割器及固定安装座,利用联轴器与上水平夹持输送机构连接,在主动链轮的驱动下发生转动并带动圆盘刀和上水平输送机构运动。

为了防止根茎切割前,胡萝卜植株在夹持输送的过渡转换过程中发生壅堵,水平夹持输送带的传送速度 v_1 应大于拔取夹持装置的传输速度 v_0 ,取 $v_1 = 1.1v_0$ 。

为保证胡萝卜根茎切割质量,在分离过程中加装了平板式齐平器(图4),主要由短螺纹调节杆、螺纹调节杆连接架、齐平挡板、长螺纹调节杆等构成。螺纹调节杆连接架通过定位孔与齐平挡板焊接在一起,螺纹调节杆端部利用螺栓固定在连接架上,螺纹杆则从夹持装置导向梁穿过,通过螺栓固定在导向

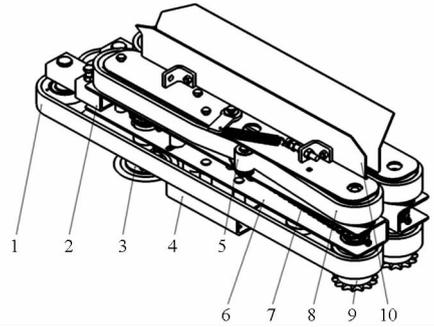


图3 根茎分离装置结构图

Fig. 3 Structural schematic of separating roots from stems device

1. 水平夹持输送装置
2. 端部支架
3. 圆盘刀
4. 整机固定架
5. 张紧装置
6. 后端固定架
7. 传动链条
8. 上水平输送装置
9. 主动链轮
10. 挡秧板

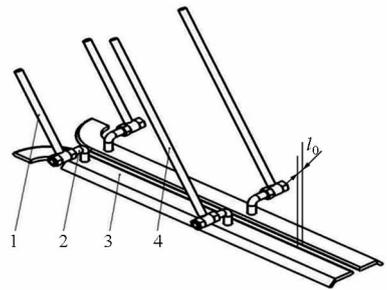


图4 平板式齐平器结构图

Fig. 4 Structural schematic of horizontal directional device

1. 短螺纹调节杆
2. 螺纹调节杆连接架
3. 齐平挡板
4. 长螺纹调节杆

梁上。调节螺纹杆的固定高度,就可以调节胡萝卜茎的切口高度。

胡萝卜植株在进入齐平导向器后,在输送带的作用下,茎叶逐渐被向上拉动,直到使得胡萝卜根部顶端紧紧贴住齐平挡板,从而达到胡萝卜根部顶端对齐的目的。然后再通过水平传输带的作用,被喂入到分离切割装置,通过旋转的双圆盘刀组切割完成根茎分离过程。由表1知,胡萝卜单根茎2 cm处直径为1.8~3.4 mm,整株茎叶直径为10.8~20.5 mm,为使得胡萝卜整齐有序进入切秧装置,保证根茎分离过程顺利完成,两齐平挡板间的水平距离 $l_0 = 10$ mm。

4 双圆盘式切秧机构运动特性与关键参数设计

双圆盘式切秧机构是胡萝卜根茎分离装置的核心工作部件,决定着根茎分离装置的断秧效果与肉质根损伤率,若实现对根茎顺利切割应考虑茎秆切割阻力和切割速度。

4.1 切秧受力分析

双圆盘式切秧机构主要由上下彼此压紧的两个

刀片组成(实际安装状态),并且各自反向同速旋转。当胡萝卜植株由水平夹持机构进入到圆盘刀时,松散的茎秆受挤压,被紧紧地约束在一起,为了便于分析,假设被切割部位的横截面为规则的圆或椭圆,茎秆被夹持输送的方向平行于刀盘时,切割横截面为规则的圆,被夹持输送的方向与刀盘之间存在夹角时,切割横截面为椭圆。被切割时,茎秆会受到刀盘作用于切割部位的法向推力 N 和刀刃的切向滑切力 F ,假设两个刀盘作用于茎秆的法向力分别为 $N_1、N_2$,切向滑切力分别为 $F_1、F_2$,同时茎秆还受到水平夹持机构输送方向的拉力 T ,受力分析如图5所示。

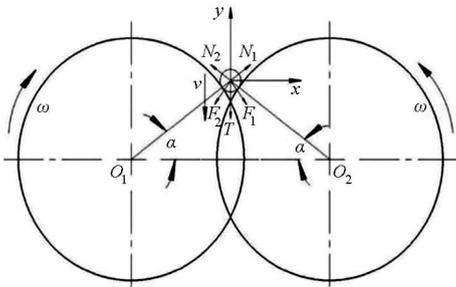


图5 萝卜茎秆受力分析图

Fig.5 Force analysis of carrot stem

要使胡萝卜茎秆一次进入圆盘刀并被切断,且在接触刀盘时不打滑,应满足在 y 轴上的合力是沿负方向的,即满足条件

$$T > N_1 \sin\alpha + N_2 \sin\alpha - F_1 \cos\alpha - F_2 \cos\alpha \quad (1)$$

其中
$$\cos\alpha = \frac{a}{D+d} \quad (2)$$

式中 α ——刀盘的法向推力与刀盘中心连线的夹角, ($^\circ$)

a ——两刀盘中心距, mm

D ——刀盘直径, mm

d ——胡萝卜茎秆切割部位直径, mm

胡萝卜茎秆被切断主要是受切向滑切力的作用,切割方式可以分为正切和滑切两种,其中横向正切所受的切割阻力最大。刀片与胡萝卜茎秆垂直时,切割方式为横向正切,不垂直时,切割方式为滑切,其受力分析如图6所示。

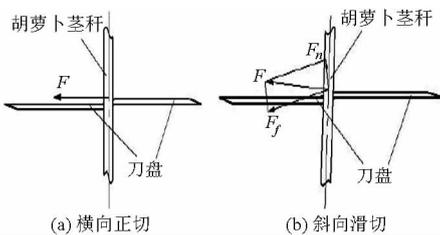


图6 茎秆受刀片的切向力示意图

Fig.6 Schematic diagram of stem tangential force

茎秆时,切割力垂直于茎秆,所受切断阻力较大,切断的切头为平面;当切断方式为滑切时,刀片与茎秆的相对运动方向呈一定夹角,切断力可以分解为与刀刃线平行的切向力 F_f 和与刀刃线垂直的力 F_n ,此时,茎秆被切断时,所受阻力较小,切断的切头端面为斜面。以上分析可知,虽然两种不同的切割方式所受到的阻力不同,切割出的端面也不同,但是不影响切割质量。由于圆盘刀上下叠在一起,且不停地高速旋转,保证了胡萝卜茎秆不会出现漏切的现象。经试验测定,胡萝卜茎秆的平均含水率 82%,与橡胶带的摩擦因数为 0.76 ~ 0.80,随着茎秆根数的变化,拉断力在 126.9 ~ 313.8 N 之间,茎秆切割阻力在 24 ~ 47 N 之间(测定时用保鲜膜将胡萝卜茎叶聚拢成一束)。

4.2 圆盘刀运动分析

由于双圆盘刀只在水平面内转动,所以对刀盘上切割点的运动轨迹分析时可取单一圆盘为研究对象,将圆盘刀的旋转中心设为坐标系的原点, x 轴方向与机器前进方向一致,即与茎秆的输送方向相反, y 轴则竖直向上。取某一时刻任一切割点的运动进行分析,经过时间 t 后,切割点从 A 运动到 B ,具体如图7所示。

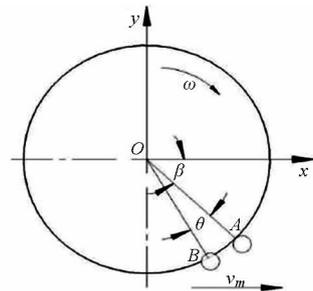


图7 切割点运动示意图

Fig.7 Motion sketch of cutting point

切割点的运动方程为

$$\begin{cases} x = v_m t + R \cos(\beta + \omega t) - R \cos\beta \\ y = R \sin(\beta + \omega t) - R \sin\beta \end{cases} \quad (3)$$

式中 v_m ——机器前进速度, m/s

R ——圆盘刀半径, m

β ——切割点在 A 处时与 x 轴的夹角, ($^\circ$)

ω ——圆盘刀角速度, rad/s

由此可见,圆盘刀的转速是影响切割质量的重要参数,刀盘转速过低会导致刀盘与茎秆相对速度变低,秧切不断和壅堵;转速过高可能会导致装置局部振动过大,影响切秧质量和增加能耗。

为保证较优的切割质量和较低的功率消耗,根据切割空白区最小原则^[11],圆盘刀的切割进程应近似等于刀刃的有效工作高度 h 。若保证圆盘的刀刃全长参与切割,应满足

胡萝卜茎秆为各向异性材料。当横向正切切断

$$t_1 = \frac{2\pi R}{v_y} \geq \frac{h}{v_m} \quad (4)$$

$$\text{即} \quad \frac{v_y}{v_m} \leq \frac{2\pi R}{h} \quad (5)$$

式中 t_1 ——圆盘刀刃口到根部转过的时间, s

v_y ——圆盘刀片的圆周速度, m/s

式(5)表示圆盘刀线速度与机器前进速度的配合关系, v_y/v_m 值是评价切割质量的关键, 试验表明, 在切秧率和切割端面平整度变化不大的情况下, v_y/v_m 值在 1.3~1.4 范围内时切秧效果和功耗均较好。考虑实际作业对机器行驶速度的限制, 以及质量和生产率的要求, 机器前进速度在 4.8~5.0 km/h 范围内为宜。因转速 $n = \frac{1.35v_m}{2\pi R}$, 若确定机器前进速度为 4.8~5.0 km/h, R 值详见第 4.3.2 节, 则圆盘刀的设计转速为 312~325 r/min。

4.3 圆盘刀主要参数确定

圆盘刀的参数分为结构参数和工作参数, 结构参数主要包括圆盘刀的材料和热处理工艺、直径 D 、厚度 h 、刃角 φ 等, 如图 8 所示; 工作参数主要是圆盘刀转速 n 、工作宽度(两圆盘刀最大重叠宽度) B 、工作长度(两圆盘刀最大重叠长度) l 、上、下两刀盘间隙 h_0 等。圆盘刀的结构参数和工作参数直接决定分离装置的切秧效果, 在保证切秧质量的同时应尽量使圆盘刀能量消耗小、使用寿命长。

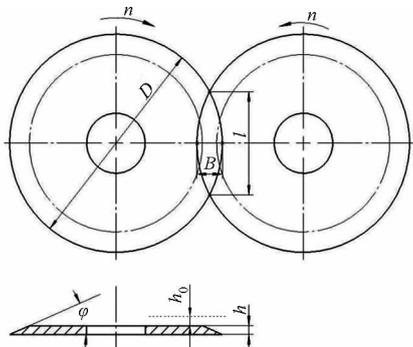


图 8 圆盘刀参数示意图

Fig. 8 Schematic diagram of parameters in disc blades

4.3.1 工艺形式

设计的两种形式圆盘刀如图 9 所示。一种是带刃角的圆盘刀, 一种是没有刃角的锯齿状圆盘刀; 刀体均采用 65Mn 制造, 刀口经淬火处理。一般来讲, 刃角型圆盘刀结构简单、制造方便, 适合切割柔软物体; 锯齿状圆盘刀对硬质物体切割效果好, 目前在丹麦的胡萝卜收获机已有应用, 但两者具体切秧效果有待试验验证。

4.3.2 圆盘刀直径

为了提高胡萝卜收获机械的通用性, 根据我国胡萝卜的种植农艺参数^[12], 在整机设计时设计每对

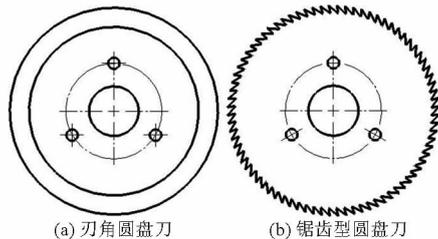


图 9 圆盘刀结构形式

Fig. 9 Structure of disc blades

夹持导向梁的中心距 a 为 100 mm, 齐平器的实际通过间距 l_0 为 10 mm, 为保证胡萝卜秧在通过夹持带进入齐平器, 最后进入根茎分离装置, 在安装时应保证各对称零部件中心始终在同一竖直平面内, 所以圆盘刀的直径应满足

$$D \geq a + d \quad (6)$$

圆盘直径 D 应大于或等于 110 mm, 为保证切秧质量的同时节省能耗与材耗, 可以选取 $D = 110$ mm。

4.3.3 圆盘刀工作宽度、长度及间隙

理论上讲, 为了取得良好的切秧效果, 圆盘刀的工作宽度 B 由胡萝卜茎秆的直径决定。只需保证工作宽度与齐平器的实际通过间距一致, 就能完全切断胡萝卜茎叶。即圆盘刀的工作宽度 $B = d = 10$ mm。

在确定圆盘刀工作宽度后, 其工作长度计算式为

$$l = 2 \sqrt{D^2 - \left(D - \frac{B}{2}\right)^2} \quad (7)$$

代入数据, 可算出工作长度 $l = 45.8$ mm。

由表 1 可知, 胡萝卜单根茎有效直径为 1.8~3.4 mm, 整株茎叶直径为 10.8~20.5 mm, 圆盘刀的工作长度远大于胡萝卜茎秆直径, 满足茎秆被切断条件。

上、下两刀盘间隙 h_0 是否合理直接影响切秧性能, 间隙过大会降低切割端面平整度甚至产生秧切不断, 借鉴同类研究^[11,13], 确定刀盘间隙 $h_0 = 0.2$ mm。

4.3.4 圆盘刀厚度

将工作时圆盘刀看作储存了一定能量的飞轮, 其转动时所具备的能量为

$$E = I\omega^2 C_s \quad (8)$$

$$\text{其中} \quad I = \frac{WD^2}{4g} \quad (9)$$

$$W = \frac{\pi}{4} D^2 h \rho \quad (10)$$

$$\omega = 2\pi n \quad (11)$$

式中 E ——圆盘刀所具备的能量, J

I ——圆盘刀的转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$

C_s ——速度波动系数, 取 0.64

W ——圆盘刀质量, kg

ρ ——圆盘刀密度(材料为 65Mn)

联立式(8)~(11)可以得出圆盘刀的厚度为

$$h = \frac{16gE}{\pi D^4 \omega^2 \rho C_s} \quad (12)$$

将扭矩作为切削胡萝卜茎叶所需的能量, 其所需能量为 $3.1 \text{ kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$ (前期胡萝卜茎秆切割性能试验数据)。所以, 胡萝卜茎叶在被切断时圆盘刀具有的能量为

$$E = E_a A \quad (13)$$

其中 $A = \frac{1}{4} \pi D^2$ (14)

式中 E_a ——切断单位面积茎叶时所需的能量, $\text{kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$

A ——胡萝卜茎平均面积, cm^2

联立式(12)~(14), 代入数据可以得出 h 取值范围为 $1.84 \sim 2.06 \text{ mm}$, 为制造方便, 取 $h = 2 \text{ mm}$ 。

4.3.5 圆盘刀刃角

圆盘刀的切割力受切割方向的影响, 可以分为横向、斜向和过渡切割 3 种方式。在这 3 种基本切割过程中, 横向切割的切割力最大, 过渡切割次之, 斜向切割最小。若过渡切割中的过渡量用刃角 φ 表示, 则有

$$P = 3.7985 - 0.00287\varphi \quad (15)$$

式中 P ——单位切割力, N/mm

由于过渡切割中的过渡量与刀盘倾角存在正相关性, 所以由此式可以看出刀盘倾角越大, 切割力会越小^[14-15]。胡萝卜切秧应保证各胡萝卜切头高度平整、一致。所以刃角的选取应在保证切秧质量的同时尽量减小切刀的磨损, 同时降低切秧装置的功率损耗。借鉴相关研究经验^[13, 16-19], 选择圆盘刀的刃角 $\varphi = 10^\circ$ 。

5 田间试验

为考察两种结构形式的圆盘刀切秧效果及设计的根茎分离装置作业质量, 于 2014 年 10 月 10 日在河北省涪源县二道渠乡, 分别进行了对比试验和整机田间试验(图 10)。

5.1 刃角型与锯齿状圆盘刀对比试验

5.1.1 试验材料

胡萝卜品种为幕田珠红, 试验地块为砂壤土, 种植间距为 64 mm 、行距为 200 mm 、垄距为 600 mm 、垄高 80 mm 。试验时气温为 10°C , 土壤湿度为 21.35% , 土壤硬度为 14.8 kPa 。

5.1.2 试验指标

胡萝卜根茎分离技术的性能指标包括切秧率、



图 10 胡萝卜收获机田间试验

Fig. 10 Field experiment of carrots harvester

肉质根损伤率、经济性和安全要求等, 在田间试验中, 主要是以切秧率和肉质根损伤率作为切秧装置的重要评价指标, 具体计算公式为

$$\varepsilon_1 = \frac{x_1}{x} \times 100\% \quad (16)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{x_2}{x} \times 100\% \quad (17)$$

式中 ε_1 ——切秧率, %

ε_2 ——肉质根损伤率, %

x_1 ——胡萝卜秧没切净的总数

x_2 ——胡萝卜块根损伤的总数

x ——用于试验的胡萝卜个数

5.1.3 试验方法

机器每次行走距离为 25 m (准备区 10 m , 测区 10 m , 调整区 5 m), 行走速度约为 1.34 m/s , 每次试验重复记录 5 次, 记录每次试验测区 10 m 内胡萝卜的总数, 两种圆盘刀试验后秧叶切净的胡萝卜数和肉质根损伤的胡萝卜数, 将记录后的数据计算平均值。

5.1.4 试验结果

两种结构形式的圆盘刀试验结果如表 2 所示。

表 2 两种圆盘刀田间试验结果

Tab. 2 Field experimental results of two kinds of disk blade

圆盘刀类型	切秧率/%	肉质损伤率/%	实际转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)
刃角型	90.6	1.81	315
锯齿型	92.1	1.83	315

从表 2 可以看出, 相同工作条件, 刃角型普通圆盘刀切秧率 90.6% , 肉质根损伤率 1.81% , 而锯齿状圆盘刀切秧率 92.1% , 肉质根损伤率 1.83% , 均满足胡萝卜收获技术要求且切割质量相近, 但从刀具的生产成本和加工工艺角度考虑, 带刃角的普通圆盘刀比锯齿型圆盘刀更经济实用。所以, 本文胡萝卜收获机的根茎分离装置以刃角型双圆盘式切秧机构来进行研究。

5.2 整机试验

5.2.1 试验条件

将刃角型普通圆盘刀加装于根茎分离装置, 进

行胡萝卜收获整机田间试验,如图10所示。试验材料、方法与5.1节相同,记录每次试验胡萝卜的总株数、肉质根总损伤数、胡萝卜总拔起数和总损失数。

胡萝卜根茎分离前需经过拔取提升、水平夹持与齐平导向、上部茎叶紧束过程,为尽可能消除上述过程对分离效果的影响,需进行严格的参数控制:

(1)拔取提升机构水平方向投影与水平夹持输送机构重合距离足够整株胡萝卜传递过渡,且 $v_1 = 1.1v_0$ (见第2节)。

(2)胡萝卜茎叶进入水平夹持机构后,根部端面随即接触齐平器挡板下端面;齐平器在水平夹持段的结构长度尽可能小,调节齐平器挡板上端面与圆盘刀下端间距为2 cm。

(3)两齐平挡板水平间隙控制为10 mm,使胡萝卜对齐有序排列。

(4)试验调整合适的皮带预紧力,能够使水平夹持机构夹紧胡萝卜茎叶底部且不断茎,同时上水平夹持机构有效束拢分散的茎叶。

5.2.2 结果与分析

表3为自走式胡萝卜联合收获机田间试验结果,表中的收净率是指在机器行走的测试范围内,胡萝卜被拔起的总数与胡萝卜总植株数的比值,总损失率是肉质根损伤率与漏拔率之和。漏拔率为试验范围内未被拔起的胡萝卜总数与胡萝卜总数的比值。

表3 自走式胡萝卜联合收获机试验结果

Tab.3 Experimental results of self-propelled carrots combine harvester

参数	试验结果	收获要求
收净率/%	98.3	≥97
切秧率/%	90.6	≥85
肉质根损伤率/%	1.8	≤2
总损失率/%	3.5	≤5
生产率/($\text{hm}^2 \cdot \text{h}^{-1}$)	0.18	

通过整机田间试验发现,机器在工作过程中能实现胡萝卜联合收获的各项作业功能,各项指标的试验结果均能满足相应的技术要求。同时在试验过程中还存在以下问题:

(1)拔取夹持装置相对地面的倾角较大且离地高度较高,使得秧较小较脆或经霜打以后的胡萝卜难以被拔出,这是导致出现漏拔现象的主要原因。为提高收净率,需改善拔取夹持装置前端结构使其前端能与地面平齐。

(2)松土铲入土深度不稳定,在收获机作业过程中损伤部分胡萝卜肉质根,这是造成肉质根损伤的重要原因,需进一步改良松土装置固定方式及结构,使其与机架的连接更稳固。

(3)齐平器完全固定在拔取夹持机构的导向梁上,导致部分提前对齐的胡萝卜根顶端出现擦伤。解决的措施是使齐平器铰接在拔取夹持机构中的导向梁上且在齐平器与胡萝卜根部接触的齐平板下端安装橡胶垫,减小提前对齐的胡萝卜根部磨损。

(4)根茎分离后,切断的胡萝卜秧抛送不畅,水平夹持输送装置末端常常出现壅堵现象,这主要是由于夹持输送带的摩擦力较小所导致。为提高抛送能力可将夹持输送带外表面设计成带凹槽的纹路,增大传送摩擦力。

6 结论

(1)设计了一种胡萝卜收获机根茎分离装置,采用平板式齐平器实现胡萝卜根茎切割前的排序对齐,双皮带机构进行胡萝卜根茎的夹紧输送,由双圆盘式切秧机构完成根茎分离。

(2)通过切秧过程受力及运动分析,确定了茎秆切断受力条件和双圆盘式切秧机构的圆盘刀转速范围312~325 r/min;以满足胡萝卜收获农艺要求且功耗较小目标,确定了圆盘刀的关键结构及工作参数,研制出刃角型普通圆盘刀和锯齿状圆盘刀。

(3)田间对比试验表明,在转速315 r/min(符合设计范围)时,两种结构形式的双圆盘切秧机构切割效果接近,且均满足胡萝卜收获的根茎分离要求;考虑到经济性,采用刃角型普通圆盘刀进行整机试验,结果表明,当机器前进速度为1.34 m/s(相应圆盘刀转速314 r/min)时,胡萝卜收净率98.3%、切秧率90.6%、肉质根损伤率1.8%、总损失率3.5%,满足收获技术指标要求。

参 考 文 献

- 韩霞,陈海涛,顿国强,等. 胡萝卜收获机械化研究的现状分析[J]. 农机化研究, 2015, 37(7): 259-262.
HAN Xia, CHEN Haitao, DUN Guoqiang, et al. Analysis on situation of carrot mechanized harvesting technology[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(7): 259-262. (in Chinese)
- 王俊,杜冬冬,胡金冰,等. 蔬菜机械化收获技术及其发展[J]. 农业机械学报, 2014, 45(2): 81-87.
WANG Jun, DU Dongdong, HU Jinbing, et al. Vegetable mechanized harvesting technology and its development[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(2): 81-87. (in Chinese)
- 胡志超,彭宝良,尹文庆,等. 多功能根茎类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)
- 4 王俊霖, 张喜瑞, 李粤, 等. 组合圆盘式香蕉茎秆切碎机的研究[J]. 农机化研究, 2013, 35(3): 154-156, 163.
WANG Junlin, ZHANG Xirui, LI Yue, et al. Study on the combine disc type of banana straw shredder[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013, 35(3): 154-156, 163. (in Chinese)
- 5 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)
- 6 薛忠, 宋德庆, 郭向明, 等. 圆盘式茎秆切割器研究进展[J]. 农机化研究, 2014, 36(5): 239-243.
XUE Zhong, SONG Deqing, GUO Xiangming, et al. The design and research of an energy-efficient pneumatically-operated top-heating shaping machine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(5): 239-243. (in Chinese)
- 7 于昭洋, 胡志超, 王海鸥, 等. 大蒜果秧分离机构参数优化及试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 40-46.
YU Zhaoyang, HU Zhichao, WANG Haiou, et al. Parameters optimization and experiment of garlic picking mechanism[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(1): 40-46. (in Chinese)
- 8 刘宝, 张东兴, 李晶. MZPH-820型单行马铃薯收获机设计[J]. 农业机械学报, 2009, 40(5): 81-86.
LIU Bao, ZHANG Dongxing, LI Jing. Design on MZPH-820 single-row potato harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(5): 81-86. (in Chinese)
- 9 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)
- 10 中国农业百科全书总编辑处蔬菜卷编辑委员会, 中国农业百科全书编辑部. 中国农业百科全书(蔬菜卷)[M]. 北京: 中国农业出版社, 1990.
- 11 沈亮, 杨华, 安红宇, 等. 胡萝卜收获机的设计[J]. 农机化研究, 2015, 37(11): 71-76.
SHEN Liang, YANG Hua, AN Hongyu, et al. Design of a carrot combine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(11): 71-76. (in Chinese)
- 12 万霖, 车刚, 汪春, 等. 4QZR-30型青贮饲料收获机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(3): 187-190.
WAN Lin, CHE Gang, WANG Chun, et al. Design and experiment of 4QZR-30 silage harvester mechine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(3): 187-190. (in Chinese)
- 13 李丰根, 林茂, 徐欧腾, 等. 两种形式甘蔗切割器对破头率影响的因分析[J]. 农机化研究, 2012, 34(4): 136-138.
LI Fenggen, LIN Mao, XU Outeng, et al. Analysis of influencing factors on the rate of broken root of two types of cutters[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012, 34(4): 136-138. (in Chinese)
- 14 杨薇, 李建东, 高波, 等. 胡萝卜种植与收获机械化现状与思考[J]. 农机化研究, 2014, 36(12): 247-252.
YANG Wei, LI Jiandong, GAO Bo, et al. Research status and thinking of the mechanization of planting and harvesting carrot[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(12): 247-252. (in Chinese)
- 15 徐文龙. 切割厚度可调甜菜切顶机构的机理分析与优化设计[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2013.
XU Wenlong. Mechanism analysis and parameter optimization for the adjustable cutting thickness of beet cut top mechanism[D]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology University, 2013. (in Chinese)
- 16 陈国晶, 赵冰, 杨坚, 等. 甘蔗收割机单圆盘切割器工作参数优化[J]. 农机化研究, 2010, 32(2): 146-148.
CHEN Guojing, ZHAO Bing, YANG Jian, et al. Optimization of working parameters for single disc basecutter of sugarcane harvester[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(2): 146-148. (in Chinese)
- 17 于昭洋, 胡志超, 王海鸥, 等. 大蒜果秧分离试验装置的设计与测试[J]. 农业工程学报, 2013, 29(16): 7-15.
YU Zhaoyang, HU Zhichao, WANG Haiou, et al. Design and testing of head-stem segregation equipment for garlic[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(16): 7-15. (in Chinese)
- 18 刘庆庭, 区颖刚, 卿上乐, 等. 甘蔗收割机单圆盘根切器虚拟样机研究[J]. 农业机械学报, 2007, 38(8): 78-81.
LIU Qingting, OU Yinggang, QING Shangle, et al. Virtual prototype study on single disc basecutter of sugarcane harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(8): 78-81. (in Chinese)
- 19 杨海, 周海波, 冯小川, 等. 锯齿形双圆盘切割器切割原理分析与仿真[J]. 农机化研究, 2011, 33(9): 23-26.
YANG Hai, ZHOU Haibo, FENG Xiaochuan, et al. Cutting principle analysis and simulation of hackle dual-disc cutter bar[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011, 33(9): 23-26. (in Chinese)