

# 自走式双行胡萝卜联合收获机的研制及试验

王家胜, 尚书旗\*

(青岛农业大学机电工程学院, 青岛 266109)

**摘要:** 为了提高中国胡萝卜机械化作业水平, 结合国内胡萝卜的种植模式和农艺要求, 设计了自走式双行胡萝卜联合收获机, 该设备可同时完成 2 行胡萝卜的挖掘、夹持输送、根叶分离、去土和集收等功能。收获机由自走式橡胶履带底盘带动, 主要工作部件由传动系统、挖掘装置、夹持输送装置、根叶分离装置、去土集收装置等组成。挖掘铲设计成两翼张开的三角状, 可有效降低挖掘阻力; 根叶分离前, 胡萝卜植株在一拉紧装置作用下使根部对齐, 然后转入水平夹持带输送装置经一对圆盘刀完成切割, 保证了切口整齐且贴近根部顶端。经田间样机收获试验检测表明, 机器收净率达到了 98.2%, 损伤率为 2.5%, 生产率达到了 0.11 hm<sup>2</sup>/h。该研究为胡萝卜收获机械的深入研究和发 展提供了参考。

**关键词:** 收获机, 传动系统, 输送装置, 性能试验, 双行, 胡萝卜

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.12.007

中图分类号: S225.7<sup>+</sup>2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-12-0038-06

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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(12): 38-43. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

尽管中国胡萝卜种植面积和产量均居世界前列, 但其机械化收获水平却非常低, 大部分地区还主要依靠人工收获, 少数地区所使用的胡萝卜收获机仅仅实现了挖掘功能的半机械化作业, 或者利用其他根茎类收获机兼收胡萝卜<sup>[1-2]</sup>, 胡萝卜专用联合收获机在国内还处于空白。目前国外发达国家所应用的胡萝卜联合收获机可分为牵引式和自走式 2 类: 欧美地区多采用大型侧牵引式联合收获机<sup>[3-9]</sup>, 机具由大功率拖拉机带动, 收获机的传动及作业功能均实现了液压自动化控制, 技术先进, 作业效率高, 可实现多行收获, 适合大面积田地作业; 日本、韩国和台湾等地区则主要研制了中小型的自走式胡萝卜联合收获机<sup>[9-12]</sup>, 机器结构紧凑、配套动力较小, 大部分是单行收获, 适合垄作和小地块作业。由于农艺要求、种植模式的差别, 以及价格成本等原因, 国外胡萝卜联合收获机在国内应用还存在诸多问题, 研制出适合中国国情和农艺要求的胡萝卜联合收获机是当前亟待解决的问题。

本文结合国内胡萝卜的种植模式和农艺要求, 参照国外多种先进机型, 并考虑作业效率及土地压实等因素, 研制出了自走式双行胡萝卜联合收获机, 并在田间进行

了样机收获试验, 对样机的各项性能参数进行了测定。

## 1 总体方案及技术参数

### 1.1 种植模式及农艺要求

胡萝卜种植模式为垄作, 如图 1 所示, 垄高 150 mm, 总垄宽 1 100 mm, 一垄 4 行, 行距分别为 200, 300 和 200 mm, 平均株距 90 mm。普通胡萝卜平均生长深度 220 mm, 最大生长深度 260 mm, 植株平均茎高 400 mm, 胡萝卜外形尺寸为平均颈粗 50 mm, 平均长度 220 mm。

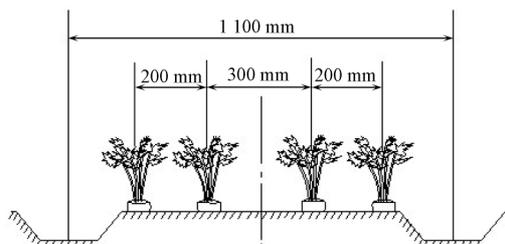


图 1 胡萝卜垄作种植模式

Fig.1 Ridge planting pattern of carrot

### 1.2 整机结构及工作过程

针对中国较为普遍的胡萝卜种植模式和农艺要求, 从国情出发, 并考虑到机器对田地的压实及工作效率等因素, 本设备设计为自走式双行联合收获方式。收获机总体设计结构如图 2 所示。

整机主要由动力底盘、传动系统、挖掘装置、夹持输送装置、根叶分离切割装置、去土装置、集收装置等部件组成。该设备可同时完成 2 行胡萝卜的联合收获, 具体功能及工作过程为: 机具行进过程中, 由扶禾器将胡萝卜茎叶扶起, 同时挖掘铲在地下完成挖掘松土, 植株进入到夹持装置后被橡胶夹持带夹持拔起并向上输

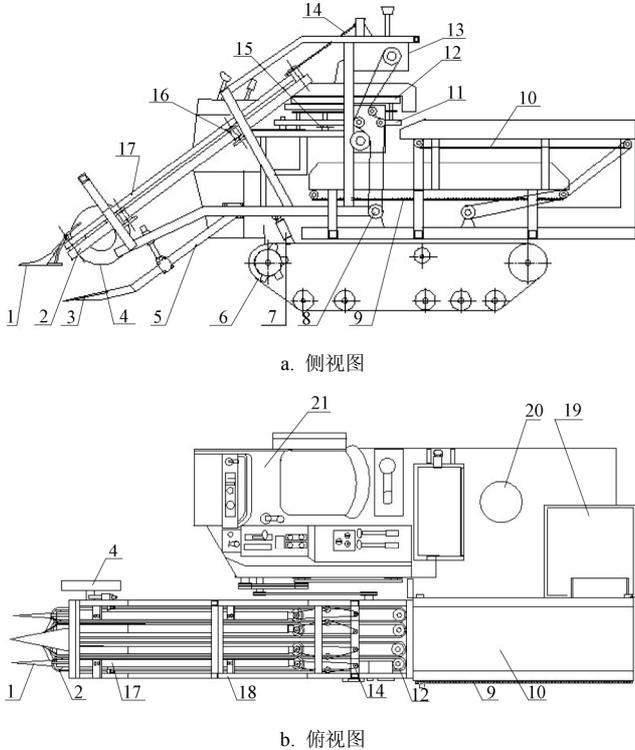
收稿日期: 2011-10-13 修订日期: 2012-05-23

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费(200903053), 国家自然科学基金(31101090), 青岛农业大学高层次人才科研基金(631002)

作者简介: 王家胜(1976-), 男, 山东沂源人, 讲师, 博士, 主要从事新型农业机械设计及系统动力学研究。青岛 青岛农业大学机电工程学院, 266109。Email: jiasheng0813@163.com

\*通信作者: 尚书旗(1958-), 教授, 博士生导师, 主要从事新型农业机械设计与性能试验的研究。青岛 青岛农业大学机电工程学院, 266109。Email: sqshang@qau.edu.cn

送，当植株被输送到一定高度后将转换到另一水平夹持带水平向后输送，在水平输送过程中，植株进入到双圆盘刀片组成的切割装置完成根叶分离，被切下的茎叶由传送带运走抛向地面，胡萝卜果实落到栅条式去土传送装置中去土，最后传送到集果箱，完成收获过程。



1. 扶禾器 2. 夹持传送带 3. 挖掘铲 4. 限深轮 5. 铲柄 6. 橡胶履带底盘 7. 液压升降缸 8. 主传动轴 9. 去土传送栅条 10. 叶蔓传输带 11. 下水平夹持传输带 12. 上水平夹持传输带 13. 锥齿轮箱 14. 传动链 15. 根叶切割装置 16. 张紧轮 17. 前纵梁 18. 机架 19. 集果箱 20. 坐凳 21. 履带动力底盘

图 2 胡萝卜联合收获机的结构图

Fig.2 Structural drawings of carrots combine

1.3 技术参数

根据胡萝卜的种植模式和农艺要求，整机主要技术参数如表 1 所示。机器动力行走系统采用 SR48 型稻麦收割机用橡胶履带式底盘。收获输送部件呈侧向配置。此配置方式的缺陷是对一侧作物只能单向收获，否则履带会碾压未收胡萝卜。这也是其它侧向配置根茎类收获机存在的问题。解决的方案是一区域两侧来回交替收获。这样可避免机器每个行程空行一次。

表 1 自走式双行胡萝卜联合收获机整机主要参数

Table1 Technical parameters of double-rows carrots combine

参数	数值
外形尺寸(长×宽×高)/mm×mm×mm	4260×1570×1830
输出功率(柴油机)/kW	35.3
输出转速(柴油机)/(r·min <sup>-1</sup> )	2700
行走速度/(m·s <sup>-1</sup> )	0~2.05
收获行数	2
适应行距/mm	200
挖掘深度/mm	0~350

2 关键工作部件结构及工作原理

2.1 传动系统

发动机输出轴动力与变速箱输入轴由皮带传送，采用一压轮的张紧摩擦力来控制皮带传动离合。变速箱一路输出通过三角带传递给行走装置，驱动橡胶履带实现机器的行进；另一路输出也通过三角带传递给工作主轴，主轴经四路输出分别将动力传递给夹持输送装置、切割装置、栅条输送装置、叶蔓抛送带等完成相应运动功能，具体传动系统配置如图 3 所示。工作主轴转速与行走速度关联，和变速箱的档位及无极变速有关。考虑到作业环境等因素，主轴以后的传动均采用链传动。由于夹持输送装置和切割装置的运动轴与主轴相交，为实现其运动功能，分别在相应位置设置锥齿轮传动来改变传动轴的方向。

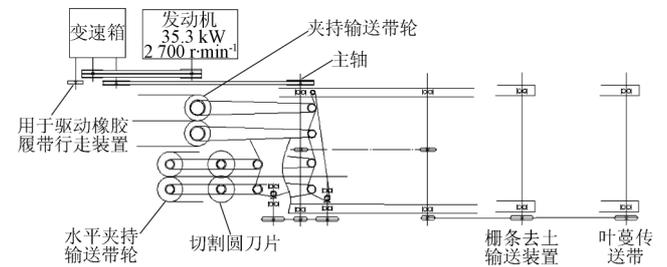


图 3 传动系统简图

Fig.3 Schematic of transmission system

2.2 挖掘装置

挖掘装置的主要作用是将生长在土壤中的胡萝卜铲松，为顺利夹持拔起植株创造条件。挖掘阻力是造成机器能耗的重要因素，影响挖掘阻力的因素主要包括挖掘铲的宽度、铲面触土面积、挖掘深度、入土角、行进速度等<sup>[13-19]</sup>。

2.2.1 挖掘铲结构参数的确定

根据胡萝卜的生长特点和机器的结构特点，在本装置中挖掘铲设计为平面单铲式，铲面呈两翼分开的三角状(图 4)，由于减小了铲面触土面积，可有效降低挖掘阻力。由于双行收获，挖掘铲需要一次铲松两行，为防止漏挖，铲面宽度需要覆盖大于 2 行的有效宽度。铲面宽度可按式计算

$$B=m+s+2\sigma+u \quad (1)$$

式中， $m$  为胡萝卜种植行距，mm； $s$  为胡萝卜平均分布宽度，mm； $\sigma$  为胡萝卜分布宽度标准差，mm； $u$  为机器行驶偏差，mm，取  $u=70$  mm。

胡萝卜种植行距  $m=200$  mm，经试验检测  $s=60$  mm， $\sigma=10$  mm，则铲面宽度为  $B=350$  mm。

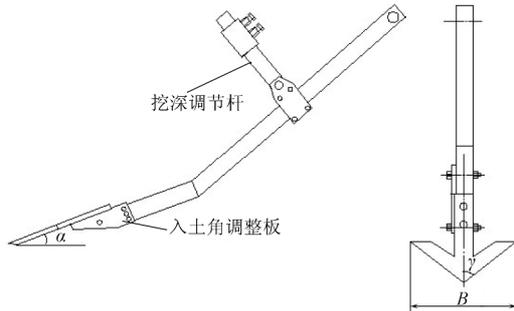
铲刃斜角  $\gamma$  是决定铲面结构的另一重要参数，为了使挖掘铲具有良好的切割性能，铲刃斜角的选择应满足如下关系式<sup>[13]</sup>

$$\gamma < 90^\circ - \varphi \quad (2)$$

式中， $\varphi$  为土壤对铲面的摩擦角，(°)。

减小铲刃斜角可提高铲的入土切削特性，但  $\gamma$  过小会

增加铲面长度, 这对挖掘装置的提升和降低挖掘阻力不利, 土壤对钢的摩擦系数  $\tan\phi=0.4\sim 0.7$ , 所以  $\gamma<55.1^\circ\sim 68.2^\circ$ , 在此取  $\gamma=55^\circ$ 。



注:  $\alpha$  为入土角, ( $^\circ$ );  $\gamma$  为入土角, ( $^\circ$ );  $B$  为铲面宽度, mm。

图4 挖掘装置

Fig.4 Digging device

### 2.2.2 挖掘装置工作参数的确定

挖掘铲的工作参数主要包括挖掘深度和入土角  $\alpha$ 。挖掘深度取决于胡萝卜的生长深度, 为避免铲伤根部, 挖掘深度需要大于胡萝卜的最大生长深度。胡萝卜生长深度一般在 200~300 mm 范围内, 本装置设有挖深调节杆 (图 4), 可针对不同胡萝卜品种调整合适挖掘深度。通过挖深调节杆可实现挖掘深度在 0~350 mm 范围内的连续调节。

铲面入土角的大小会影响挖掘铲的入土性能和挖掘阻力, 保证土壤在铲面上后移的条件是<sup>[13,19]</sup>

$$P \geq G \cdot \tan(\alpha + \phi) \quad (3)$$

式中,  $P$  为沿着铲面掘起土壤所需要的力, N;  $G$  为铲面上土壤的重力, N。

该关系式表明, 挖掘阻力  $P$  跟入土角  $\alpha$  和土壤对铲面摩擦角  $\phi$  成正切函数关系。降低入土角会降低挖掘阻力, 但入土角过小, 挖掘铲入土性能变差。由于不同品质的土壤影响着土壤对铲面摩擦角  $\phi$  的大小, 入土角还要考虑不同土壤类型的影响。理论分析及实践表明<sup>[14-19]</sup>, 入土角通常设置为  $20^\circ\sim 30^\circ$ 。为了适应不同类型土壤, 在挖掘臂与铲柄之间连接一入土角调整板 (图 4), 针对不同的土壤条件, 可以通过更换 3 个不同的孔连接调整入土角的大小, 3 个螺栓孔分别对应的入土角为  $20^\circ$ 、 $25^\circ$  和  $30^\circ$ 。

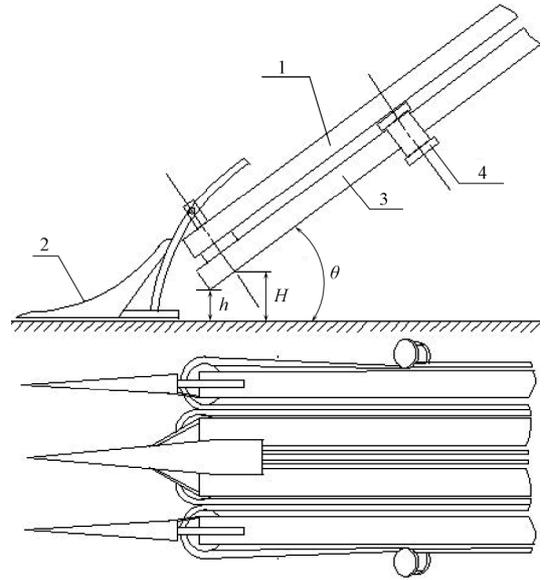
### 2.3 扶禾及夹持输送装置

扶禾及夹持输送装置 (图 5) 的主要功能是由扶禾器将收获行的胡萝卜茎叶扶起并导入到夹持机构, 在夹持带斜上运动所产生的拔起力的作用下将铲松的胡萝卜整株拔起, 并输送至切割装置完成根叶分离。工作过程中, 扶禾器贴近地面, 这样有利于将倒伏地面的茎叶扶起, 防止漏拔。在机架与输送带之间布置多个张紧轮, 以保证足够大且相对均匀的夹持力。

#### 2.3.1 夹持装置结构参数的确定

夹持输送带选用软橡胶材料的异型带, 这样能够将茎叶充分夹持的同时不会将其夹断。异型带内侧中间有一凸起带嵌入带轮轮面中间的沟槽中, 可防止工作中夹

持带脱落同时增大传动摩擦力。带的断面尺寸如图 6b 所示, 带宽为  $b=40$  mm, 带的厚度为  $c=8$  mm, 凸起带高  $e=8$  mm。

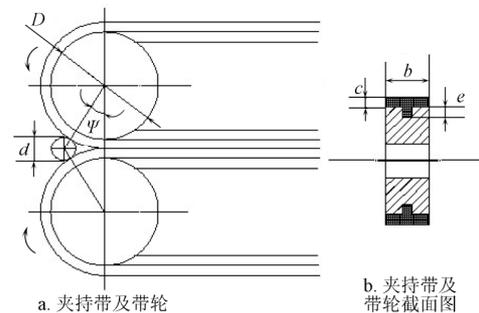


注:  $h$  为带轮前缘距地面高度, mm;  $H$  为夹持点离地面高度, mm;  $\theta$  为夹持带倾角, ( $^\circ$ )。

1. 机架 2. 扶禾器 3. 夹持输送带 4. 张紧轮

图5 扶禾及夹持输送装置

Fig.5 Schematic of lifting, clamping and conveying



注:  $D$  为带轮直径, mm;  $d$  为胡萝卜株叶直径, mm, 取  $d=10\sim 30$  mm;  $\psi$  为初始起角, ( $^\circ$ );  $b$  为夹持带宽, mm;  $c$  为夹持带厚度, mm;  $e$  为凸起带高, mm。

图6 夹持装置结构图

Fig.6 Structural drawing of clamping device

从理论上分析, 实现夹持的条件是胡萝卜茎叶与夹持带间的摩擦角  $\phi$  大于初始起角  $\psi$  (图 6-a)<sup>[20]</sup>

$$\phi > \psi = \arccos \frac{D+c}{D+c+d} \quad (4)$$

式中,  $\phi$  为胡萝卜茎叶与夹持带间摩擦角, ( $^\circ$ )。

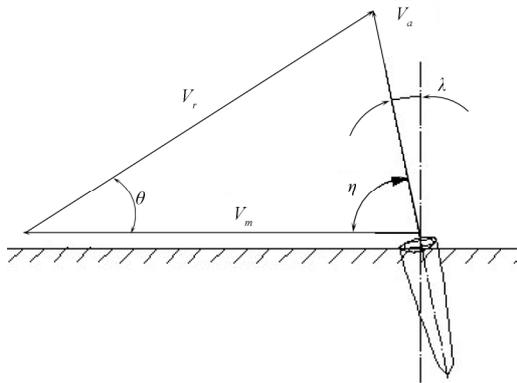
根据 (4) 式, 带轮直径越大, 则起角越小, 越有利于夹持。因此, 为了确保胡萝卜茎叶能够顺利导入夹持装置, 2 带轮的直径应设计的足够大。但带轮的间距受到行距的限制, 所以带轮直径的确定需要考虑结构空间的影响。综合以上因素, 并结合试验, 取夹持带轮直径为  $D=84$  mm。

#### 2.3.2 夹持装置工作参数的确定

胡萝卜茎叶被夹持后进行拔起的最佳条件是: 沿着

胡萝卜生长的轴心方向施加拔起力<sup>[20-22]</sup>。这样可以保障茎叶拔断率、根部损伤率以及施加的拔起力为最小。拔起力的方向与夹持输送带的绝对速度方向一致,可由机器行驶的速度、夹持带相对传送速度和夹持带倾角进行求解。由于作业主轴的转速与机器的行走速度是关联的,即夹持带的传送速度是随机器行进速度的变化而变化的,因此只需确定夹持带与机器行进速度的比例关系即可。

由于受挖掘铲推力作用,胡萝卜被拔起前会随土袋向前倾斜一个角度,胡萝卜轴心亦随之旋转一角度。则实现最佳拔取条件夹持带的绝对速度如图 7 所示。



注:  $V_a$  为夹持带绝对速度, m/s;  $V_r$  为夹持带传送速度, m/s;  $V_m$  为机器行驶速度, m/s;  $\lambda$  为胡萝卜前倾角度, ( $^\circ$ ), 取  $\lambda=5^\circ\sim 10^\circ$ ;  $\eta$  为绝对速度与行走速度夹角, ( $^\circ$ );  $\theta$  为夹持输送带的倾角, ( $^\circ$ )。

图 7 胡萝卜拔取示意图

Fig.7 Pulling up sketch of carrots

由正弦定理可得

$$\frac{V_r}{\sin \eta} = \frac{V_m}{\sin(180^\circ - \theta - \eta)} \quad (5)$$

由于

$$\eta + \lambda = 90^\circ \quad (6)$$

联立以上 2 式可得

$$V_r = \frac{\cos \lambda}{\cos(\theta - \lambda)} V_m \quad (7)$$

由上式可知,夹持输送带的倾角  $\theta$  会影响夹持带传送速度的取值,同时  $\theta$  的取值还要考虑整机结构的布置。综合以上因素,取  $\theta=40^\circ$ ,则  $V_r=(1.14\sim 1.21)V_m$ ,取  $V_r=1.2V_m$ 。此时夹持带传送速度既能达到最佳拔取方向又能大于机器行走速度,不至于夹持时发生堵塞。

夹持点离地面高度决定了对植株的夹持部位,根据胡萝卜茎叶的物理特性,夹持点越接近于根部,其抗拉强度越大,而且茎簇集中,有利于夹持。离地高度可由下式来确定(图 5)

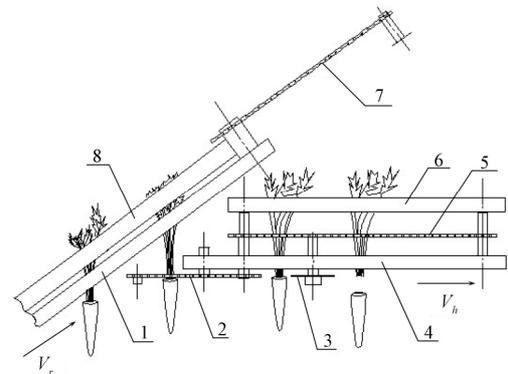
$$H = h + \frac{D+c}{2} \sin \theta \quad (8)$$

其中,  $h$  为夹持带轮前缘距地面高度,此高度的选择依据是确保因地面不平带轮前缘最低点不与地面干涉或碰伤胡萝卜,经过测量和反复试验取  $h=50\text{ mm}$ 。将带轮直径  $D$ 、夹持带厚度  $c$  和夹持带倾角  $\theta$  代入(8)式可获得夹

持点离地面高度  $H=80\text{ mm}$ 。

### 2.4 根叶分离切割装置

根叶分离切割装置是胡萝卜联合收获机的关键部件之一,它不仅要求实现根叶分离,同时要使切口整齐并尽量贴近根部。为保证切割质量,在该机具中通过一水平夹持输送装置将斜上输送转换为水平输送,这样有利于方便切割。由于胡萝卜拔起输送时,果实的顶部并没有对齐,在这种状态下经过刀具切割会导致根部残留的叶参差不齐,为了解决这个问题,在水平夹持带前设置一套具有一定间隙的辅助夹持链拉紧装置。如图 8 所示,植株首先进入链夹持装置后,在上输送带的作用下,植株会被向上拉动使得胡萝卜根部顶端贴紧夹持链的底部,达到根顶端对齐的目的;然后再进入水平夹持带,在其夹持运送下,经过旋转的双圆盘刀切割装置完成根叶分离。



注:  $V_r$  为斜夹持带传送速度, m/s;  $V_h$  为水平夹持带传送速度, m/s。

1. 夹持传送带 2. 水平夹持链 3. 圆盘刀 4. 水平夹持带 5. 传动链 6. 上水平夹持带 7. 传动链 8. 机架

图 8 根叶分离切割装置工作示意图

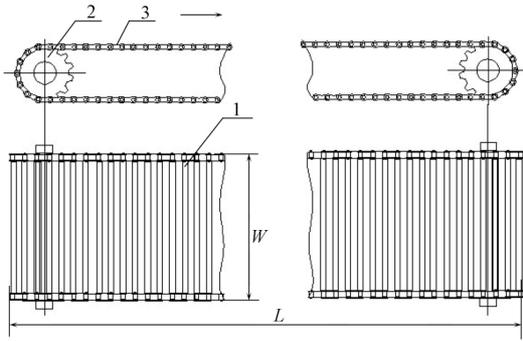
Fig.8 Working sketch of separating roots from leaves device

水平夹持带及带轮与倾斜夹持带及带轮的材料和结构相同。为了防止夹持转换时植株产生壅塞,水平夹持带的传送速度  $V_h$  应大于等于斜夹持带的传送速度  $V_r$ ,取  $V_h=1.1V_r$ 。

### 2.5 去土及集收装置

去土传送装置如图 9 所示,传送装置是由多根金属栅条组成,每根栅条分别固定在两侧的链条转轴上,由链传动带动并随链条绕链轮运转。根叶分离后,胡萝卜落到下面的传送栅条装置上,在向后传送的过程中,胡萝卜靠相互之间的摩擦以及机器本身产生的振动,杂土会经栅条缝隙间漏下,达到去土的目的。胡萝卜被运送到机器尾部之后,经过一侧倾斜滑道落入到集收筐中,完成作业过程。

栅格去土装置的设计准则是基于胡萝卜外形尺寸,在确保果实不下漏的前提下要充分去土、漏土。取金属栅条的直径为  $10\text{ mm}$ ,栅格缝宽  $15\text{ mm}$ ,2 栅格间距  $25\text{ mm}$ ;栅格输送长度为  $L=1\ 650\text{ mm}$ ,栅格去土装置的宽度为  $W=540\text{ mm}$ 。为了避免胡萝卜在栅格床上堆积而影响去土效果,栅条输送速度  $V_s$  应大于等于水平传送带速度  $V_h$ ,取  $V_s=1.1V_h$ 。



1. 传送栅条 2. 链轮 3. 传动链  
注:  $L$  为栅条去土装置长度, mm;  $W$  为栅条去土装置宽度, mm。  
图 9 去土传送装置

Fig.9 Device of removing soil and conveying

### 3 样机性能试验及分析

#### 3.1 试验条件及方法

试验地点选在潍坊寿光市胡萝卜生产基地, 胡萝卜品种为红映 2 号。经检测, 收获时气温  $30^{\circ}\text{C}$ , 田内土壤平均湿度 37%, 土壤类型为壤土。

每次试验收获距离为 20 m, 重复 3 次。分别记录每次试验所用时间, 胡萝卜总株数, 收获入筐的个数, 损伤个数等数据。

#### 3.2 试验结果及分析

根据试验数据经计算获得收获机的性能参数如表 2 所示。

表 2 胡萝卜联合收获机性能参数

Table 2 Performance parameters of carrot combine

收净率/%	损伤率/%	总损失率/%	生产率/( $\text{hm}^2\cdot\text{h}^{-1}$ )
98.2	2.5	4.3	0.11

通过田间样机试验表明, 机器收获较为流畅, 能够实现胡萝卜联合收获的各项作业功能。胡萝卜总损失率包含损伤率和漏收率。经观察分析, 2.5%的损伤率主要来自于挖掘铲对胡萝卜的铲断; 另外 1.8%漏收率则是由于夹持装置的漏拔导致胡萝卜被埋入地中。同时该样机在试验过程中还发现存在以下问题:

1) 由于挖掘铲工作深度通常设置较深, 这使得挖掘阻力比较大, 同时挖掘铲入土还不太稳定, 入土过程会导致切断部分胡萝卜, 是造成果实损伤率的重要原因之一。在后续的研究中, 需要深入分析挖掘机理, 重点优化挖掘铲的结构参数和工作参数, 或设计出新型的挖掘铲结构形式, 增强挖掘铲入土的稳定性的同时, 在保证挖掘质量的同时, 进一步降低挖掘阻力。

2) 植株根叶分离后, 由于结构空间狭窄及抛送带摩擦力不够大, 茎叶在抛送过程中容易造成堵塞, 需要人工不断辅助抛送。解决的措施是可将抛送带倾斜设计, 有利于茎叶倾卸, 同时在传送带上设置隔板, 可增大传送带摩擦力, 提高抛送能力。

### 4 结论

1) 结合国内胡萝卜种植模式, 研制出了自走式双行

胡萝卜联合收获机, 通过样机试验, 本机器实现了胡萝卜的挖掘、输送、根叶分离、去土、集收等功能, 收净率达到了 98.2%, 损伤率为 2.5%, 总损失率为 4.3% (包括损伤率和漏收率), 生产率为  $0.11 \text{ hm}^2/\text{h}$ 。

2) 挖掘铲设计为两翼分开的三角状, 减小了铲面触土面积, 可有效降低挖掘阻力; 设置了入土角调节机构和挖深调节杆, 可以针对不同类型土壤、不同胡萝卜品种实时调节入土角、挖掘深度等工作参数。

3) 根叶分离采用双圆盘刀切割装置, 在切割装置前通过一辅助夹持链并借助夹持带的拉紧力拉动植株使得胡萝卜跟端对齐, 保证了切口的整齐并贴近胡萝卜根部顶端。

#### [参 考 文 献]

- [1] 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 Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 58-61. (in Chinese with English abstract)
- [2] 吕金庆, 魏国静, 范志安, 等. 4U-2B 型马铃薯收获机的设计[J]. 农机化研究, 2007, (9): 87-88. Lü Jinqing, Wei Guojing, Fan Zhi an, et al. Design of 4U-2B potato harvester[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007, (9): 87-88. (in Chinese with English abstract)
- [3] Jozef K, Norbert L. The influence of working parameters of a carrot harvester on carrot root damage[J]. Maintenance and Reliability, 2011, 39(1): 35-41.
- [4] John W. Fresh vegetable harvesting[J]. ProQuest Agriculture Journals, 2003, 10(8): 7-8.
- [5] Waszkiewicz C, Lisowski A, Struzyk A, et al. The impact of harvester technical and operating parameters on selected energy indicators during carrot root harvesting[J]. Inżynieria Rolnicza, 2008, 99(1): 389-394.
- [6] Richard Wallace. Root-crop harvester with recirculation mechanism[P]. United States Patent: US7789166B2, 2010-09-07.
- [7] Kowalczyk J, Leszczyński N, Zarajczyk J. Analysis of the losses and damages of carrot roots harvested with a simon single-row harvester[J]. Inżynieria Rolnicza, 2001, 1(21): 141-145.
- [8] Maksimov L M, Maksimov P L, Myakishev A A. The separating device of a carrot harvesting combine[J]. Traktory i Selskokhozyaistvennye Mashiny, 2000, (12): 12-13.
- [9] 计福来, 胡良龙, 胡志超, 等. 胡萝卜种植及其收获机械[J]. 农业机械, 2008, (22): 43-45.
- [10] Touru Abe, Toshiyuki Kobuchi, Hisayoshi Tokunaga, et al. Harvester for root vegetables[P]. United States Patent: 5431231, 1995-07-11.
- [11] AbdEI-Gany M, EI-Sahhar E A, Mostafa M M, et al. A developed machine to harvest carrot crop[J]. Misr J Ag Eng, 2008, 25(4): 1163-1173.
- [12] 黄文禄, 林庆福. 一畦两行自走式胡萝卜收获机[J]. 福建农机, 2002, (2): 20.

- [13] 陈书法, 李耀明, 孙星钊. 花生联合收获机挖掘装置的设计研究[J]. 中国农机化, 2005, (1): 47—49.  
Chen Shufa, Li Yaoming, Sun Xingzhao. Research design on digging parts of peanut combine harvester[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2005, (1): 47—49. (in Chinese with English abstract)
- [14] 杨然兵, 李国莹, 尚书旗, 等. 机械化挖掘收获部件发展现状与展望[J]. 农机化研究, 2008, (9): 5—8.  
Yang Ranbing, Li Guoying, Shang Shuqi, et al. Research advances and prospects of mining mechanical harvesting parts[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, (9): 5—8. (in Chinese with English abstract)
- [15] 尚书旗, 李国莹, 杨然兵, 等. 4HQL-2 型全喂入花生联合收获机的研制[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6): 125—130.  
Shang Shuqi, Li Guoying, Yang Ranbing, et al. Development of 4HQL-2 type whole-feed peanut combine[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(6): 125—130. (in Chinese with English abstract)
- [16] 贾晶霞, 张东兴, 桑永英. 马铃薯挖掘铲计算机辅助分析与模拟试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 106—110.  
Jia Jingxia, Zhang Dongxing, Sang Yongying. Computer aided analysis and simulation experiment of potato digging blade[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 22(8): 106—110. (in Chinese with English abstract)
- [17] 胡志超, 彭宝良, 尹文庆, 等. 4HL2 型半喂入自走式花生联合收获机的研制[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 148—153.  
Hu Zhichao, Peng Baoliang, Yin Wenqing, et al. Design of 4HL2 type half-feed and self-propelled peanut combine[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(3): 148—153. (in Chinese with English abstract)
- [18] Wang Jiasheng, Yang Ranbing, Shang Shuqi. Analysis of influencing factors on operating resistance of machine-soil system[J]. Advanced Materials Research, 2012, 422(1): 596—600.
- [19] 陈书法, 李耀明, 孙星钊. 花生挖掘铲动力学分析与试验[J]. 农业机械学报, 2005, 36(11): 59—63.  
Chen Shufa, Li Yaoming, Sun Xingzhao. Dynamic performance analysis and experiment on peanut digging shovel[J]. Transactions of Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(11): 59—63. (in Chinese with English abstract)
- [20] 付威, 陈海涛, 王业成. 萝卜收获机的设计及管件部件仿真优化[J]. 农机化研究, 2008, (11): 101—103.  
Fu Wei, Chen Haitao, Wang Yecheng. The design of radish harvester and simulation optimization of key parts[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, (11): 101—103. (in Chinese with English abstract)
- [21] 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. Optimizing parameters on vibration breakshovel of radish harvester[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(11): 46—50. (in Chinese with English abstract)
- [22] 陈海涛, 任珂珂, 余嘉. 北方垄作萝卜物理力学特性[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 163—168.  
Chen Haitao, Ren Keke, Yu Jia. Physical and mechanical properties of ridging radishes in Northern China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(6): 163—168. (in Chinese with English abstract)

## Development and experiment of double-row self-propelled carrots combine

Wang Jiasheng, Shang Shuqi\*

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

**Abstract:** In order to improve the mechanization on carrots, a double-rows self-propelled carrots combine harvester was designed based on carrot planting pattern and agronomic requirements. The functions of the combine included digging, clamping and conveying, separating roots from leaves, removing soil and collecting carrots. The harvester was driven by a tracked chassis, and was mainly composed of transmission system, digging device, clamping and conveying device, separating device, removing soil and collecting device. The digging shovel was designed as triangle shape of two wings open so as to reduce the operating resistance. Before separating roots from leaves, carrot plants were conveyed into a drawing device to align the roots, and then transformed to a horizontal conveying belt and to be cut by double disc cutters. The prototype harvesting tests in field showed that carrots collecting rate was 98.2%; carrots damage rate was 2.5%; the productivity of combine reached 0.11 hm<sup>2</sup>/h. This research provides a reference for further research and development of carrot harvesters.

**Key words:** harvesters, transmissions, transportation, performance test, double rows, carrots