

# 振摇枸杞采收机设计与试验

张文强 张明明 张俊雄 李 伟  
(中国农业大学工学院, 北京 100083)

**摘要:** 目前我国枸杞采收仍然以人工采收为主,但人工采收存在效率低、成本高等问题。为此,根据枸杞挂果枝条的生长特性,分析了枸杞果实柄机械分离的条件,建立了果实脱落的动力学模型,设计了一种振摇枸杞采收机,并通过求解模型得出影响果实脱落的3个参数:振摇频率、振幅和指排间距。利用ADAMS对简化后的模型进行动力学仿真分析,通过检测果实柄惯性力的变化,确定了参数的取值范围。将采净率、采青率和损伤率作为采收效果评价指标,设置不同的参数进行正交试验,得出最佳参数组合为:振摇频率12 Hz、振幅40 mm和指排间距100 mm,在该条件下振摇枸杞采收机的采净率为93.52%,采青率为5.72%,损伤率为2.54%,满足对枸杞采收的质量要求,采收效率为485 g/min,是人工采摘效率的5.5倍。

**关键词:** 枸杞; 采收; 振摇; 结构设计; 正交试验

**中图分类号:** S225.93      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-1298(2018)07-0097-06

## Design and Experiment of Vibrating Wolfberry Harvester

ZHANG Wenqiang ZHANG Mingming ZHANG Junxiong LI Wei  
(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Chinese wolfberry is an excellent tonic, it has very good nourishing and treatment effect. Recent years, more and more people are beginning to recognize the value of wolfberry and the demand of wolfberry is increasing. At present, the main collection mode of Chinese wolfberry is still artificial picking, but the efficiency of artificial picking is low and the cost is high. Except for artificial picking, there are mainly two types of mechanical harvesting: comb type and vibration type. Through literature research, it was found that vibration type is more efficient and lower cost. Therefore, according to the growth characteristics of fruiting branches of Chinese wolfberry, the wolfberry fruit shedding condition was analyzed, the kinematic model of fruit abscission was established and a vibrating wolfberry harvester was designed. The parameters of device that affected the falling of fruit were vibration frequency, amplitude and finger spacing by solving the model through ADAMS. Then the orthogonal experiment was done by different vibration frequencies, different amplitudes and different finger spacings. The optimum combination of structural parameters was as follows: vibration frequency of 12 Hz, amplitude of 40 mm and finger spacing of 100 mm. Under this condition, the harvesting rate of ripe wolfberry was 93.52%, the harvesting rate of unripe wolfberry was 5.72%, and the damage rate of ripe wolfberry was 2.54%, the harvesting efficiency was 485 g/min and the harvesting efficiency of vibrating wolfberry harvester was about 5.5 times of artificial picking efficiency. Thus the vibrating wolfberry harvester can meet the quality requirements of farmers.

**Key words:** wolfberry; harvest; vibrating; structural design; orthogonal experiment

### 0 引言

枸杞的机械化采收方式可分为梳刷式和振动式<sup>[1]</sup>。梳刷式枸杞采收方法属于枸杞选择性、接触式采收方法。周兵等<sup>[2]</sup>设计了一种手持式枸杞采收机,利用柔性胶管环将枸杞果实分离。青海林丰

收稿日期: 2018-01-29 修回日期: 2018-03-29  
基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0701501)  
作者简介: 张文强(1984—),男,副教授,主要从事智能农机装备和仿生物制造研究,E-mail: zhangwq@cau.edu.cn  
通信作者: 张俊雄(1979—),男,副教授,主要从事计算机视觉和机器人技术研究,E-mail: mech18@cau.edu.cn

农牧机械制造有限公司<sup>[3]</sup>研制了一种梳刷式枸杞收获机,通过梳齿的转动将果实聚拢至收集区域并夹持住,使枸杞果实在梳齿的作用力下与果柄脱离。现有的梳刷采收方式易造成枸杞果实和枝叶的损伤,且常造成未成熟果实和花朵的误采,影响采收的效率和净度。振动式枸杞采收方法是一种基于果实果柄结合力差异原理的非接触枸杞采收方法,具有采收效率高的特点<sup>[4]</sup>。SO<sup>[5]</sup>针对韩国枸杞研制了一种能够带动枝条振荡的振动收获装置,采收效率是人工采收的4.2倍,但是由于枸杞生物学特性差异,该装置不适于宁夏枸杞的机械化采收。曹有龙<sup>[6]</sup>设计了一种手持式枸杞采摘器,基本原理是通过偏心机构对枝条产生振动,使枸杞果实做多次瞬时变向运动,当果实与果柄之间惯性力大于结合力时果实脱落从而实现采收,但该装置在工作过程中会对操作人员手臂产生强烈振动感,容易造成肌肉疲劳。在大型枸杞自动化采收装备研究方面,肖宏儒和徐丽明等<sup>[7-9]</sup>研究发现,现有的枸杞种植模式,由于枸杞枝条生长杂乱、长短不一、果实脆弱、行距窄,导致大型机具通过性低、作业效率低且枸杞的损伤率较高,只有推广农机农艺结合的枸杞种植新模式,大型枸杞采收机才有可能推广应用。

为解决现有种植模式下的枸杞采收问题,结合枸杞机械化采摘发展趋势<sup>[1]</sup>,本文设计一种振摇枸杞采收机,并建立枸杞采摘动力学模型,分析影响枸杞分离的主要参数。利用ADAMS对简化后的动力学模型进行仿真分析,得出各个参数的取值范围,并以这些参数为因素进行正交试验,得出最优参数组合。在此基础上,开展田间试验,验证其采摘效率。

1 整机结构与工作原理

1.1 整机结构

振摇枸杞采收机主要由手柄(内含直流电动机)、收集盒、齿轮传动箱、偏心轴、连杆、平移板和振摇指排组成,整机结构如图1所示。

振摇枸杞采收机由直流电动机驱动,通过齿轮传动箱改变传动方向,驱动偏心轴旋转,连杆连接偏心轴和平移板,平移板可沿滑动轨道直线滑动,偏心轴、连杆和平移板形成一曲柄滑块机构,将枝条放入振摇指排间,可振摇枝条。

振摇枸杞采收机主要技术参数见表1。

1.2 工作原理与过程

振摇枸杞采收机的采收原理如图2所示。采收过程中,手持电动机外壳手柄,将长有成熟枸杞的挂果枝条置于平移板上的振摇指排间,然后启动采收装置,枝条便在振摇指排的带动下做一定频率和振

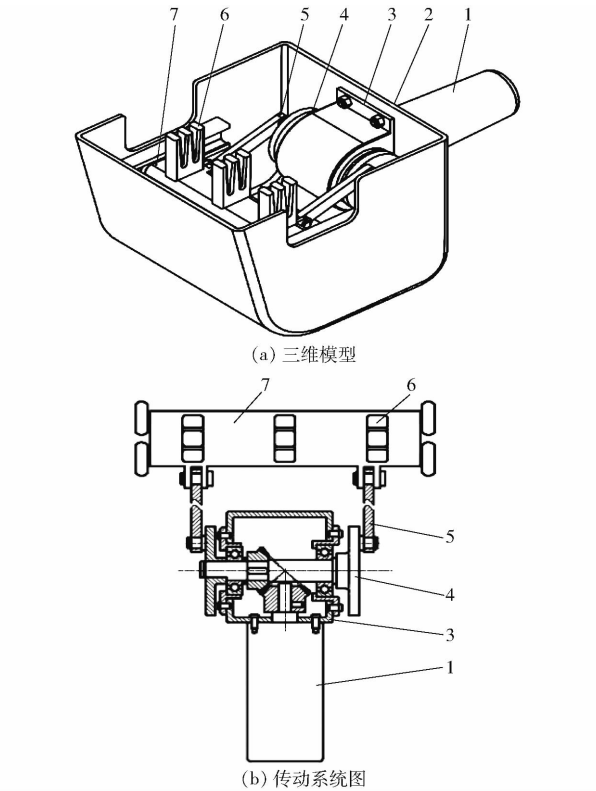


图1 振摇枸杞采收机结构图

Fig.1 Structure diagram of vibrating wolfberry harvester  
1.手柄(内含直流电动机) 2.收集盒 3.齿轮传动箱 4.偏心轴 5.连杆 6.振摇指排 7.平移板

| 表1 振摇枸杞采收机主要技术参数                                      |             |
|-------------------------------------------------------|-------------|
| Tab.1 Specifications of vibrating wolfberry harvester |             |
| 参数                                                    | 数值          |
| 长×宽×高/(mm×mm×mm)                                      | 180×300×150 |
| 质量/g                                                  | 524         |
| 最大功率/W                                                | 36          |
| 最大转矩/(N·m)                                            | 1.462       |
| 振动频率/Hz                                               | 0~15        |
| 电源电压/V                                                | 12          |
| 额定电流/A                                                | 3           |
| 枝条夹持直径范围/mm                                           | 0~4         |

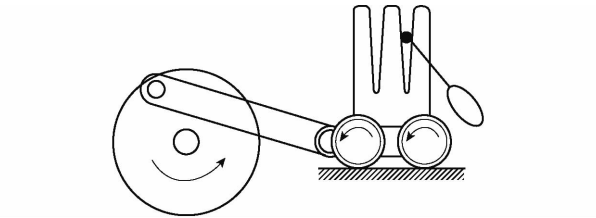


图2 振摇枸杞采收机采收原理图

Fig.2 Working principle diagram of vibrating wolfberry harvester

幅的晃动,枸杞果实在枝条的晃动过程中产生惯性力,当惯性力大于枸杞果实与果柄之间的结合力时,果实便会脱落掉入收集筐内,将振摇枸杞采收机沿枝条缓慢移动,便可对枝条其余部分采摘,最后对收集筐内的枸杞果实集中处理。

2 采收装置动力学模型

以偏心轮圆心为原点  $O$ ，水平方向为  $x$  轴，竖直方向为  $y$  轴，建立如图 3 所示坐标系，根据曲柄滑块运动规律可知，滑块的运动方程为

$$s = \sqrt{r_2^2 - r_1^2 \sin^2(\omega t)} - r_1 \cos(\omega t) - (r_2 - r_1) \quad (1)$$

对式(1)求导得其速度和加速度方程为

$$v = \frac{ds}{dt} = -\frac{r_1^2 \omega \cos(\omega t) \sin(\omega t)}{\sqrt{r_2^2 - r_1^2 \sin^2(\omega t)}} + r_1 \omega \sin(\omega t) \quad (2)$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{r_1^2 \omega^2 \cos(2\omega t)}{\sqrt{r_2^2 - r_1^2 \sin^2(\omega t)}} + \frac{r_1^4 \omega^2 \sin^2(2\omega t)}{4 \sqrt{(r_2^2 - r_1^2 \sin^2(\omega t))^3}} + r_1 \omega^2 \cos(\omega t) \quad (3)$$

- 式中  $r_1$ ——偏心轮半径，mm  
 $r_2$ ——连杆长度，mm  
 $\omega$ ——偏心轮角速度，rad/s  
 $t$ ——时间，s  
 $s$ ——滑块与原点的距离，mm  
 $v$ ——滑块运动速度，mm/s  
 $a$ ——滑块运动加速度，mm/s<sup>2</sup>

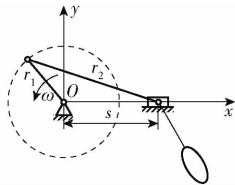


图 3 动力学模型  
Fig. 3 Dynamic model

由式(2)、(3)可知，连杆长度  $r_2$  对滑块速度和加速度影响较小<sup>[10]</sup>，结合振摇枸杞采收机外部尺寸，将连杆长度定为  $r_2 = 80$  mm。由牛顿第二定律  $F = ma$  可知，影响枸杞分离的主要因素为偏心轮角速度  $\omega$ 、偏心轮半径  $r_1$  和时间  $t$ ，分别对应振摇枸杞枝条的频率、振幅和时间。

在 4 ~ 15 Hz 范围内，大部分果枝存在一个共振频率<sup>[11]</sup>，为了确定振幅和频率的范围，利用 ADAMS 对简化后的动力学模型进行动力学仿真<sup>[12]</sup>。为了使仿真结果更接近实际，应先测量枸杞果实及果柄的相关物理特性和力学参数。测量品种为宁杞 1 号，树龄为 5 a。采用游标卡尺测量成熟枸杞的纵横径、果柄长度及直径，用高精度电子秤(广东长协电子科技有限公司，型号：20G，量程：0 ~ 20 g，精度：0.001 g)测量成熟枸杞果实及果柄的质量并间接计算出果柄的密度<sup>[13]</sup>，利用微型控制电子万能试验机(深圳市瑞格尔仪器有限公司，型号：RGT-0.2)测量果柄的弹性模量<sup>[12]</sup>，用推拉力计(乐清市艾德堡仪器有限公司，型号：HP-5，量程：0 ~ 5 N，精度：

0.001 N)测量成熟果实与果柄之间的结合力<sup>[14]</sup>。测量前选取 10 株枸杞树作为测量对象，每株枸杞树作为一个测量样本，利用上述方法得到 20 组试验数据，测量结果如表 2 所示。

表 2 成熟枸杞果实和果柄参数  
Tab. 2 Data of *Lycium batbarum* fruits and stems

| 参数                         | 数值          |
|----------------------------|-------------|
| 成熟枸杞单粒质量/g                 | 0.75        |
| 纵径/mm                      | 20.12       |
| 横径/mm                      | 9.56        |
| 果柄平均长度/mm                  | 22.15       |
| 果柄平均直径/mm                  | 2.08        |
| 果柄密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 0.91        |
| 果柄弹性模量/MPa                 | 121.42      |
| 成熟枸杞与果柄结合力/N               | 0.49 ~ 1.12 |

在 ADAMS 动力学分析软件中，将曲柄、连杆、滑块、枸杞果实视为刚体，将果柄视为柔性体。然后创建运动副，曲柄和大地之间为旋转副，连杆和曲柄之间为旋转副，曲柄和滑块之间为旋转副，滑块和果柄之间为球铰副，果柄和果实之间为固连副。设置材料参数并添加曲柄和大地之间的旋转驱动，将频率转换成对应的转速，振幅为曲柄半径的 2 倍，运行 ADAMS 仿真软件，检测果柄与果实之间的惯性力变化<sup>[15]</sup>。结果如图 4 所示。

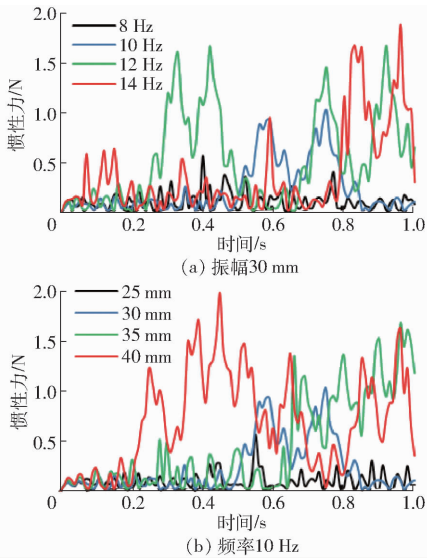


图 4 仿真试验结果

Fig. 4 Simulation curves of binding force changing

由图 4 仿真结果可知，当振摇频率在 8 ~ 14 Hz 时，振幅在 25 ~ 40 mm 时，枸杞果实和果柄之间最大惯性力达到 0.5 ~ 2 N，超过成熟枸杞果实果柄的结合力，此时能实现枸杞果实和果柄的有效分离<sup>[16]</sup>。但由图 4 可知，不同频率和振幅组合，果实与果柄之间惯性力超过结合力所需的时间不同。在工作过程中，振摇指排需沿着枝条移动，将枸杞果实

通过指排的时间视为果实柄惯性力变化的时间,可知指排间距越大,枝条受振动时间越长,果实与果柄之间惯性力超过结合力的可能性越大,且实际工作过程中振摇指排间距也会通过影响电动机转矩传递和果实与指排之间的碰撞间接影响采收效果,因此振摇指排的间距也是影响采收效果的结构参数之一。已知人握持振摇枸杞采收机沿枝条的移动速度一般为 50 ~ 200 mm/s,为了不影响采收效率,应尽可能使通过指排间的枸杞果实在 1 s 内被采收<sup>[17]</sup>,结合收集盒的外形尺寸,平移板上可布置 3 个振摇指排,因此指排间距应在 25 ~ 100 mm 范围内。

### 3 试验与结果分析

针对设计的振摇枸杞采收机,以采收机振摇频率、振幅和指排间距为试验因素,以采收后的采净率、采青率、损伤率为考察指标<sup>[18]</sup>,按照正交试验的方法,开展田间试验,研究各因素对采收效果影响的主次关系,确定最佳参数组合。

#### 3.1 试验条件和试验装置

试验时间:2017 年 7 月 15—20 日;试验地点:宁夏农林科学院枸杞研究所枸杞试验基地;试验采用的振摇枸杞采收机样机零部件加工和装配过程中,受加工条件的影响,对样机结构做了适当调整,最终样机如图 5 所示。试验选取平均树龄为 5 a 的宁杞 1 号树种。该树种为小灌木,株高 1.4 ~ 1.6 m,株冠直径 1.5 ~ 1.7 m,结果枝 160 ~ 285 条,枝形弧垂或斜生,枝长 36 ~ 54 cm,节间长 1.6 cm,着果距 4.2 ~ 6.8 cm,每节花果数 1 ~ 2 个。枸杞鲜果纵径 1.7 ~ 2.3 cm,横径 0.88 ~ 1.06 cm,鲜果千粒质量 505 ~ 908 g。

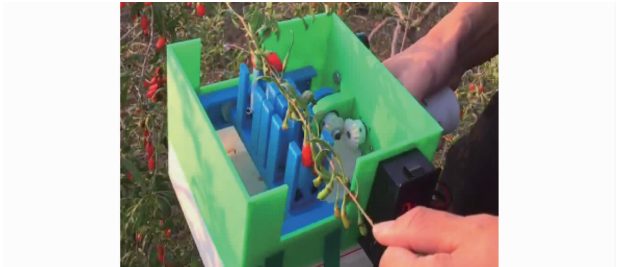


图 5 振摇枸杞采收机实物图

Fig. 5 Photo of vibrating wolfberry harvester

试验中选择枸杞采净率、采青率和损伤率为试验指标。采净率为

$$P = \frac{N}{M + N} \times 100\%$$

采青率

$$Q = \frac{S}{S + N} \times 100\%$$

损伤率

$$R = \frac{K}{N} \times 100\%$$

式中  $N$ ——采收下的成熟果实总数,个  
 $M$ ——未采收下的成熟果实总数,个  
 $S$ ——采收下的青果总数,个  
 $K$ ——采收的成熟果实中损伤个数,个

#### 3.2 试验方法

为了验证所设计的振摇枸杞采收机的实际工作效果,寻求最佳参数组合,对所选 3 个试验因素进行了三因素四水平正交试验,即选用正交表  $L_{16}(4^3)$  进行试验设计与分析,其因素与水平表如表 3 所示。其中振摇频率可利用激光光源转速表(深圳市驿生胜利科技有限公司,型号:DM6234,精度:0.1 r/min)测定偏心轮转速,再转换为振摇频率,振幅可通过调节偏心轴偏心距离得到<sup>[19]</sup>。根据前述分析可知,振摇频率范围为 8 ~ 14 Hz,振幅范围为 25 ~ 40 mm,指排间距范围为 25 ~ 100 mm<sup>[20]</sup>。试验结果如表 4 所示。 $A$ 、 $B$ 、 $C$  为因素水平值。

表 3 试验因素水平

Tab. 3 Experimental factors and levels

| 水平 | 因素    |       |         |
|----|-------|-------|---------|
|    | 频率/Hz | 振幅/mm | 指排间距/mm |
| 1  | 8     | 25    | 25      |
| 2  | 10    | 30    | 50      |
| 3  | 12    | 35    | 75      |
| 4  | 14    | 40    | 100     |

表 4 试验结果

Tab. 4 Test design scheme and results

| 试验<br>序号 | 因素 |   |   | 试验指标  |       |       |
|----------|----|---|---|-------|-------|-------|
|          | A  | B | C | 采净率/% | 采青率/% | 损伤率/% |
| 1        | 1  | 1 | 1 | 36.82 | 0.86  | 1.07  |
| 2        | 1  | 2 | 2 | 43.38 | 1.24  | 1.16  |
| 3        | 1  | 3 | 3 | 48.15 | 2.44  | 1.33  |
| 4        | 1  | 4 | 4 | 54.33 | 3.39  | 1.51  |
| 5        | 2  | 1 | 2 | 43.48 | 3.47  | 1.62  |
| 6        | 2  | 2 | 1 | 56.96 | 4.49  | 1.76  |
| 7        | 2  | 3 | 4 | 69.41 | 5.68  | 2.48  |
| 8        | 2  | 4 | 3 | 81.64 | 5.84  | 1.98  |
| 9        | 3  | 1 | 3 | 63.92 | 4.91  | 1.77  |
| 10       | 3  | 2 | 4 | 83.85 | 5.16  | 1.29  |
| 11       | 3  | 3 | 1 | 89.25 | 5.98  | 2.88  |
| 12       | 3  | 4 | 2 | 95.24 | 6.45  | 2.69  |
| 13       | 4  | 1 | 4 | 83.67 | 5.65  | 1.22  |
| 14       | 4  | 2 | 3 | 86.88 | 8.43  | 2.53  |
| 15       | 4  | 3 | 2 | 95.35 | 11.84 | 2.74  |
| 16       | 4  | 4 | 1 | 98.64 | 13.81 | 3.44  |

#### 3.3 试验结果分析

采收前后的枸杞枝条如图 6 所示,采收的枸杞果实实物如图 7 所示。振摇频率、振幅和指排间距各水平对采收效果指标的影响如表 4 和表 5 所示。

由表 5 可知,各考察因子的极差越大,说明该因子对试验指标的影响越大。这样确定了采净率、采青率和损伤率影响因素的主次关系。其中,振摇枸杞采收机的振幅和频率对采净率、采青率和损伤率均有显著影响。当频率和振幅增大时,枝条在振动过程中枸杞果实与果柄之间的惯性力也逐渐增大,从而可以使得枸杞果实更容易脱落,但是不可避免地也更容易造成未成熟果的脱落,且脱落后的枸杞果实运动速度也会相应的增大,增加了果实因碰撞造成机械损伤的几率。指排间距对采净率和采青率无显著影响,但对损伤率有较显著影响。当指排间距由 25 mm 增大到 100 mm 时,损伤率从 2.29% 减小至 1.63%。分析可知,采收过程中振摇指排会沿着枝条移动,增大指排间隙可以减小枸杞果实与指排接触的几率,从而降低果实因与指排碰撞而造成的机械损伤。但从总体来看,损伤率维持在 1.97% 左右,满足对枸杞的采收要求,由此可以看出振摇枸杞采收机解决了振动式采收带来的损伤率高的问题。

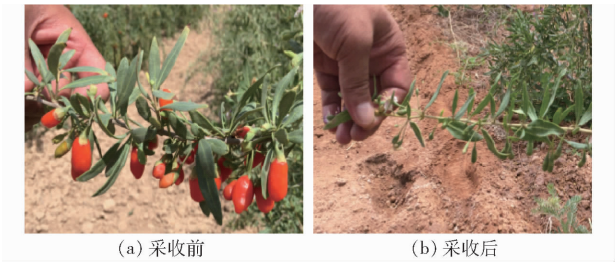


图 6 枸杞枝条采收前后对比

Fig. 6 Photo of before and after harvesting



图 7 收获的枸杞果实实物

Fig. 7 Photo of harvested wolfberry

综合各因素对采收效果的影响及其优化组合,按照采净率高、采青率低和损伤率低的原则,确定 $A_4B_4C_4$ 的较优组合,即振摇频率 14 Hz、振幅 40 mm、指排间距 100 mm。但由表 4 可知,当频率增至 12 Hz 时,已达到较高的采净率,如果再增大频率,采净率提升幅度不大,且会造成较高的采青率,同时频率过高,会造成振摇枸杞采收机整体的剧烈振动,容易引起操作人员的肌肉疲劳,因此可以在频率为 12 Hz 的基础上通过增大振幅来提升采净率。因此,最终确定较优组合为 $A_3B_4C_4$ ,经试验,在此条件下振摇枸杞采收机的采净率为 93.52%,采青率为 5.72%,损伤

率为 2.54%,满足农户对枸杞采收的质量要求。

表 5 正交试验结果极差分析

Tab. 5 Range analysis of orthogonal experiment results

| 试验指标 | A     | B     | C     |
|------|-------|-------|-------|
| 采净率  | $m_1$ | 45.67 | 56.97 |
|      | $m_2$ | 62.87 | 67.76 |
|      | $m_3$ | 83.06 | 75.76 |
|      | $m_4$ | 91.14 | 82.47 |
|      | 极差    | 45.47 | 25.50 |
| 采青率  | $m_1$ | 1.98  | 3.72  |
|      | $m_2$ | 4.87  | 4.83  |
|      | $m_3$ | 5.62  | 6.49  |
|      | $m_4$ | 9.93  | 7.37  |
|      | 极差    | 7.95  | 3.65  |
| 损伤率  | $m_1$ | 1.42  | 1.19  |
|      | $m_2$ | 1.69  | 1.65  |
|      | $m_3$ | 2.36  | 2.30  |
|      | $m_4$ | 2.41  | 2.53  |
|      | 极差    | 0.99  | 1.34  |

3.4 采摘效率试验

为了验证在该组合下振摇枸杞采收机的实际工作效果,并检验其相对于人工采收的优越性,开展了采摘效率对比试验。采摘效率是指单位时间内采摘成熟果实的质量<sup>[21]</sup>。为对比分析机采和人采效率比值,首先进行人工采摘试验,由 3 位技术娴熟的工人随机选择田间枸杞植株进行采摘,采摘时间为 5 min,人工采摘试验完毕后,进行机器采摘试验,将振摇枸杞采收机工作参数调为振摇频率 12 Hz,振幅 40 mm,指排间距 100 mm,在枸杞种植园随机选择若干棵树龄 5 a 以上的枸杞植株进行采摘试验,共计 3 次试验,每次试验持续时间为 5 min,试验后整理的试验数据见表 6。结果表明在参数组合为频率 12 Hz、振幅 40 mm、指排间距 100 mm 时,振摇枸杞采收装置采收效率是人工采摘效率的 5.5 倍。

表 6 采摘效率试验数据

Tab. 6 Test data of picking efficiency

| 参数                                            | 数值   |
|-----------------------------------------------|------|
| 人工平均采摘效率/( $\text{g} \cdot \text{min}^{-1}$ ) | 87.6 |
| 机器平均采摘效率/( $\text{g} \cdot \text{min}^{-1}$ ) | 485  |
| 机采人采效率比                                       | 5.5  |

4 结论

(1)为了解决振动式采收机器损伤率高的问题,设计了一种针对枸杞枝条的振摇枸杞采收机,主要由直流电动机、收集盒、齿轮传动箱、偏心轴、连杆、平移板和振摇指排组成。

(2)根据枸杞振动分离采摘原理,建立了枸杞

采摘动力学模型,得出振摇频率、振幅和指排间距是影响采收效果的主要影响因素,并通过 ADAMS 对简化后的模型进行仿真分析,确定了这些参数的取值范围。

(3)以采收后的枸杞采净率、采青率和损坏率为试验指标,以振摇频率、振幅和指排间距为试验因素对振摇枸杞采收机进行了三因素四水平正交试验,结果表明,振摇枸杞采收机能有效降低果实损伤

率,振幅和频率是影响采净率、采青率和损伤率的显著因素,指排间距是影响损伤率的显著因素。3个参数的最佳组合为:频率 12 Hz、振幅 40 mm 和指排间距 100 mm,在该组合条件下的采净率为 93.52%,采青率为 5.72%,损伤率为 2.54%,满足对枸杞采收的质量要求。并以该组合条件为基础,通过与人工采摘对比试验表明,振摇枸杞采收机采摘效率为 485 g/min,是人工采摘效率的 5.5 倍。

## 参 考 文 献

- 马嘉伟. 我国枸杞机械化采摘技术的现状及发展趋势[J]. 机械研究与应用,2017,30(4):151-153.  
MA Jiawei. Research status and prospect of the mechanized technology of picking wolfberry in China[J]. Mechanical Research & Application, 2017,30(4):151-153. (in Chinese)
- 周兵,何晶. 模拟手枸杞采摘机设计[J]. 农业工程学报,2010,26(13):13-17.  
ZHOU Bing, HE Jing. Design of simulate hand wolfberry picking machine[J]. Transactions of the CSAE, 2010,26(13):13-17. (in Chinese)
- 青海林丰农牧机械制造有限公司. 一种枸杞采摘机:CN204047215U[P]. 2014-12-31.
- 陈度,杜小强,王书茂,等. 振动式果品收获技术机理分析及研究进展[J]. 农业工程学报,2011,27(8):195-200.  
CHEN Du, DU Xiaoqiang, WANG Shumao, et al. Mechanism of vibratory fruit harvest and review of current advance[J]. Transactions of the CSAE, 2011,27(8):195-200. (in Chinese)
- SO J D. Vibratory harvesting machine for boxthorn (*Lycium Chinese Mill.*) berries[J]. Transactions of the ASABE,2003,46(2):211-221.
- 曹有龙. 枸杞采摘器:CN101946591A[P]. 2011-01-19.
- 农业部南京农业机械化研究所. 一种枸杞采收机:CN104206120A[P]. 2014-12-17.
- 张最,肖宏儒,丁文芹,等. 振动式枸杞采收机机理仿真分析与试验[J]. 农业工程学报,2015,31(10):20-28.  
ZHANG Zui, XIAO Hongru, DING Wenqin, et al. Mechanism simulation analysis and prototype experiment of *Lycium barbarum* harvest by vibration mode[J]. Transactions of the CSAE, 2015,31(10):20-28. (in Chinese)
- 徐丽明,张凯良,吴刚,等. 基于农机农艺融合的枸杞机械化栽培模式探讨[J]. 新疆农机化,2017(1):5-8.  
XU Liming, ZHANG Kailiang, WU Gang, et al. Wolfberry mechanized planting mode based integration between agricultural machinery and agronomic[J]. Xinjiang Agricultural Mechanization, 2017(1):5-8. (in Chinese)
- 何毅斌,胡荣博,刘慧,等. 基于 ADAMS 的曲柄滑块机构运动仿真研究[J]. 湖北工业大学学报,2014(4):40-42.  
HE Yibin, HU Rongbo, LIU Hui, et al. Motion simulation of slider crank based on ADAMS[J]. Journal of Hubei University of Technology, 2014(4):40-42. (in Chinese)
- 王业成,袁威,陈海涛,等. 便携式小浆果采收器[J]. 农业机械学报,2011,42(增刊):181-183,180.  
WANG Yecheng, YUAN Wei, CHEN Haitao, et al. Handy harvester for berry[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(Supp.):181-183,180. (in Chinese)
- 刘继展,唐善奇,单帅,等. 机器人采摘葡萄果穗振动仿真与试验[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(5):1-8. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=20160501&flag=1](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160501&flag=1). DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.05.001.  
LIU Jizhan, TANG Shanqi, SHAN Shuai, et al. Simulation and test of grape fruit cluster vibration for harvesting[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(5):1-8. (in Chinese)
- 鲍玉冬. 机械采收蓝莓振动特性及数值模拟研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2015.
- 张最. 振动式枸杞采摘机构的设计与试验[D]. 南京:农业部南京农业机械化研究所,2016.
- 李永强,杨学军,王俊,等. 基于 ADAMS 的酿酒葡萄植株受迫振动仿真研究[J]. 安徽农业科学,2015,43(27):220-224.  
LI Yongqiang, YANG Xuejun, WANG Jun, et al. Simulation of wine grape plants forced vibration based on ADAMS[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015,43(27):220-224. (in Chinese)
- 李成松,高振江,坎杂,等. 酿酒葡萄果-蒂振动分离试验[J]. 农业工程学报,2015,31(9):39-44.  
LI Chengsong, GAO Zhenjiang, KAN Za, et al. Experiment of fruit-pedicle vibration separation of wine grape[J]. Transactions of the CSAE, 2015,31(9):39-44. (in Chinese)
- 何苗,坎杂,李成松,等. 枸杞振动采收机理分析与试验[J]. 农业工程学报,2017,33(11):47-53.  
HE Miao, KAN Za, LI Chengsong, et al. Mechanism analysis and experiment on vibration harvesting of wolfberry[J]. Transactions of the CSAE, 2017,33(11):47-53. (in Chinese)
- 王长勤,许林云,周宏平,等. 偏心式林果振动采收机的研制与试验[J]. 农业工程学报,2012,28(16):10-16.  
WANG Changqin, XU Linyun, ZHOU Hongping, et al. Development and experiment of eccentric-type vibratory harvester for forest-fruits[J]. Transactions of the CSAE, 2012,28(16):10-16. (in Chinese)
- 耿效华,徐丽明,李超,等. 酿酒葡萄果实振动脱粒特性研究[J]. 农机化研究,2018,40(5):147-152.  
GENG Xiaohua, XU Liming, LI Chao, et al. Vibrating threshing performance of wine grape[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2018,40(5):147-152. (in Chinese)
- 付威,崔健,张慧明,等. 林果机械化采收技术研究及进展[J]. 农机化研究,2016,38(12):264-268.  
FU Wei, CUI Jian, ZHANG Huiming, et al. The research and development of mechanization harvesting technology for forest fruit[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016,38(12):264-268. (in Chinese)
- 耿雷,郭艳玲,王海滨. 高丛蓝莓采摘机采摘系统设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(3):67-74. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20160310&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160310&journal_id=jcsam). DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.03.010.  
GENG Lei, GUO Yanling, WANG Haibin. Picking system design and experiment for highbush blueberry picking machine[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(3):67-74. (in Chinese)