

# 一种通用轻简型块茎作物收获机的设计

闵航 焦龙军 林蜀云 刘春波 齐兴源

贵州省山地农业机械研究所, 贵州 贵阳 550002

**摘要:** 贵州块茎类作物品种多,除马铃薯外,种植规模化、机械化程度普遍不高,且贵州省耕地规模小、土壤黏性较重,北方平原地区主流的大型根茎类作物收获机难以推广应用。研制开发轻简型块茎作物收获机,对于推动贵州省块茎类作物产业的发展壮大具有重要意义。基于此,设计了一种液压驱动的通用轻简型块茎作物收获机,其主要结构为驱动组件、振动输送组件、机架、高秆粉碎组件等。该收获机质量轻,田间转移方便,适应性、可调性好,具有较高的市场价值。

**关键词:** 块茎作物;收获机;牵引式;液压驱动

**中图分类号:** S225.7

**DOI:** 10.3969/j.issn.2097-065X.2024.09.008

## 0 引言

贵州作为全国唯一没有平原的省份,地貌类型主要为山地、山原、丘陵。但是贵州垂直气候多样,具备适合多种作物生长的环境。目前,贵州块茎类作物种植面积约 100 万  $\text{hm}^2$ ,其中,马铃薯常年种植面积近 80 万  $\text{hm}^2$ <sup>[1]</sup>。近年来,甘薯、太子参、半夏等

**基金项目:** 科研机构创新能力建设专项资金(黔科合服企〔2023〕005号)

型的识别能力。同时,还需要关注模型在实际应用中的表现,及时调整模型的参数和结构,以提高识别的准确性和稳定性。此外,随着深度学习技术的不断发展,也可尝试引入新的算法和方法,对模型进行升级和改进,使其更好地适应设施农业草莓病害识别的需求。

设施农业草莓病害图像识别模型的应用与改进是一个持续的过程。通过不断优化模型性能,为农民提供更加准确、及时的病害防治建议,推动设施农业的发展,提高草莓的产量和品质。

## 5 结论与展望

设施农业草莓病害图像识别模型涵盖了数据收集、预处理、特征提取、模型训练与应用优化等多个环节。通过深度学习和图像处理技术,模型能够实现对于草莓病害的精准识别。随着深度学习技术的不断进步,可进一步引入更先进的网络结构和算法,提升模型的识别性能和稳定性。同时,融合多源信息,如温度、湿度等环境数据,进一步增强模型的预测能力,为农民提供更全面的病害防治建议。此外,将模型拓展应用于其他作物的病害识别领域,也是研究的重要方向。这不仅能够推动设施农业的智能化发

展,提高农业生产效率,还将为农业可持续发展贡献重要力量。总之,设施农业草莓病害图像识别模型设计具有广阔的应用前景和研究价值,值得持续关注和深入探索。

党的十九大提出乡村振兴战略,乡村振兴与产业振兴紧密联系,产业振兴与农业现代化紧密联系。农业机械化是农业现代化的重要标志之一,但贵州省综合机械化率远低于全国平均水平。因此,要全面推进乡村振兴,加快实现农业现代化,提高农业产

展,提高农业生产效率,还将为农业可持续发展贡献重要力量。总之,设施农业草莓病害图像识别模型设计具有广阔的应用前景和研究价值,值得持续关注和深入探索。

## 参考文献:

- [1] 安东. 基于图像识别的蔬菜大棚智能喷洒管理系统研究与设计[D]. 曲阜:曲阜师范大学,2019.
- [2] 景三革,油梅红. 智能化农业技术对农产品产量和质量的影响与评估[J]. 数字农业与智能农机,2024(1): 123-126.
- [3] 乔珠峰,赵秋菊,郭建鑫,等. 基于改进 YOLOv5 的草莓病害智能识别终端设计[J]. 中国农机化学报,2023, 45(3):205-211.
- [4] 丁成辉. 玉米叶片病虫害智能识别系统的开发与实现[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2020.
- [5] 张行星,张行钊,王莎,等. 基于深度学习的农作物病害识别方法研究[J]. 数字农业与智能农机,2024(2): 80-83.
- [6] 刘若愚. 桑树病虫害图像诊断系统设计与开发[D]. 杭州:杭州电子科技大学,2023.

**作者简介:** 王俊琦,男,1992年生,硕士,讲师。研究方向为自动化系统过程控制、图像识别、草莓病害。

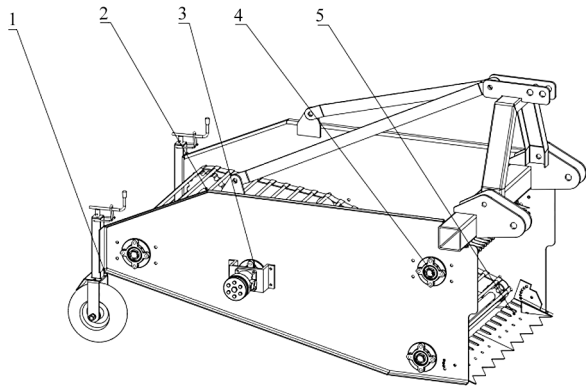
业机械化水平是重要任务之一。

针对贵州省丘陵山地特点,本文设计了一种液压驱动的通用轻筒型块茎类作物收获机,用于解决丘陵山地黏性土壤环境下的块茎类作物收获。

## 1 整机工作原理

### 1.1 整机结构

作物收获机总体结构示意图如图 1 所示,主要包括:支撑轮、单级升运链、驱动液压马达、上辅助装置(高秆杀秧装置)、可变角度挖掘铲等组件。工作时,首先由拖拉机为整个传动系统提供动力,通过万向联轴器将动力传送到输入轴,再由轴经过锥齿轮的换向和增速传动给二级增速带传动,再通过带传动将大带轮的动力传送到小带轮及粉碎刀轴,整体实现增速,进而进行粉碎秸秆还田作业。



1. 支撑轮 2. 单级升运链 3. 驱动液压马达  
4. 上辅助装置(高秆杀秧装置) 5. 可变角度挖掘铲

图 1 总体设计示意图

### 1.2 技术参数

作业幅宽:900 mm;配套功率:55 kW;机具尺寸(长×宽×高):1290 mm×1400 mm×696 mm。

## 2 关键部件设计

### 2.1 挖掘铲结构设计

#### 2.1.1 结构分析

挖掘铲是块茎作物收获机关键部件,其作用是把块茎作物和泥土一齐挖起,并把块茎作物和土壤送到振动筛上,挖掘铲的安装角度是影响挖掘效率与输送效果的重要参数之一,也决定了最终的收获质量。以水平面为参考,逆时针旋转角度,角度越小,作业深度越浅,且易造成马铃薯等作物损伤<sup>[3]</sup>;角度越大,所需牵引力越大,效率低,易损坏机具;合理设计挖掘铲角度,既能减少挖土量,保证挖掘深度稳定,又能起到一定的碎土作用。

如图 2 所示,挖掘铲结构参数主要包括滑切角  $\gamma$ ,挖掘铲倾角  $\alpha$ ,挖掘铲的长度  $L$ ,挖掘铲宽度  $B$ 。

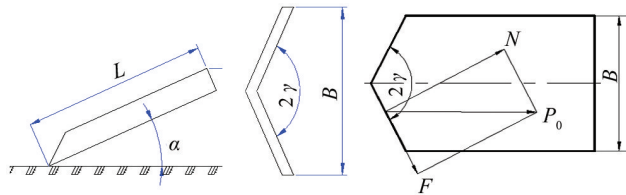


图 2 挖掘铲结构

#### 2.1.2 挖掘铲受力分析

挖掘铲受力分析如图 3 所示。

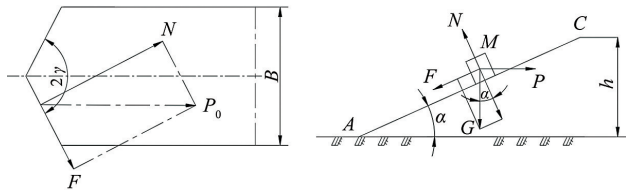


图 3 挖掘铲受力分析

(1)为了实现土堡运动,应满足:

$$P_{\sin}(90^{\circ}-\gamma)>F \quad (1)$$

式中, $P$  为挖掘阻力, $N$ ,一般认为与牵引力相等; $F$  为土壤对铲刃的摩擦力, $N$ ;  $\gamma$  为滑切角, $(^{\circ})$ ,滑切角过大,难以切断杂草,增大挖掘阻力,过小时挖掘铲同等宽度下,长度增加明显,也会增大阻力。

滑切角一般要求:

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

式中, $\varphi$  为摩擦角,要求其取值范围为 $[26.5^{\circ},35^{\circ}]^{[4]}$ ,因此得到 $55^{\circ}\leq\gamma\leq63.5^{\circ}$ ,由于本课题主要用于黏性土壤种植区,因此, $\gamma=60^{\circ}$ 。

(2)受力平衡分析:

$$P_1\cos\alpha-F-G\sin\alpha=0$$

$$N-G_1\cos\alpha-P_1\sin\alpha=0$$

$$F=N\mu=N\tan\varphi \quad (3)$$

式中, $P_1$  为挖掘阻力, $N$ ;  $N$  为铲对土壤的反作用力, $N$ ;  $G$  为铲面上土壤的重力, $N$ ;  $F$  为土壤对铲的摩擦力, $N$ ;  $\mu$  为摩擦因数, $\mu=\tan\varphi$ ,其中  $\varphi$  为摩擦角,要求其取值范围为 $[26.5^{\circ},35^{\circ}]$ 。

代入求得挖掘铲的倾斜角:

$$\alpha=\arctan\frac{P_1-fG}{fP_1+G}$$

根据经验, $\alpha$  一般应小于  $24^{\circ}$ ,为了兼顾整机尺寸其取值范围为 $[18^{\circ},24^{\circ}]$ ,本课题取  $20^{\circ}$ 。

进一步得到挖掘阻力:

$$P_1=G\tan(\alpha+\varphi) \quad (4)$$

(3)切割阻力:

$$P_2=KA \quad (5)$$

式中, $K$  为土壤比阻, $N/m^2$ ,取值范围一般为 $[16\,000,30\,000]N/m^3$ ,土壤黏性越重,比阻越大,本课题取  $25\,000\,N/m^2$ ;  $A$  为铲面上土壤横断面积, $m^2$ ,一般  $A=Bh$ ,即挖掘铲宽度和深度的积。

#### 2.1.3 挖掘铲结构设计

根据设计尺寸,总体宽度  $B=888\,mm$ ,挖掘角度可调,取为挖掘铲末端与地面高度  $h=52\,mm$ ,角

度为 20°。单体宽度为 111 mm，铲面长度为 180 mm，数量为 8，并设计为整体式一体铲，以提高安装效率。

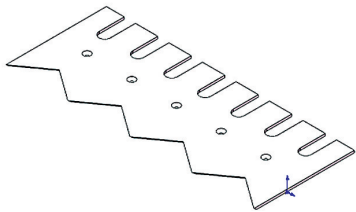


图 4 挖掘铲

2.2 输送链设计

块茎收获机输送链是用于脱土的关键部件。它由多个链环组成，每个链环上安装有搬运板，输送链输送过程中通过振动实现脱土作业<sup>[5]</sup>。收获机输送链由链环、搬运板、导向轮、驱动装置、张紧装置等组成。

2.2.1 输送链尺寸的确定

输送链的长度主要取决于土壤黏性，进而确定过筛时间。计算公式为：

$$L = vt \tag{6}$$

式中， $v$  为输送速度，m/s，一般在 1.0~2.2 m/s，本课题取 1.0 m/s； $t$  为过筛时间，s，主要根据土壤情况确定，土壤越黏重，所需过筛时间越长，根据经验一般在 1.3~2.0 s，本课题取 1.3 s。

进一步，确定输送链节距为 61.98 mm。

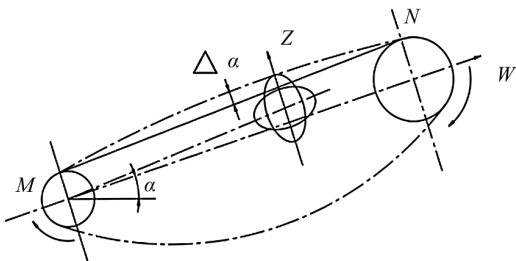


图 5 输送链

2.2.2 偏心块结构设计

偏心块是驱动输送链振动的主要部件，决定了收获作业脱土效果，为了保证过渡的流畅性，采用偏心圆结构。根据设计经验振幅取值为 25~35 mm<sup>[6]</sup>，本课题取 26 mm。

2.2.3 输送速度校核

(1) 根据偏心块尺寸，进一步确定最小输送速度：

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{gR}{1 - k^2}} \tag{7}$$

式中， $k$  为偏心比系数，一般取 0.5~0.7 效果最佳；考虑到块茎作物惯性大，为避免损伤，取  $k=0.51$ ； $R$  为最大偏心半径，已知为 53 mm。

式(7)中代入数据得  $v_{\min}=0.84$  m/s。

(2) 根据最大收获速度计算：

$$v_{\min}^2 = v \cos \alpha \tag{8}$$

式中， $\alpha$  为输送带倾斜角度，取 20°。

式(8)中代入数据得到： $v_{\min}=0.69$  m/s。

综上所述，设计合理。

2.2.4 托轮结构设计

为保证托轮和输送链间摩擦力，托轮采用橡胶材质，通过旋转实现对输送带的驱动。因此，根据输送链的节距确定：

$$n = \frac{60v}{ZL \times 10^{-3}} \tag{9}$$

其中，输送速度  $v$  取 1 m/s；节距  $L$  取 61.98 mm；齿数  $Z$  估取 8。代入数据计算出  $n=121$  r/min。

2.3 粉碎刀结构设计

粉碎刀主要作用是对块茎作物的秸秆进行粉碎，避免堵塞，参考杀秧机的作业转速一般在 1 000~2 000 r/min<sup>[7]</sup>；本课题根据块茎作物的高度，确定其结构如图 6 所示。考虑秸秆还田机作业时会触碰地面，因此本课题设计为硬刀，为减小阻力采用均布结构、减小安装尺寸，同时避免切碎的作物秸秆飞溅<sup>[8]</sup>，作业速度降至 600 r/min。

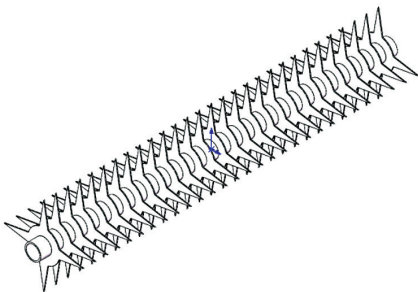


图 6 粉碎刀

2.4 机架结构设计及模态分析

2.4.1 机架结构设计

在保证作业要求的前提下，需要充分考虑刀具刚度，一般机架多为焊接成形，机架主要由悬挂架、护板、侧板等组成，本设计机架主体采用 Q235A 结构钢焊接成形，易损组件采用螺栓安装连接，便于拆卸更换，结构如图 7 所示。

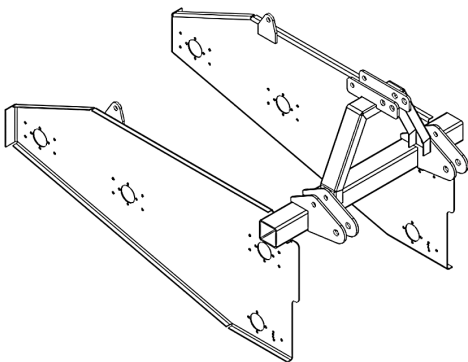


图 7 机架

2.4.2 基于 ANSYS 机架模态分析

由于块茎作物收获机采用偏心振动脱土方法，作

业速度高、载荷变化大,容易产生周期性振动,为了保证整机稳定性,需对机架进行模态分析<sup>[9]</sup>。在模态分析中,低阶模态所占权重最大,高阶模态能量占比较低,因此对该机架前 8 阶模态重点分析。分析结果见

表 1,其中,一阶为 2.657 3 Hz,二阶为 2.877 1 Hz,三阶为 6.695 2 Hz,四阶为 6.817 Hz,五阶 16.691 Hz,六阶 17.064 Hz,七阶为 27.173 Hz,八阶为 28.267 Hz,进一步,共振形变如图 8 所示。

表 1 固振频率

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8
频率(Hz)	2.657 3	2.877 1	6.695 2	6.817	16.691	17.064	27.173	28.267

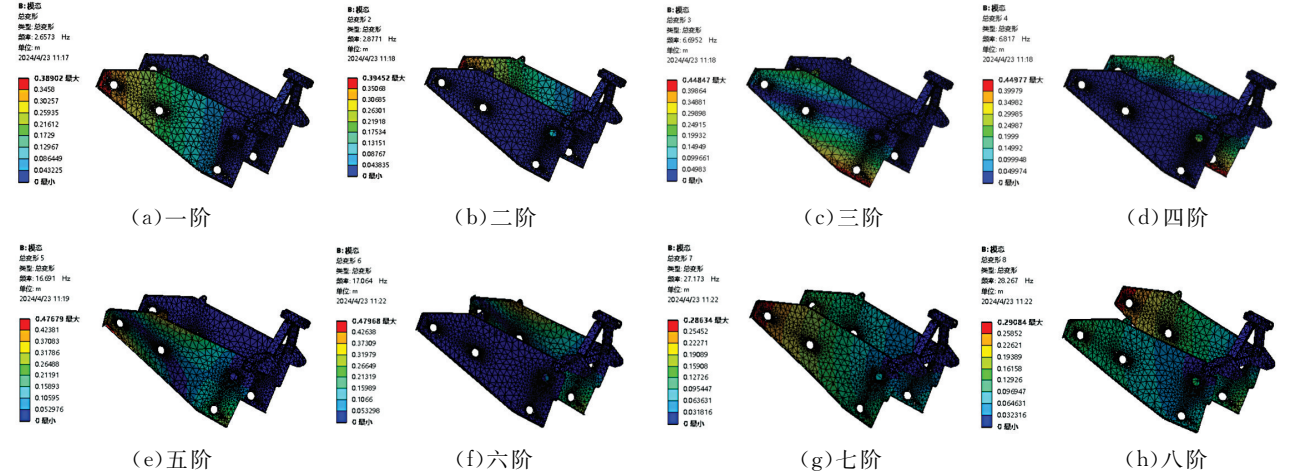


图 8 模态分析

2.5 驱动组件选型

2.5.1 驱动原理分析

液压系统原理如图 9 所示。

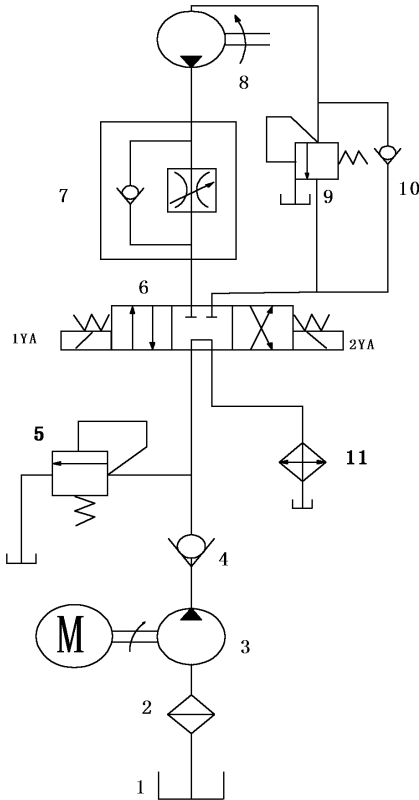


图 9 液压系统原理

拖拉机集成液压系统内的驱动液压马达 3 工作,液压油经过单向阀 4、三位四通电磁阀 6、调速阀 7 进入液压马达 8,驱动液压马达工作,从而驱动输送链和振动机构开始作业。为了保证调试方便,设置有调速阀对马达转速进行调速,溢流阀 5 对液压回路进行限压。为了保证整机稳定作业,设置风冷冷却器,冷却液压油。本课题只需要通过液压油油管接入机具即可。

2.5.2 液压功率估算

本课题设计的收获机以拖拉机为动力,液压系统驱动输送链并带动托轮完成振动作业。其驱动功率:

$$P_w = P_{w1} + P_{w2} \tag{10}$$

式中,  $P_{w1}$  为输送功率;  $P_{w2}$  为振动功率。

输送功率  $P_{w1}$  计算公式如下<sup>[9]</sup>:

$$P_{w1} = (F_{r1} + f_1 + f_2)v \tag{11}$$

式中,  $F_{r1}$  为驱动轮圆周力的反作用力, N, 计算公式为  $F_{r1} = v^{-1} Q \mu_1 B g \sin \varphi$ <sup>[10]</sup>;  $f_1$  为输送链与定位轮间的摩擦力, N, 计算公式为  $f_1 = \mu G_1 L$ ;  $f_2$  为物料与升运链间的摩擦力, N, 计算公式为  $f_2 = B L G_2$ 。

代入化简得到:

$$P_{w1} = Q \mu_1 B g \sin \varphi + \mu G_1 L v + B L G_2 v \tag{12}$$

式中,  $Q$  为喂入量,取值 100 kg/s;  $\mu_1$  为厚度波动系数,根据经验取 0.75;  $\mu$  为输送链与摩擦因数,根据经验取 0.3;  $B$  为输送链宽度,取 0.8 m;  $\varphi$  为输送链水平夹角,取 30°;  $v$  为输送速度,贵州土壤粘重,过筛时间应增长,设计速度为 1



m/s; $L$  为输送链长度,过筛时间应该保证在 1.5 s 以上,设计长度为 1.7 m; $G_1$  为升运链单位长度质量,实测 120 N/m<sup>2</sup>; $G_2$  为单位面积土薯混合物质量,实测 1.91 kN/m<sup>2</sup>。

式(12)中代入数据得到  $P_{w1}=2952.8\text{ W}\approx2.95\text{ kW}$ 。

振动功率计算公式如下:

$$P_{w2}=\frac{MAN^3(CA+fd)}{\eta\times1740480}\tag{13}$$

式中, $M$  为参振质量,取 178.64 kg; $A$  为振幅,m,根据上式可知为 0.025; $n$  为转速,r/min,根据经验取值为 300; $d$  为轴承内径,m,根据实际情况取 0.03; $C$  为阻尼系数,取 0.2; $f$  为滚动轴承摩擦因数,取 0.005; $\eta$  为传动效率,取 0.87。

式(13)中代入数据计算出  $P_{w2}=0.41\text{ kW}$ 。  
综上所述,可以求得输送功率  $P_w=3.36\text{ kW}$ 。  
已知转速  $n=121\text{ r/min}$ ,可求得扭矩  $T_w=265.19\text{ N}\cdot\text{m}$ 。

2.5.3 振动输送液压马达选型

已知驱动扭矩  $T_w=265.19\text{ N}\cdot\text{m}$ 。其排量计算公式为:

$$V_M=\frac{2\pi T_w}{p_1\eta_m}\tag{14}$$

式中, $p_1$  为进油压力,Pa,根据本课题的设计要求取 10 MPa; $\eta_m$  为传动效率,取 0.95。

由于 2.5.2 节已考虑液压效率,此处不再重复计算。代入数据得到:

$$\begin{aligned} V_M &= \frac{2\pi T_w}{p_1\eta_m} = \frac{2\times3.14\times265.19}{10\times10^5\times0.95}\text{ m}^3/\text{r} \\ &= 1.75\times10^{-3}\text{ m}^3/\text{r}=1.75\text{ L/r} \end{aligned}$$

综合考虑收获机工况,选择 BM2-50 液压马达,排量为 175 mL/r,工作转速为 100~800 r/min,额定扭矩  $T_w=1913\text{ N}\cdot\text{m}$ ;最大输出扭矩  $T_m=3057\text{ N}\cdot\text{m}$ 。

2.5.4 粉碎液压马达选型

为了提高通用性,采用同款液压马达即可,选择 M2-50 液压马达,其排量为 175 mL/r,工作转速为 100~800 r/min,额定扭矩: $T_w=1913\text{ N}\cdot\text{m}$ ;最大输出扭矩  $T_m=3057\text{ N}\cdot\text{m}$ ,完全可以满足设计要求。

3 结语

本课题设计的通用轻简型块茎作物结构紧凑,质量轻,田间转移方便,采用液压驱动,传动系统简

单,具有较高的适应性。通过数据验证和仿真分析,整机机架、挖掘铲、输送链等主要工作部件设计合理、可靠,对贵州多品种块茎作物采收垄具有较好的适应性<sup>[11]</sup>。当前,中大型根茎类收获机已经在北方平原砂型土壤地区得到了很好的推广应用,此种适宜于南方丘陵山地块茎作物的轻简化采收作业机具,具有较高的推广应用价值。

参考文献:

[1] 丁尚勇,林蜀云,周训谦,等.马铃薯收获机研究现状及贵州马铃薯收获机械化发展对策[J].南方农机,2022,53(9):54-57.  
[2] 余小兰,林蜀云,王太航,等.西南丘陵山区马铃薯机械化收获技术与装备研究进展[J].南方农业,2023,17(17):255-262.  
[3] 孙宁,史先磊,陈艳,等.基于 EDEM 的马铃薯挖掘装置设计与试验[J].农机化研究,2024,46(11):29-34,44.  
[4] Wang L H, Liu F, Wang Q, et al. Design of a spring-finger potato picker and an experimental study of its picking performance [J]. Agriculture, 2023, 13(5): 121-130.  
[5] 刘伟,谢守勇,李明生,等.轻型马铃薯收获机分离升运装置设计与试验[J].西南大学学报(自然科学版),2024,46(4):189-201.  
[6] 王兴欢,魏忠彩,苏国梁,等.马铃薯收获机扰动分离装置设计与试验[J].农业机械学报,2024,55(4):101-112.  
[7] 张梦月.芋头收获机的设计与试验[D].武汉:华中农业大学,2021.  
[8] 秦战强,刘仁鑫,陈立才,等.芋头收获机设计及仿真分析[J].中国农机化学报,2020,41(1):31-36.  
[9] 蒙建国,杨国欣,王亮,等.基于 TRIZ 理论的马铃薯联合收获机机架设计与分析 [J]. 内蒙古科技大学学报,2023,42(3):210-214.  
[10] 许宁,孟庆山,李学强,等.丘陵山区马铃薯低损联合收获机优化设计[J].农业装备与车辆工程,2023,61(12):7-11.  
[11] 王淑红,高爱民,孟养荣,等.马铃薯收获机现状及发展趋势[J].林业机械与木工设备,2023,51(8):12-16.

作者简介: 阚 航,男,1990 年生,硕士,工程师。研究方向为收获类农机具、农机农艺融合技术等。 焦龙军(通讯作者),男,1992 年生,农艺师。研究方向为农机农艺融合等。