

DOI: 10.13733/j.jcam.issn.2095-5553.2024.08.001

李斌, 杨星宇, 刘向新, 等. 核桃机械化收获装置研究现状与展望[J]. 中国农机化学报, 2024, 45(8): 01-07, 42

Li Bin, Yang Xingyu, Liu Xiangxin, et al. Research status and prospect of mechanized harvesting device for walnut [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2024, 45(8): 01-07, 42

# 核桃机械化收获装置研究现状与展望\*

李斌<sup>1</sup>, 杨星宇<sup>1, 2</sup>, 刘向新<sup>1</sup>, 高小龙<sup>1, 2</sup>

- 新疆农垦科学院机械装备研究所, 新疆石河子, 832000;
- 石河子大学机械电气工程学院, 新疆石河子, 832000)

**摘要:**核桃是我国重要的经济作物,其收获具有采收时间短、收获环境复杂等特点。随着近年来我国核桃产量的快速增长,现有的收获技术制约着核桃产业的发展,核桃机械化收获存在的问题逐渐凸显,核桃机械化收获体系亟需完善。国内外现有的核桃机械收获装置可分为分段式与采收一体式,通过总结核桃机械化收获装置的结构、特点以及工作原理,指明现阶段核桃机械化收获装置存在自动化水平不足、装置集成化程度低、地形适应能力不足、作业效果差等问题,并对核桃机械化收获装置未来的发展提出建议,为核桃机械化收获装置的改进与创新提供方向与思路。未来核桃收获机械的发展应全面面向自动化、智能化、集成化、拥有更强的适应性与可靠性,以满足不断发展的核桃产业的需求。

**关键词:**核桃;收获机械;自动化;智能化;集成化

**中图分类号:**S223.9 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-5553(2024)08-0001-08

## Research status and prospect of mechanized harvesting device for walnut

Li Bin<sup>1</sup>, Yang Xingyu<sup>1, 2</sup>, Liu Xiangxin<sup>1</sup>, Gao Xiaolong<sup>1, 2</sup>

- Machinery and Equipment Research Institute, Xinjiang Academy of Agricultural Reclamation Sciences, Shihezi, 832000, China;
- College of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi, 832000, China)

**Abstract:** Walnut is an important cash crop in China, its harvest is characterized by short harvesting time and complex harvest environment. With the rapid growth of walnut output in China in recent years, the existing harvest technology has gradually begun to limit the development of walnut industry, the problems of mechanized walnut harvest are gradually highlighted, and it is the general trend to improve the mechanized walnut harvest system. The existing mechanical harvesting devices of walnut at home and abroad can be divided into segmented and integrated harvesting devices. By summarizing the structure, characteristics and working principle of the mechanized harvesting device of walnut, it is pointed out that there are some problems in the mechanized harvesting device of walnut at this stage, such as insufficient automation level, low integration degree of the device, insufficient terrain adaptability and poor operation effect. Some suggestions are put forward for the future development of the mechanized harvesting device of walnut, and the direction and ideas are provided for the improvement and innovation of the mechanized harvesting device of walnut. In the future, the development of walnut harvesting machinery will be oriented to automation, intelligence, integration, with stronger adaptability and reliability, to meet the needs of the constantly developing walnut industry.

**Keywords:** walnut; harvesting machinery; automation; intelligence; integration

## 0 引言

我国的核桃产业在种植面积与产量方面均稳居世

界第一。近年来我国核桃产量增长迅速,从2015年的3 331.7 kt到2022年的6 241.5 kt,以平均每年415.7 kt的增速向上攀升。核桃种植企业数量也呈现出持续增

收稿日期:2023年3月29日 修回日期:2023年8月15日

\* 基金项目:新疆生产建设兵团重点领域科技攻关项目(2021AB001)

第一作者:李斌,男,1983年生,河南光山人,硕士,研究员;研究方向为农业机械设计。E-mail: bin175337620@sina.com

通讯作者:刘向新,男,1978年生,吉林大安人,硕士,研究员;研究方向为农业机械。E-mail: nkynjlx@163.com

长的态势,到2022年,全国注册的核桃种植企业数量已经超过7万家。由此可见,核桃已经成为我国重要的农业经济产物<sup>[1]</sup>。

核桃的成熟期一般为9月30日—10月10日<sup>[2]</sup>,提前收获会使得核桃不成熟,过晚收获会导致核桃患上疾病,造成其中营养物质的流失。核桃内的营养成分达到峰值后,随着时间的增加,口感、商用价值均会下降。核桃的适宜采收期短,只有根据核桃的不同用途在合适的时间段内迅速收获,才能使核桃的使用价值最大化。由于核桃树高大,种植地多为山地、丘陵复杂地形,且种植规模大,收获的时间难以把控,核桃的品质无法得到保障。而现有的核桃收获装置对地形适应能力差,不同的地形需要更换不同的收获装置,且自动化水平不足,收获机械在工作时对人的依赖程度大,此外,现有核桃收获机械在收获时,由于自身的冲击力,收获的核桃果实中往往含有大量的树叶与树枝。因此,发展自动化程度高、适应性强、功能完善、可靠性好的核桃收获装置尤为必要。

国外对林果类收获机械的研究起步较早,但对核桃收获装置的相关研究较少,主要是针对橄榄、开心果、柑橘以及杏子等果实的收获,并且已经形成了一套完整的采收体系。国外的先进收获装置由于其过大的体型以及高昂的成本,并不适宜在我国复杂的种植地形使用与普及。通过学习和借鉴,我国研发的体型多样、工作形式多样,具有针对性的核桃收获装置更能适应多样化的种植环境,但在收获装置功能的完整性、自动化程度、智能化程度以及工作效果等方面,现有的收获装置仍有较大的进步空间。

目前国内外的核桃机械收获装置种类较多,大体上可以分为核桃分段式收获装置和采收一体化装置。分别总结分析其研究现状及相关特点,介绍目前这些收获装备的相关特点与工作原理,以期为核桃收获装置的改进与创新提供方向与思路。

## 1 分段式核桃收获装置结构及特点

### 1.1 振动式核桃采摘装置

振动式核桃采摘机主要包括动力源装置、液压控制装置、传递系统以及振动执行装置等<sup>[3]</sup>,一般通过机械式装置产生一定频率的振动使得核桃获得向下的加速度,突破果柄的束缚从而实现采摘。采摘装置根据振动位置的不同分为树干振动式、树冠振动式以及树枝振动式。常用的激振装置有曲柄连杆机构、曲柄滑块机构、曲柄摇杆机构以及由偏心块构成的偏心振动机构。

树冠振动式核桃采摘装置主要由液压马达、联轴

器、机架、曲轴主轴、曲柄滑块总成等组成,如图1所示。工作时与装载机配合,使采摘装置靠近树冠,液压马达输送的动力带动曲柄滑块机构做往复运动,使得拨杆圆盘旋转,圆盘上的拨杆不断击打树冠让核桃产生的惯性力能够摆脱果柄的约束而掉落。该机结构简单、采收效率高,并且其拨杆的布置形式使得该机对树枝具有一定的梳理效果,能降低对树枝的损伤。

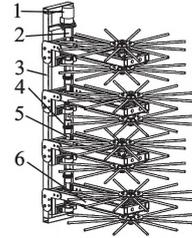


图1 树冠振动式采摘装置结构图

Fig. 1 Structure diagram of the tree crown vibration picking device

1. 液压马达 2. 联轴器 3. 机架 4. 链式联轴器
5. 曲轴主轴 6. 曲柄滑块总成

邹志勇等<sup>[4]</sup>设计了一款树干振动式核桃采摘装置,如图2所示。该装置由夹持臂、夹持液压缸、振动偏心块等构成。夹持臂由液压缸驱动,工作时液压缸提供的动力带动最前方的夹持臂向中心收拢夹持住树干,随后由液压马达驱动的偏心块旋转,激振力由偏心块传递到前方的夹持臂中使其产生振动,树上的核桃受到振动后产生加速度,从而从树上脱落。该装置夹持臂以及其他部位分别装有缓冲弹簧与减振弹簧,因此无论是对果树还是对人体,装置振动产生的损害都比较小。该机的振动装置由6块偏心块组合而成,能够通过不同的组合实现各个方向的振动,更有利于灵活方便地调节振动频率,以适应不同林果的采摘需求。

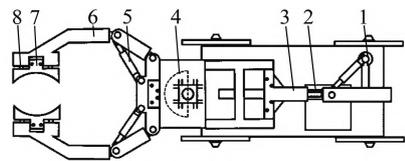


图2 树干振动式采摘装置结构图

Fig. 2 Structure diagram of tree trunk vibration picking device

1. 旋转液缸 2. 伸缩液缸 3. 前后伸缩支架 4. 偏心块
5. 夹持液压缸 6. 夹持臂 7. 橡胶前爪 8. 小缓冲弹簧

2021年,李赞松等<sup>[5]</sup>设计了一款手动与自动结合的振动式核桃采摘机,如图3所示。工作时,采摘高度由工作人员依据果树进行调节,汽油机开启后,法兰座在减速机的驱使下向下移动,连接在法兰座和采摘头的钢丝拉动采摘头,使其夹紧树枝。行程开关触头安装在动夹紧头上,当夹子与树枝接触后,挤压开关,将信号传递给控制器,直流减速电机接收到控制器传递出的反馈信号后,逐渐降低转速至旋转停止。这一过程结束后,夹持动作完成。下一步需要人工调节汽油

机转速,使其提供足够的动力给偏心机构产生振动,实现果实的采摘,这一过程主要通过离合器传递动力。当机构开始振动,安装于采摘头后端的频率传感器便会将频率信号传递给控制器,这使得控制器可依据程序,改变汽油机转速,对不合适的频率进行调节。该机构体型小,效率高,适应性强,自动化水平高,但对树枝的损伤大。对于树体本身的损伤没有进行深层分析,振动幅度和时间都是需要进一步考虑的因素。

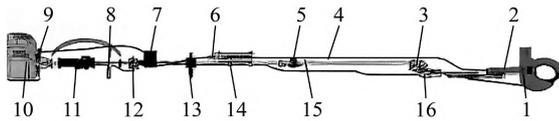


图3 手自一体式山核桃采摘机示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the hand-self-integrated pecan picker

1. 采摘头 2. 频率传感器 3. 传动换向机构 4. 钢丝拉线
5. 快接头 6. 直流减速电机 7. Arduino控制器 8. 电源采摘头
9. 舵机频率传感器 10. 汽油机 11. 按压式转速调节器
12. 组合开关 13. 手柄 14. 丝杆机构 15. 伸缩杆 16. 偏心轮机构

## 1.2 剪切式核桃采摘装置

电力驱动的旋切式核桃采摘装置如图4所示。该装置在正式工作之前需要人为固定装置的位置,通过伸缩杆将装置调节到合适的高度。该机由蓄电池提供能源,电能通过导线传输到直流电机,使电机以一定的转速转动。进而带动与电机相连的刀片旋转,实现对核桃的切割。工作中,刀片的转速可以借助安装在杆上的驱动器进行调节。该装置的优点是采摘效率高,只需5 min左右就能完成一颗果树的采摘,并且结构简单、操作方便,拆卸后容易携带,能适应环境复杂的山地作业。缺点是工作中刀片的旋转和电机的振动将对果树带来较大的损坏,影响果树的寿命和后续的生长发育。

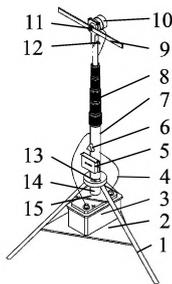


图4 电动旋切式核桃采摘机构

Fig. 4 Electric rotary cutting walnut picking mechanism

1. 三角机架 2. 下支撑板 3. 24 V直流蓄电池 4. 导线
5. 直流无刷驱动器 6. 电源开关 7. 伸缩杆 8. 调节锁紧套头
9. 叶片式刀片 10. 24 V直流无刷电机 11. 固定板
12. 紧固螺钉 13. 锁紧垫圈 14. 支撑杆 15. 上支撑板

2020年,吴聪等<sup>[6]</sup>针对核桃采摘机适应性不强的问题,设计了如图5所示的一种简易的旋切式核桃采摘机,主要由伸缩装置、切割装置和电动机组成。为了方便在不同环境下使用,选择蓄电池作为动力源。为满足

伸缩杆伸长时的韧性和强度,其材料为碳素钢。刀具是主要的工作部件,需具备高硬度、高强度的特点。而钢材中含有的钨元素越多,硬度越大,因此刀具材料选用的是含钨量最多的W18Cr4V。作业时,旋转机构带动采摘刀具对树上的核桃进行旋转切割。该机结构比较简单,适用性比较强,经济且实惠,工作时运行噪音小,易于操控,能在核桃较难采摘的地区发挥良好的作用。但高速旋转中的刀片易对树枝造成永久性的损伤。

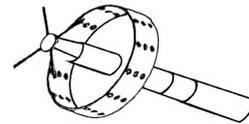


图5 旋切式核桃采摘机械

Fig. 5 Rotary cutting walnut picking machine

## 1.3 拍打式核桃采摘装置

2017年,曹成茂等<sup>[7]</sup>依据核桃摆脱果柄的约束力的试验结果研制了一种模仿人工作业时持棍击打树枝的便携式拍打机构,如图6所示。该机构主要由汽油机、软轴、传动轴、控制装置、采摘杆以及拍打杆组成。作业时,偏心轮利用传动轴与软轴从汽油机传递来的动力带动拍打机构工作,核桃在被拍打中产生大于果柄约束力的惯性力,进而从果树上脱落。这款核桃采收机型小,效率高,对果树的高度适应性强,可以利用快接头连接两根采摘杆进行高度调节,适用矮密种植条件下核桃的采摘。

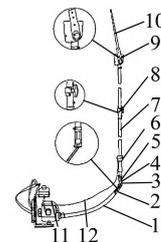


图6 仿人工拍打高空便携式山核桃采摘装置结构示意图

Fig. 6 Schematic diagram of the portable pecan picking device with artificial beating

1. 橡胶管 2. 钢丝软轴 3. 方形联轴器 4. 连接套 5. 传动轴
6. 油门控制装置 7. 采摘杆 8. 快接头 9. 拍打机构
10. 杆 11. 动力源 12. 控制线

同年还研发了一款便于进入山地、丘陵进行采摘的拍打装置,如图7所示。该装置采用柔性设计,避免了在工作过程中对树体造成的破坏。整个装置主要的部件有伸缩装置、电机驱动装置、调速机构和采打机构。该装置在工作时由锂电池提供能源,通过缠绕在杆架上的电线为微型直流驱动电机供电,使采打机构做旋转运动,从而将机构附近的核桃击落。人工改变伸缩装置的长度之后可实现10 m以上高度的采摘,能够很好适应高大树木的采摘。

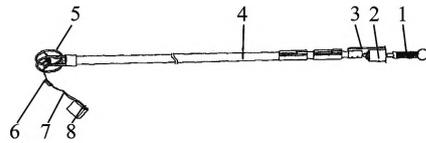


图7 便携式拍打装置

Fig. 7 Portable flap device

1. 采打机构
2. 微型直流电机
3. 固定支架
4. 伸缩杆
5. 线架
6. 调速机构
7. 过流保护装置
8. 电源

核桃采摘装置的具体形式及优缺点如表1所示。这些采摘装置虽然都有一定的不足,但它们的出现改变了传统人工高空采摘作业成本高、难度大、效率低、环境差、危险大的问题,提高了核桃采摘的机械化水平,为进一步实现装备技术的升级提供条件。

表1 各类核桃采摘装置的工作原理及特点

Tab. 1 Working principle and characteristics of various walnut picking devices

采摘装置	工作原理	特点
振动式采摘装置	通过振动装置产生一定频率的振动,使得核桃获得向下的加速度,从而摆脱果柄束缚	效率高,采摘效果好,适应性强。但产生的频率把控不好容易与人体以及果树产生共振,对果树及操作人员的身体有一定的损害
拍打式采摘装置	模拟人工手持棍棒拍打果树的动作击落果树果实	对果树友好,不会对其产生较大损伤,但其作业效率较振动式采摘装置略低,并且在工作过程中易产生较大的噪声
剪切式采摘装置	利用刀具将果实与树枝的连接处切断	作业效率高,结构简单,工作噪声小,但刀具工作时易对果树造成永久性伤害,影响果树寿命及产果效率

#### 1.4 收集装置

牛长河等<sup>[8]</sup>针对新疆矮密种植环境设计的一款倒伞状果实收集装置,如图8所示。该机可用来收集枣、杏、李子以及核桃等。主要由机架、果实收集篷布、导向杆、转动杆、行走轮以及果实收集箱组成。工作时由人工推动机具前进,在导向杆的引导下使树干靠近转动杆支架中心。之后人为拉动转动杆使收集篷布由向前折叠聚拢的状态向后展开,从而形成V型的收集面。通过手持振动收集装置或者拍打装置让果实掉落至收集面。果实在重力的作用下顺着篷布进入收集箱。收集面直径为3 m,能有效的对树冠投影面进行覆盖,降低了漏果率。该装置结构简单、操作方便、成本低、效率高。使用该装置作业能将资金成本控制在人工作业所需资金成本的50%以下。在效率方面能达到人工作业的6倍。缺点是该装置属于纯机械结构,自动化程度低,收集过程的每一步骤都对人工有较大依赖。

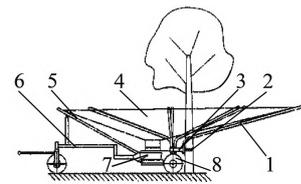


图8 可移动收集装置

Fig. 8 Removable collection device

1. 转动杆
2. 导向杆
3. 转动杆支架
4. 果实收集篷布
5. 固定杆
6. 机架
7. 果实收集箱
8. 行走轮

杜小强等<sup>[9]</sup>提出了一种小型侧翼折展式林果收集装置,如图9所示。该装置主要机构为移动合拢机构、升降机构、侧翼折展机构。工作时通过移动合拢机构底部的万向轮对整个装置进行移动与定位。升降机构是在步进电机的驱动下运作的,电机的动力传递给丝杠,丝杠带动螺母旋转,最终实现装置的升降。平行四杆机构的合拢与展开是侧翼折展机构的主要工作原理,侧翼折展机构通过平行四杆机构实现整个装置的张合。通过三种机构间的配合,在果实自身重力的作用下,果实向布置在折展机构表面帆布的中心滑落,从而实现统一收集。该机构适应性强、可靠性好、对空间的利用程度高,对种植在崎岖山地的果树具有巨大的实用价值。但是该装置的帆布所占面积较大,对采摘装置的尺寸大小与有效作业距离有一定要求,因此工作时需选取合适的采摘设备。

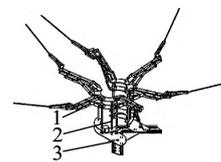


图9 折展式收集装置

Fig. 9 Exhibition-type collection device

1. 侧翼折展机构
2. 升降机构
3. 移动合拢机构

国外的收集装置起步较早,1974年,Sumner等<sup>[10]</sup>发明了一种自走式山核桃收获机,具体结构如图10所示。

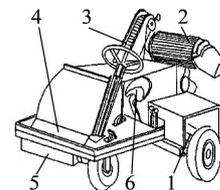


图10 自走式山核桃收集装置

Fig. 10 Self-walking pecan collection device

1. 杂质出口
2. 输送辊
3. 输送带
4. 拾捡装置
5. 钢板
6. 驾驶台

其主要由拾捡装置、输送装置、振动除杂装置组成。前方的拾捡辊上设置有许多安装孔,以便将弹性钢齿和橡胶齿的安装。为了确保减少拾捡辊与核桃之间的刚性碰撞同时维持拾捡辊的刚度要求,弹性钢齿

和橡胶齿采用分列布置的形式。工作时,随着机具的前进,前方的钢板将落地的核桃梳刷成同一高度,进而在捡拾辊的作用下被抛送到后方振动除杂装置上,清选后进入倾斜布置的输送带,在输送带的带动下进入后方的收集箱。该装置结构紧凑,操作简单,实现了捡拾、筛选、除杂、收集一体化,是当时较为领先的装置,其原理现今仍被广泛运用。

气吸式的收集装置主要由清扫装置、仿形装置、气吸装置、运输装置、传动装置组成,如图 11 所示。工作时依靠 V 型的清扫辊将散落在地面上的果实聚拢,果实随着机具的前进被仿形铲铲起,在逆向气流的直接作用下,果实经过输送管道进入收集箱。该装置收集效率高、整体尺寸小、适应性强,通过调整气流的大小可以对不同的林果进行捡拾收集。

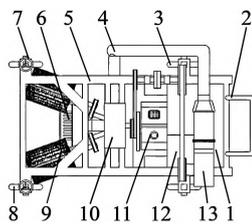


图 11 V型清扫辊收集装置

Fig. 11 Type V cleaning roller collection device

1. 集枣箱 2. 手推扶杆 3. 行走轮 4. 输送管 5. 机架
6. 仿形铲 7. 调整轮调节手轮 8. 调整轮 9. 清扫装置
10. 传动装置 11. 柴油机 12. 电启动装置 13. 风机

手推式核桃捡拾装置如图 12 所示。主要由扶手、

机架、弹性夹持机构、导航齿和收集篮组成。夹持机构由韧性优良材料制成的弹性夹持片叠加而成。机架及导航齿均采用成本低、质量轻的材料,便于单人操作机器且能在不采用其他工具的情况下对机具进行拆卸及组装。整机工作时,通过扶手下压使前方收集箱的部分向上抬起,在人工的推动及弹性夹持机构的滚动作用下向前行进。分布在地面上的核桃被挤送进夹持机构中,最后通过导航齿的挤压使核桃进入收集篮。收集篮装满后,可直接取出清空后重新安装,继续进行果实收集。通过田间试验得出其捡拾速度为 300 kg/h,捡拾率为 80% 以上。该机机构简单,操作方便,成本低,效率高,能有效满足大部分果园收集需求。

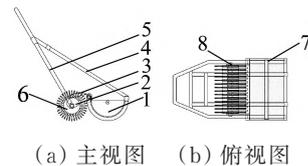


图 12 手推式核桃捡拾装置结构图

Fig. 12 Structure diagram of the hand-push walnut pickup device

1. 收集 2. 导航条 3. 导航齿 4. 拉杆 5. 扶手
6. 弹性夹持机构 7. 收集篮提手 8. 轴

机械化收集装置的工作原理及特点如表 2 所示。目前中国林果的收集还是以人工收集为主。机械化程度较国外存在较大差距。由于人工收集耗时长、成本高、对人体的损伤大,并且随着核桃采摘机构的发展和核桃种植面积的不断扩大,配套的收集装置的发展成为必然趋势。

表 2 机械化收集装置的工作原理及特点

Tab. 2 Working principle and characteristics of the mechanized collection device

收集装置	工作原理	特点
自走式收集装置	利用逆向气流产生的负压或者是特制的捡拾工具在机具前进的过程中对采摘后分布在地上的果实进行收集	自动化程度高、效率高、适应性强、功能完备、结构复杂、成本高
机械式收集装置	通过可收缩的倒伞状机械装置接住由采摘装置采摘下的果实。或利用机械式推车,通过人、机以及果实的间相互作用力实现对果实的捡拾	成本低、结构简单、操作方便、可靠性好,便于储存与维修

## 2 核桃采收一体化装置结构及特点

20 世纪 80 年代,意大利生产出型号为 Cimina 300 的自走式核桃收获机<sup>[11]</sup>,依靠功率为 61 kW 的涡轮柴油发动机提供动力。该机安装有 3 个驱动轮,能在提供足够动力的同时,减小转向半径,从而避免侧翻。摘取核桃时,机具前方的刷子高速旋转将核桃击落。高度可调且可横向移动的金属板接住果实后将其输送到管道中,在侧风机的作用下核桃被送入沉降室。在大的杂质被排出后,另一个风机会配合旋转筛对核桃进一步的清洁。Cimina 300 在进行收获效率一般能达到 4 300~5 000 kg/h,且在采收阶段只需要一个操作员,极大地节约了人工成本。

乔园园等<sup>[12]</sup>研发了一款适用于不同林果采摘的林果

振动采摘机,主要由牵引架、振动夹钳、接果帆布、行走轮、卷布轴、果实输送带、卷布马达、风机、接果箱、振动箱等组成。工作时,吊架液压缸驱动夹持臂上下运动,使其夹持到合适位置。卷布马达带动卷布向机身侧向展开,随后激振机构开始工作。果实在受到振动后落至帆布上,当收集的果实到达一定数量,帆布沿着卷布轴逆时针反卷,其上的果实逐渐落入下方的传送带中,被送入集果箱。帆布上的柔性缓冲层,能有效减少果实受到的冲击。偏心振动机构采用对称布置,分别安装在主动轴与从动轴上,两轴之间通过齿轮进行动力传输。该机构效率高,收获性能好,工作流畅。但激振机构仅由一组对称布置的偏心块组成,因此振动方向单一,振动的变化缺少灵活性。

类成朋等<sup>[13]</sup>设计了一款核桃采收机械手,如图 13 所

示。其主要由汽油机、太阳能电池板、分流板、遥控剪刀组成。采用汽油与太阳能结合供能方式,适用于山地作业。整个工作部件的进给运动采用链传动的形式,安装精度要求低,对工作环境的适应性强。工作时,通过传感器的感应,果实被喂入采摘腔,通过遥控的活动剪刀断开果柄与果实的连接,之后经过下方的分流板,重量达标的果实直接打开分流板,在重力作用下进入收集网;重量较轻的果实无法穿过分流板,会顺着倾斜的分流板从旁边的小口流出。该机构安装了红外感应装置,可对果实进行自动搜寻、定位,减少了果实的浪费。但该机械手采摘时是单个抓取,对于一棵树上大量的果实来说,效率较低。

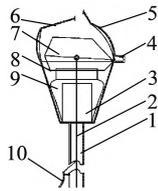


图 13 核桃采收机械手

Fig. 13 Walnut harvesting manipulator

1. 固定支架 2. 链条 3. 果实出口 4. 运动复位弹簧
5. 活动剪刀 6. 固定剪刀 7. 分流板 8. 果实出口
9. 果实通道 10. 制止处

刘威等<sup>[14]</sup>设计了一种通过单片机控制的自动采收机械臂,如图 14 所示。该机械臂由电动机驱动,其组成主要有履带小车、底座、大臂、小臂、手腕和抓手。每个不同的机械臂之间设置有一个由伺服电机驱动关节,以满足机械臂的运动需求。机械抓手由四块机械爪构成,分为平口爪和刃口爪,采摘时平口和刃口相互切合使核桃与果柄分离。为确保机械抓手能够成功抓取核桃进行采摘,其内部装有接触传感器,当核桃被机械爪完全抓取时能够传出信号以便机械臂采取下一步行动。机械臂的识别定位系统由 DGPS 导航和双目摄像头组成,摄像头和末端执行器一起运动,通过收集路面信息和果树信息实

表 3 采收一体式的收获装置的特点及工作方式

Tab. 3 Features and working mode of the integrated harvesting unit

装置类型	工作方式	特点
大型收获装置	通过与拖拉机配合进行工作,机具上同时安装了采摘装置、输送装置与收集装置等,通过液压控制等方式实现采摘装置高度上的变化,能在采摘果实的同时实现对果实的清选、收集与储存	作业效率高、可靠性好、工作过程流畅、能适应大规模作业、自动化程度低、果实含杂率高
小型收获装置	以机械手、机械臂的形式对果实进行摘取及存储。通常整个收获装置上配备有图像识别系统以及定位系统,能根据设定好的方案或程序自动对果实进行搜寻与定位	智能化程度高、采摘精度高、果实含杂率低、工作效率低、制造成本高、易损坏

相较采摘和收集独立的装置,采收一体化装置的整体性更强,自动化程度高,操作流畅性更好,能同时完成果实的采摘与收集,有效避免了分段式收获时间没把控好而造成的核桃质量下降的问题,但部分采收一体机还处于研究阶段,还不能获得较好的普及。

现精确定位与障碍规避。工作时,在识别定位系统和履带车的共同作用下,机械臂靠近果树并采摘果实,随即机械抓手打开,其底部的推杆推动核桃使之进入漏斗箱中。之后机械爪按设定程序回到初始位置进行下一目标的摘取。该装置的特点是自动化程度高、响应快,漏果率低,对果树损伤小。缺点是制造成本高、效率低。

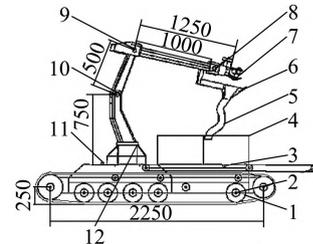


图 14 全自动采摘装置结构图

Fig. 14 Structure diagram of the fully automatic picking device

1. 履带车 2. 传送带 3. 光电传感器 4. 收集箱 5. 收集软管
6. 收集漏斗 7. 采摘抓手 8. 腕关节 9. 肘关节 10. 肩关节
11. GPS 导航仪 12. 腰关节

赵嘉辉等<sup>[15]</sup>提出了一款自动化程度较高的无人机设计方案。无人机通过双目立体视觉数据和三角定位原理能有效地确定核桃的位置,实现精准采摘。无人机的自动伸缩杆与收纳盒相连,伸缩杆可依据果实的位置调整高度和方向。无人机上的机械爪用万向活动轴与无人机相连,机械手采用旋转采摘的方式摘落果实,并将其放入收纳盒。收纳盒设置有上下自动开口,在空中作业时上开口只在机械爪靠近时打开,其余时间自动关闭,避免了空中的不规则运动导致果实被抛出。当收纳盒重量达到一定限度,无人机会返航并将果实放入收集箱。这种收集方式作业优点是自动化程度高,最大程度地避免人工作业出现的安全问题,能适应任何种植地形,且果实几乎不含有杂质。缺点是成本高,易损坏,对枝叶的损伤大。可带动的果实少且在飞行过程中易受气流的影响,对天气环境有一定的要求。

采收一体式收获装置特点及工作方式如表 3 所示。

### 3 核桃机械化收获存在的问题

#### 3.1 自动化程度不足

目前来说,能用于大范围普及的采收装置多数是半机械化装置。对于树枝振动式采摘装置以及拍打式采摘

装置来说,在进行采摘作业时,仍需要人工参与调节末端执行机构的作用位置,从而实现核桃地有效采摘。而执行机构的作用位置对果实的采摘效率、树枝的损伤程度都有较大的影响,这些问题的所在使得对操作人员的经验和熟练程度有着较高的要求。

### 3.2 收获装置集成化程度低

现有的核桃收获装置多数仍是分段收获的形式。虽然部分装置已经实现了采摘与收集一体化,但收集之后不能实现即时脱皮与分选。脱皮需要依靠单独的脱皮装置或者通过化学方法脱皮。脱皮不及时易造成核桃青果皮产生褶皱以及炭疽病,而依靠人工对核桃进行分选则会带来成本的大幅上升,无法实现经济效益最大化。

### 3.3 收获装置与种植环境不匹配

我国的核桃机械化收获起步晚,不同地区多年来形成的农艺不同,现有的一些收获装置往往只对某一地区特定种植模式,机械设备不能与不同种植栽培模式配套。一些陡峭、崎岖的地势会对大型的核桃采收设备的通过性产生较大的限制,易对设备造成损坏,使机具不能最大限度地发挥其应有的采收水准。轻小型采收装置能够适应复杂地形,但其工作效率低的问题较为突出。

## 4 提高核桃机械化收获水平建议

### 4.1 提高农艺与农机装备之间的匹配程度

加强农艺与农机的结合,找到不同种植模式之间的共性,研制能普遍适应的机械装备,使种植模式与采收机械互相配合、相辅相成。动态地解决这一长期存在的矛盾,提高核桃的收获质量和采摘效率。

### 4.2 深化对果树物理性能分析

对不同形状树枝上不同点位所能承受的振动频率和强度进行分析。利用图像识别技术与人工智能技术让采摘装置的末端执行机构能自动选择工作点位并通过计算分析产生最优的振动频率或者旋转转速,提升采摘机械智能化水平,降低对高水平操作人员的依赖。

### 4.3 加强对装置集成化的研究

在满足标准的前提下,结合核桃脱皮装置和筛选装置的工作原理,实现不同功能装置的兼容,完善核桃收获机械的功能。研发集采摘、收集、脱皮、分选于一体的核桃联合收获机械,形成完整、及时的收获体系,解放生产力,提高工作效率,提升工作质量。

## 5 结语

适用于平坦种植地形的大规模收获设备以及用于丘陵山地的便携式收获装置不断得到开发,其应用也愈加广泛。采用机械化装置进行收获使我国高强度的

人工劳动慢慢得到改善,核桃收获的效率在逐渐提高,收获的成本也得到有效控制。但相比早在20世纪就已经形成核桃收获全程机械化生产线的美国,还有较多的问题亟待解决。

与机器人收获和便携式机械装置收获相比,大型机械化收获装置的收获效率更高,工作流畅性更好,拥有更好的发展前景。但目前机械化收获装置的自动化程度、集成化程度都处在一个较低的水平。未来应加强这两方面的研究,将图像识别技术、人工智能技术和可拆卸性设计与机械化收获装置相结合,打造自动化程度更高、适应性更强、功能更完善、工作性能更可靠的新型核桃收获装置,实现更加全面的机械化。

### 参 考 文 献

- [1] 祝前峰,陆荣鉴,刘彬,等. 核桃采摘机械研究现状与发展趋势[J]. 林业和草原机械, 2021, 2(1): 45-53.  
Zhu Qianfeng, Lu Rongjian, Liu Bin, et al. Research status and development trend of walnut picking machinery [J]. Forestry and Grassland Machinery, 2021, 2(1): 45-53.
- [2] 王建友,刘凤兰,毛金梅,等. 采摘期对新疆3个品种核桃品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(3): 145-148.  
Wang Jianyou, Liu Fenglan, Mao Jinmei, et al. Effect of different harvest dates on qualities of *Juglans siggillata* L. [J]. Food and Machinery, 2016, 32(3): 145-148.
- [3] 万芳新,孙浩博,杜小龙,等. 自走式枸杞振动采收机设计与试验[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39(5): 231-234.
- [4] 邹志勇,别云波,王琪,等. 基于Solidworks建模及有限元分析的核桃收获机的仿真设计[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2020, 46(5): 616-622.  
Zou Zhiyong, Bie Yunbo, Wang Qi, et al. Simulation design of walnut harvester based on Solidworks modeling and finite element analysis [J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2020, 46(5): 616-622.
- [5] 李赞松,曹成茂,伍德林,等. 手自一体式山核桃采摘机的设计与试验[J]. 浙江农业学报, 2021, 33(7): 1309-1319.  
Li Zansong, Cao Chengmao, Wu Delin, et al. Design and experiment of hand-operated self-integrated picking machine for *Carya cathayensis* [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2021, 33(7): 1309-1319.
- [6] 吴聪,罗鹏. 一种简易的核桃采摘机的设计[J]. 电子制作, 2020(12): 91-92, 23.
- [7] 曹成茂,詹超,孙燕,等. 便携式山核桃高空拍打采摘机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2018, 49(3): 130-137.  
Cao Chengmao, Zhan Chao, Sun Yan, et al. Design and experiment of portable walnut high-altitude pat-picking machine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(3): 130-137.

(下转第42页)

该范围为成熟莲蓬的最适宜采摘点,由此可为莲蓬机械化采摘装置的研发提供参考。

3) 根据莲蓬茎秆力学特性试验结果设计一种莲蓬采摘末端执行器,通过对75个莲蓬的采摘试验表明,本文所设计的莲蓬夹持剪切装置的莲蓬剪切成功率为100%,但由于莲蓬从末端执行器滑落,导致整体采摘成功率为92%。

#### 参 考 文 献

- [1] 王宇良, 韩舜羽, 赵文红, 等. 红白莲蓉中营养成分及风味物质的分析[J]. 食品工业, 2022, 43(5): 282—287.  
Wang Yuliang, Han Shunyu, Zhao Wenhong, et al. Analysis of nutritional components and flavor substances in red and white lotus seed [J]. The Food Industry, 2022, 43(5): 282—287.
- [2] Dhull S B, Chandak A, Collins M N, et al. Lotus seed starch: A novel functional ingredient with promising properties and applications in food: A Review [J]. Starch-Stärke, 2022, 74(9—10): 2200064.
- [3] 王思博, 李冬冬, 徐金星. 特色经济作物绿色生产效率影响因素及传导路径——以广昌县白莲绿色化种植为例[J]. 湖南农业大学学报(社会科学版), 2019, 20(5): 14—23.  
Wang Sibao, Li Dongdong, Xu Jinxing. Influencing factors and conducting path of green production efficiency of characteristic economic crops: Taking the green planting of white lotus in Guangchang County as an example [J]. Journal of Hunan Agricultural University (Social Sciences), 2019, 20(5): 14—23.
- [4] 肖义芳. 黄陂地区籽莲种苗繁育技术[J]. 南方农业, 2017, 11(5): 19—23.
- [5] Tang Zhong, Liang Yaquan, Wang Meilin, et al. Effect of mechanical properties of rice stem and its fiber on the strength of straw rope [J]. Industrial Crops and Products, 2022, 180: 114729.
- [6] Al-Mitewty M I, Yahya A, Razif M, et al. Physical and mechanical properties of sweet corn plant [J]. Agricultural Engineering International the Cigr E Journal, 2020.
- [7] 贺洁, 孙少光, 葛昌斌, 等. 不同小麦品种(系)茎秆显微结构、生化组分与茎秆强度的关系[J]. 华北农学报, 2022, 37(1): 68—76.  
He Jie, Sun Shaoguang, Ge Changbin, et al. Relationship between stem microstructure, biochemical composition and stem strength of different wheat varieties (lines) [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2022, 37(1): 68—76.
- [8] Chen J, Zhao N, Fu N, et al. Mechanical properties of hullless barley stem with different moisture contents [J]. International Journal of Food Engineering, 2019, 15(1—2).
- [9] 周海宇, 江禹奉, 杨明冲, 等. 玉米茎秆强度与维管束数目及纤维含量的关系和评价[J]. 植物遗传资源学报, 2022, 23(6): 1636—1643.  
Zhou Haiyu, Jiang Yufeng, Yang Mingchong, et al. Relationship and evaluation of stalk strength, vascular bundle and fiber content in maize [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(6): 1636—1643.
- [10] 李洋, 王敏, 温宝琴, 等. 基于灰色关联理论的甘草茎秆力学特性试验研究[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(6): 72—78.  
Li Yang, Wang Min, Wen Baoqin, et al. Experimental study on the mechanical properties of Glycyrrhiza glabra stem on the grey correlation theory [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2021, 42(6): 72—78.
- [11] Monarca D, Cecchini M, Antonelli D. Modern machines for walnut harvesting [J]. Acta Horticulturae, 2006, 705: 505.
- [12] 乔园园, 牛长河, 孟详金, 等. 牵引式林果振动采收机的设计与田间试验[J]. 新疆农业科学, 2015, 52(3): 528—534.  
Qiao Yuanyuan, Niu Changhe, Meng Xiangjin, et al. Design of traction type fruit harvest machine and its experimental research in fields [J]. Xinjiang Agricultural Science, 2015, 52(3): 528—534.
- [13] 类成朋, 王志坤, 王爱波. 核桃采摘机械手的创新设计[J]. 山西电子技术, 2018(1): 9—10.
- [14] 刘威, 王舜, 岳涛涛, 等. 全自动核桃采摘装置[J]. 农业技术与装备, 2017, 327(3): 69—72.
- [15] 赵嘉辉, 张耀中, 夏志鹏, 等. 山核桃采收一体无人机设计构想与矛盾分析[J]. 南方论坛, 2022, 53(15): 40—44.

(上接第7页)