

香蕉采摘机械的研究现状与发展趋势

苏继龙 刘远力 吴金东

(福建农林大学 机电工程学院,福州 350002)

摘要 采取文献综述与经验总结相结合的方法,对国内外香蕉采摘机械的现状进行研究;从香蕉采摘机械手与自动化采摘机械2个方面对文献知识进行梳理与归纳。结果表明:1)国内外出现众多的香蕉采摘机械手,包括采摘机械夹持装置、支撑装置、切割装置等,可以实现替代人工,降低果实损伤的目的。2)目前集采摘、运动于一体的自动化香蕉采摘机械,极大的提高了香蕉采摘的效率,促进香蕉产业快速发展。3)多功能、智能化香蕉采摘机械仍然是当前香蕉采摘机械的研究重点。针对香蕉采摘机械发展过程中存在的不足,提出如下的发展方向:深入研究香蕉采摘机械的行走装置,实现快速运动与灵活转向;在当前自动化采摘机械的基础之上,全面研究香蕉果实视觉识别系统与计算机决策系统;进一步研究移动小车与机械臂,增强香蕉采摘机械的抗倾覆能力;香蕉采摘、落梳与包装一体机或可更换机械手的多功能化果实采摘机是未来香蕉采摘机械的研究热点。

关键词 香蕉; 采摘机械手; 自动化采摘; 视觉识别系统; 计算机决策系统; 抗倾覆; 多功能化

中图分类号 S225.93

文章编号 1007-4333(2019)07-0131-07

文献标志码 A

Research status and development trend of banana picking machine

SU Jilong, LIU Yuanli, WU Jindong

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract By combining the theoretical analysis with experience summarization, the current research of banana picking machinery at home and abroad is studied. The literatures are then summarized and classified from two aspects, banana picking manipulator and automatic picking machinery. The results show that: 1) Numerous banana picking manipulators appeared at home and abroad, including gripping device, supporting device and cutting device, which can replace labor and reduce fruit damage. 2) At present, the automated banana picking machine that combines picking and movement has greatly improved the efficiency of banana picking and promoted the rapid development of the banana industry. 3) Multifunctional and intelligent banana picking machinery is still the focus of current banana picking machinery. In view of the shortcomings in the development of banana picking machinery, it is proposed that we need to delve into the walking device of the banana picking machine to achieve fast movement and flexible steering. Based on the current automated picking machine, the banana fruit visual recognition system and computer decision-making system are comprehensively studied. Further research on mobile trolley and robotic arm to enhance the anti-overturning ability of banana picking machine is suggested. Future research hotspots would be multiple-function banana picking machine construction such as picking, packaging and falling comb or multi-function fruit picking machine with replaceable robot manipulator.

Keywords banana; picking manipulator; automatic picking; visual recognition system; computer decision system; anti-overturning; multi-functional

香蕉是世界四大水果之一,产量仅次于柑橘。作为世界十大香蕉主产国^[1-4],我国香蕉产业近年来

迎来了大发展,香蕉产业水平保持持续增长态势。但我国香蕉采摘与储运仍然面临着很多问题亟待解

收稿日期: 2018-10-18

基金项目: 福建省自然科学基金项目(2016J01001); 福建农林大学科技发展基金项目(KF2015026、KF2015027)

第一作者: 苏继龙,教授,主要从事机械设计、材料性能与微结构关系研究, E-mail: fjsu@163.com

决。香蕉采摘是一个季节性较强和劳动密集型的工作,我国目前香蕉采摘还停留在人工采摘^[5]阶段,香蕉采摘机械匮乏,采摘效率低下;近些年以来,我国农村劳动力逐渐向其他行业转移,同时人口老龄化^[6]问题严重,导致人工采摘成本逐渐增高。为保证香蕉产业的长久发展,发展香蕉采摘机械意义重大。

目前,由于发达国家研究开展较早,自香蕉采摘末端执行机械手到自动化香蕉采摘机均有研究。同时,一些国家如日本,美国等已开展香蕉果实成熟度识别方式,行走控制系统等部分的研究,并取得一部分研究成果。国内南方香蕉产区近些年来持续发力,展开了大量的香蕉采摘机械的研究,涌现了一批研究成果,包括许多采摘机械手的专利与论文。但香蕉采摘机械自动化程度较低,一些现代化技术,包括视觉识别系统,行走控制系统,在香蕉采摘机械上的应用缓慢。

本研究拟对目前的一些香蕉采摘研究成果进行梳理与归纳,并对目前我国香蕉采摘机械存在的问题进行总结,以期实现对香蕉采摘机械未来发展方向的把握与展望。

1 目前香蕉的主要采摘方式及研究现状

1.1 传统香蕉采摘方式

国内传统的香蕉采摘方式主要有2种,即人工采收法和索道采收法。我国香蕉种植长期以来以小面积分散种植为主,所以大部分地区仍为人工采摘。人工采摘的具体方法是:一人操作时,在香蕉树假茎上砍一刀,让香蕉树倒斜,单手深入抓紧果轴,另一手用刀将果串砍下来,放在铺好的蕉叶上,然后运到收购点;2人操作时,一人将假茎砍斜,再把果轴砍断,另一人立刻将香蕉置于披有软垫的肩膀上。砍下的果穗用绳子绑好,运到收购站。有时为了保证香蕉的高品质,需要3人以上合作进行采摘。这些方法既浪费人力,又很难避免香蕉的损伤,影响了香蕉的经济效益与采摘效率。

索道采收法^[7-8]:这是一种半机械化的香蕉采收技术。香蕉园内安装多条索道通向收购点,索道上装有滑轮,采收香蕉时,由人工将砍下的香蕉串用肩扛到附近的索道处,在香蕉串轴上绑上绳子后挂在滑车的吊钩上,滑车与滑车之间用撑杆连接,使香蕉串与串之间既保持一定距离不发生碰撞,又可以多串一起运送。索道整个采收过程香蕉离开地面,有

效的避免了人工碰伤、压伤等,也提高了部分工作效率,降低了劳动强度,有利于提高香蕉的经济效益。

索道采收装置作为香蕉园广泛采用的悬挂式运输设备,经过不断地改进与发展,现在已解决索道磨损严重、轨道交叉运送困难等问题^[9-11],并取得良好的效果。厄瓜多尔与哥伦比亚等国^[12]地处热带,早已应用索道采收并建立了完整的采后生产设施,可实现一年四季采收香蕉。但在国内由于香蕉采收时间集中,而且采摘量大,利用索道则存在投资高、利用率低,而采收高峰期又超负荷不能满足生产要求的现象,所以索道式收获装置并不适合国内的香蕉种植模式。

1.2 国内外香蕉采摘机械总体研究现状

由于香蕉主要种植区都在热带地区,香蕉主产地多为发展中国家,科技水平有限,农业机械化程度较低,香蕉采收的研究也比较少。而国外发达国家由于自身需求问题,对香蕉采收的研究也比较少。国内外研发香蕉采摘技术的目的在于提高香蕉品质,同时减少事故发生,使香蕉采摘工序做到自动化、无损化、高效化、安全化^[13]。目前国内外香蕉采摘技术发展主要为2种,即香蕉采摘末端执行机械手的研究与自动化香蕉采摘机的研究。

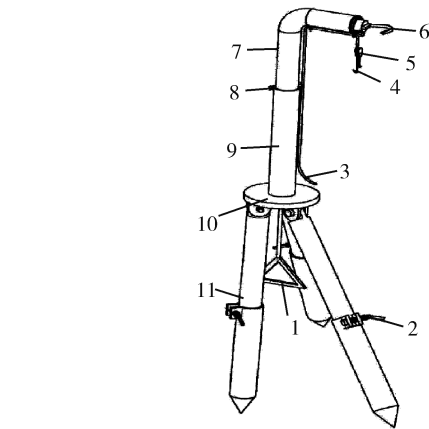
1.2.1 香蕉采摘末端执行机械手的研究现状

美国等发达国家对香蕉采摘机械的研究开展很早。1923年John S^[14]发明了一种简易的手持式香蕉采摘执行机构。该工具为手持式的长杆,长杆尽头装有一个勾状切刀和一个收贮箱,采收香蕉时用长杆架起勾状切刀将香蕉从根部切断,香蕉掉入滑道进入收贮箱内,收贮箱有一个侧门可以打开。澳大利亚昆士兰州于20世纪60年代开始应用一种“香蕉折弯器”进行砍蕉辅助^[15]。利用一根长杆的顶部装有钢拉杆,钢拉杆的朝下高挂钩用于将切割后的假茎向下拉,钢拉杆的朝上低挂钩用于支撑弯曲的假茎,使其可在约1.35 m的高度进行砍蕉。这两种工具均为手持式长杆,结构简单且效率低下,不适宜现代香蕉采摘作业。

随着电动、液压、气动等技术的进步,香蕉采摘末端执行机械手的设计可以进一步节省人力^[16-17]。Jason A^[18]研制出一种香蕉采摘辅助工具。该种香蕉采摘辅助工具是由三脚支持架、双叶刀片、液压缸、滑轮等组成。双叶刀片安装在支持架的顶端,由液压缸驱动,被砍下的香蕉串可以直接滑落到套袋中,再通过滑轮降下来。麻省理工学院^[19]于2005

年研制出一种砍蕉辅助装置,优化设计的轻型三角架顶部装有夹持器,夹持器内装有 1 个带弹簧的单向锁凸轮,砍蕉时先用夹持器套住香蕉果轴,砍蕉后凸轮机构受力夹紧果轴,当人工向上起挑蕉穗时,单向锁凸轮松开,蕉穗脱离夹持器。这些采摘辅助工具利用液压夹紧、电动切割等技术,实现了代替人力砍蕉、降低果实损伤的功能。

虽然国内香蕉采摘末端执行器的设计起步较晚,但是类似的香蕉采摘末端执行机械手也有很多。2013 年,陈俊良等^[20]提出香蕉采摘辅助器的方案(图 1),该装置用机器切割,可以代替人工砍蕉。类似于国外学者的研究成果,该装置也是利用三角支架组件下端插入工作区土面进行固定,调整支架使割刀到对准香蕉果柄;再用拖钩钩住蕉柄并脚踩割刀拉绳带动割刀完成切割。通过手拉拖钩拉绳把采摘成功的香蕉串缓缓降下来。装置结构简单,单人就能操作,节省人工,但采摘效率、强度和稳定性有待提高。同一时段,王小纯等^[21]提出了一种带行走轮的香蕉采摘辅助装置。装置机架下有行走轮及调节支架,内部装有蜗轮蜗杆传动机构和立柱,人力驱动手轮带动涡轮驱动立柱上的齿条使立柱上升。具体操作时,转动手轮控制立柱升降使支撑板位于香蕉果串下端,用安全带固定果串并砍断果柄,转动手轮使立柱下降,打开锁扣,将果实运走。此装置不同



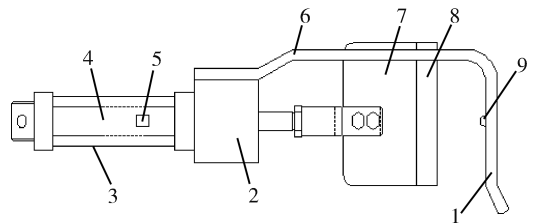
1. 割刀拉绳; 2. 下段长度调节器; 3. 拖钩拉绳; 4. 拖钩; 5. 滑轮; 6. 割刀; 7. 弯曲支架管; 8. 中上段长度调节器; 9. 支架管; 10. 固定盘; 11. 下段支架

1. Cutter rope; 2. Lower length adjuster; 3. Tow rope; 4. Tow hook; 5. Pulley; 6. Cutter; 7. Curved bracket tube; 8. Middle and upper section length adjuster; 9. Bracket tube; 10. Fixed disc; 11. Lower bracket

图 1 香蕉采摘辅助器^[20]

Fig. 1 Banana picking aid^[20]

于以上三脚架支撑结构,它加装了行走轮,进一步提高了灵活性并在一定程度上减少了机械损伤。但是该香蕉采摘机械结构复杂,且仍需人力砍蕉,效率低下。2014 年,于凯^[22]发明一种新型的气动香蕉假茎切断器(图 2),切断器用于香蕉轴部与香蕉树体的分离。工作时,将设备勾剪部分与切割部分刃部卡在蕉柄两侧,按下气动开关,推动刃部切断香蕉果轴。该切断器利用一种气动的切割香蕉假茎的方式来代替人力砍蕉,提高采摘效率。但是能否顺利切割仍需验证,且未考虑切割过程及切割之后香蕉果串的稳定夹持的问题。



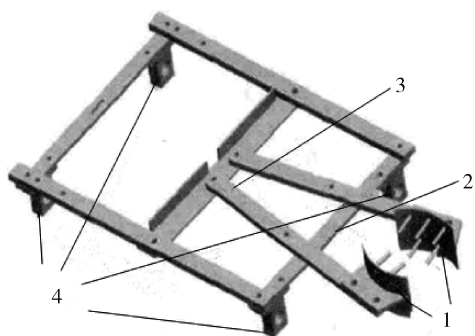
1. 挡勾剪部; 2. 固定部; 3. 握拿部; 4. 动力部; 5. 控制部; 6. 防护部; 7. 剪切部; 8. 刃部; 9. 凸块

1. Hook and cut part; 2. Fixing part; 3. Grip part; 4. Power part; 5. Control part; 6. Guard part; 8. Blade part; 9. Bump

图 2 香蕉假茎切断器^[22]

Fig. 2 Banana pseudo stem cutter^[22]

随着计算机技术的发展,多种仿真分析软件如 ANSYS、UG、PRO-E 等逐渐应用于香蕉采摘末端执行机械的性能测试中。王红军等^[23-25]在研究香蕉农艺特性和收获特性的基础上,设计了一种香蕉采摘机械手(图 3),并对其进行三维仿真与性能测试,该机械手夹持部分具有多个针状抓钩。通过三维建模软件进行夹持装置建模并应用 ANSYS Workbench 对夹持装置进行了分析与优化。此机械手可靠性高,但针状抓钩容易插入果轴不易分离,不利于实现香蕉落梳的机械化和自动化。叶敏等^[26]设计了水果采摘机器人通用机械手夹具,并理论分析该夹具对串类水果及球状水果采摘的力学特性,但夹具承载能力较小,不适宜香蕉果轴的夹持。2016 年,黎毓鹏等^[27]等设计了一种新型电动切割香蕉采收机。此末端执行机构由机车架、切割机构及抓取机构组成。机器工作时,工人需要爬上楼梯操作切割机构来切割香蕉果柄。黎毓鹏等利用三维仿真软件 UG 真实再现了新型电动切割香蕉采收机的工作工况,仿真结果显示,此机构可以实现多自由度



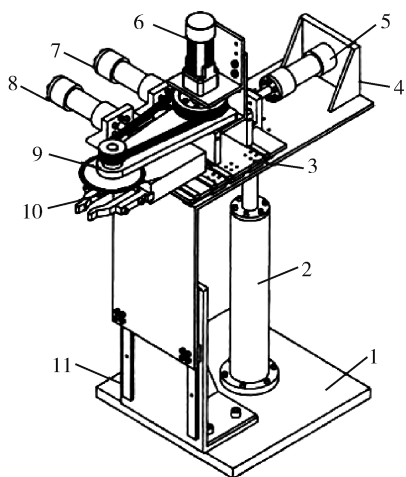
1. 夹持手抓; 2. 支撑杆; 3. 夹持杆; 4. 滑动支座

1. Gripping hand; 2. Support bar; 3. Clamping bar; 4. Sliding support

图3 香蕉采摘夹持装置三维模型^[24]

Fig. 3 3D Model of banana picking holding device^[24]

电动切割、采收香蕉,可以很好地代替人工提高效率。但这种结构未进行实体机械采摘实验,支撑稳定性与工人工作安全性有待验证。针对采摘效率低等问题,朱冬云等^[28]发明了导轨移动式香蕉采摘机(图4)。导轨移动式香蕉采摘机主要由底座、移动装置、夹紧装置、切割装置等组成。机器通过升降、夹紧、切割三道工序采摘香蕉。导轨移动式香蕉采摘机固接在牵引装置上,通过导轨的移动使得采摘装置达到指定的位置。导轨移动式香蕉采摘机提



1. 底座; 2. 底座液压缸; 3. 导轨安装板; 4. 升降板; 5. 1号液压缸; 6. 伺服电机; 7. 2号液压缸; 8. 3号液压缸; 9. 切割刀具; 10. 夹具; 11. 升降导向板

1. Pedestal; 2. Hydraulic cylinder; 3. Rail mounting plate; 4. Lifting plate; 5. No. 1 hydraulic cylinder; 6. Servo motor; 7. No. 2 hydraulic cylinder; 8. No. 3 hydraulic cylinder; 9. Cutter; 10. Fixture; 11. Lifting guide plate

图4 导轨移动式香蕉采摘机^[28]

Fig. 4 Rail mobile banana picking machine^[28]

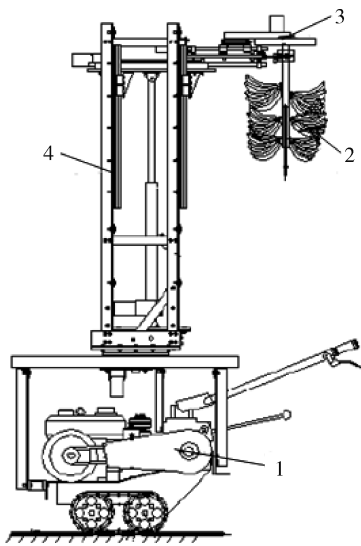
高了采摘精度和生产效率,降低蕉果的损失,减少事故的发生。但这种设计未进行实体样机的实物采摘试验,夹持及切割的可靠性也还未见实验论证。

1.2.2 自动化香蕉采摘机械整机研究现状

不同于一些半自动化的香蕉采摘机械手,对于自动化采摘机械的设计来说,行走装置是必不可少的。澳大利亚农业部在1985年改装了一种香蕉采摘机,用于采摘香蕉果串^[29]。此香蕉采摘机由拖拉机,液压收缩机械臂、切割结构和机械手末端的容器组成。采摘时,机械手将抓斗和切割器送到合适的位置,切断香蕉果柄,抓斗抓取香蕉串放到容器中,然后机械臂收缩,将香蕉串摆放到牵引拖车上。该设备大大节省了人力,实现了移动采摘,但该采摘机械体积巨大,不适宜在栽种密集的香蕉园作业。

目前国内设计研究移动采摘于一体的自动化机械较少。2013年李海恒^[30]设计了一种新型香蕉采摘机,该机械由一部微型拖拉机驱动,并牵引一部经过专门设计的袋摘香蕉串机械的拖车或者运送香蕉的吊索机构。采摘机械上有一个能夹紧香蕉茎的夹紧装置和一个用液压马达驱动的切割机构。此机械利用拖拉机驱动,可减轻工人的体力劳动,降低香蕉的损伤,并进一步提高采摘效率。2016年,唐之富^[31]对其设计的香蕉采摘整机进行有限元仿真分析并进行实物采摘试验(图5)。基于当前的一些研究成果与实体样机,他重点对香蕉采摘机械手夹持机构进行整体分析和仿真优化。通过测定了香蕉假茎的力学性能参数及夹持特性,并利用正交实验测试香蕉假茎与不同夹持方式、夹持材料和夹持载荷之间的相关性,获取适合香蕉采摘的优化夹持方案。以香蕉假茎的力学性能参数为基础,建立仿生香蕉假茎模型,对采摘过程中的夹持过程进行仿真分析,优化采摘机械手结构尺寸。虽设计了香蕉采摘整机,但许多方面还需要进一步完善,采摘小车承载、运动、抗倾覆性都没有深入研究,没有搭载视觉识别系统与运动控制系统,自动化程度不高。2017年,苏继龙等^[32-34]设计了3种香蕉采摘小车,分别为液压杠杆提升式、丝杠升降式的升降装置及一种手推式香蕉采摘机械装置,用于解决普通香蕉采摘机械容易倾覆的问题。

国内外对于果实成熟度的识别与机械手的性能的研究逐渐加强,这将极大的促进全自动化智能香蕉采摘机械的发展。Llobet E等^[35]利用氧化锡气体传感器阵列和FuzzyArt map神经网络系统组成



1. 履带式行走机构; 2. 香蕉; 3. 夹持机构; 4. 升降机构

1. Track walking mechanism; 2. Banana; 3. Clamping mechanism; 4. Lifting mechanism

图5 香蕉采摘与移动一体机^[32]

Fig. 5 Banana picking and moving machine^[32]

的电子鼻,用于识别香蕉成熟度。实验表明他们的识别准确度能达到92%,基本实现了用信息化保证适时收获,同时也可以实现对香蕉成长的监控。Surya Prabha D等^[36]对香蕉果实图像的颜色和大小值特征进行采集与分析,开发了平均颜色强度算法和面积算法,并设计了一个完整的香蕉果实成熟度自动检测系统。对于2种算法的测试表明,平均颜色强度算法更准确,总体准确度为99.1%。用于区分不成熟的香蕉时,区域算法准确率高达85%,但区分成熟和过熟准确率不高。这些研究对以后自动化香蕉采摘机械的适时识别采摘意义重大。

2 问题分析

2.1 香蕉采摘末端执行机械手存在的问题

我国香蕉的采后运输,清洗,包装等环节已经逐步机械化,但香蕉采摘部分近些年才开始研究,实体机械手应用率低。虽然采摘机械手的研究成果很多,但大部分香蕉采摘机械手的研究成果停留在理论研究性与性能测试阶段,进行实体采摘实验与真正投入生产的采摘机械手很少,这就导致了我国大部分香蕉园采摘还停留在人工采摘阶段。同时,我国大部分香蕉采摘机械为末端执行机械手,如采摘机械抓手、采摘切断器、采摘夹持装置等,这些装置大多需要人力参与,缺乏计算机决策系统,自动化水平

不高。

2.2 自动化香蕉采摘机械存在的问题

相较于末端执行机械手,香蕉采摘一体机的机械自动化程度更高,但智能化水平较低。智能化采收机械包括视觉系统、控制系统、计算机处理决策系统、伺服系统、执行装置等。国外如苹果、柑橘、草莓等果实采摘,已经将视觉识别系统^[37-39]应用于采摘机械上,但是国内大部分自动化香蕉采摘整机缺乏视觉识别系统,对香蕉成熟度还需要人机合作,利用人眼去判别与定位,这大大阻碍了采摘的效率。我国目前的一部分香蕉采摘机械缺乏稳定性仿真与试验,对于行走装置与执行装置的适应性与可靠性缺乏实验验证,容易产生果实损伤或工人事故。另外,我国目前几乎没有研究可以采摘香蕉与其他水果的多功能化采摘机械或一机多用型香蕉采摘机械。

3 结论

香蕉采摘机械的研究是一个复杂且繁重的综合性工程。我国香蕉采摘机械的发展具有广阔的市场前景,但仍然面临着各种各样的问题,需要持续不断地研究和投入。香蕉采摘机械包含很多部分,移动小车、机械手抓、伸缩装置、视觉识别系统、运动控制系统等,以后的香蕉采摘会向着高效率、多功能化、机械化、全自动化、智能化等方向发展。未来香蕉采摘机械还需要在以下方面进一步完善:

1) 研究与采摘紧密相关的行走装置。由于我国香蕉主产地为福建、海南、广东、广西、云南等南方丘陵地带^[40],地形较为复杂,对搭载采摘机械手的行走装置要求很高。车轮式行走方式转弯半径小,转向灵活,但对于松软地面与坡陡地面适应性差。履带式行走方式对地面适应性强但转弯半径过大,转向不灵活。设计时可以选择合适的行走方式,并对行走装置进行更优的结构设计,使行走装置在香蕉园内可以快速运动、灵活转向。

2) 增强采摘机械抗倾覆性能。由于香蕉的采摘需要一定高度,所以采摘机械必须由移动小车搭载机械臂。而外伸的机械臂去采摘大重量的香蕉串必然会有倾覆的问题存在。所以提高采摘机械的抗倾覆性能是当前一个合适的研究方向。

3) 提高香蕉采摘机械智能化、自动化水平。目前单体果实采摘,果实视觉识别的研究已经很成熟了。香蕉果实的适时采摘也可以用视觉系统判定。

未来设计的半自动化的采摘机械手或全自动化的采摘机械均可以在已建立的香蕉果实成熟数据库的基础上,利用颜色与测距等传感器组成视觉识别系统,代替人工识别,快速判断是否适宜采摘,并迅速定位到香蕉树轴径的采摘位置,从而实现香蕉果实的适时采摘,精准采摘。进行软件层优化,加入计算机处理决策系统并优化算法,使采摘机可以根据香蕉园的布局实现快速路径规划,智能避障。

4) 多功能化机械的研究。香蕉采摘季节性强,为提高机械利用率,降低成本,可研制一机多用型香蕉采摘机。研制采摘、包装与落梳一体的机械。另外,也可增加工作装置,如可更换采摘机械手,实现除香蕉外多种果实的采摘。

参考文献 References

- [1] 王芳,谢江辉,过建春,柯佑鹏,周登博. 2017年我国香蕉产业发展情况及2018年发展趋势与对策[J]. 中国热带农业, 2018(4): 27-32
Wang F, Xie J H, Guo J C, Ke Y P, Zhou D B. Development status of China's banana industry in 2017 and development trends and countermeasures in 2018[J]. *Tropical Agriculture in China*, 2018(4): 27-32 (in Chinese)
- [2] 张慧坚. 2015年香蕉产业发展报告及形势预测[J]. 世界热带农业信息, 2016(8): 31-37
Zhang H J. Development report and situation prediction of banana industry in 2015 [J]. *World Tropical Agriculture Information*, 2016(8): 31-37 (in Chinese)
- [3] 刘以道,张慧坚. 世界香蕉产业发展概况及发展趋势[J]. 世界农业, 2013(10): 76-79
Liu Y D, Zhang H J. Overview and development trend of the world banana industry[J]. *World Agriculture*, 2013 (10): 76-79 (in Chinese)
- [4] 李玉萍,方佳,董定超,梁伟红,刘燕群,古小玲. 世界香蕉产业的发展现状与发展趋势分析[J]. 广东农业科学, 2008, 35(2): 115-119
Li Y P, Fang J, Dong D C, Liang W H, Liu Y Q, Gu X L. Analysis on the current situation and trend of banana industry in the world [J]. *Guangdong Agricultural Science*, 2008, 35(2): 115-119 (in Chinese)
- [5] 王金丽,李明,邓怡国. 我国香蕉采收技术现状与分析[J]. 中国热带农业, 2005(3): 17-19
Wang J L, Li M, Deng Y G. Current status and analysis of banana harvesting technology in China [J]. *China Tropical Agriculture*, 2005(3): 17-19 (in Chinese)
- [6] 姜丽萍,陈树人. 果实采摘机器人研究综述[J]. 农业装备技术, 2006, 32(1): 8-10
Jiang L P, Chen S R. The overview of fruit harvesting robot [J]. *Agricultural Equipment & Technology*, 2006, 32(1): 8-10 (in Chinese)
- [7] 李壮哲,朱立学,马雅昱. 香蕉采收技术现状及机械化生产对策[J]. 世界热带农业信息, 2013(10): 23-27
Li Z Z, Zhu L X, Ma Z Y. Current situation of banana harvest techniques and countermeasures for banana harvest mechanization[J]. *World Tropical Agriculture Information*, 2013(10): 23-27 (in Chinese)
- [8] 尹可锁,常仕代,杨谨,郭志祥,胡原鸿,林木森,周跃能,凌辉,李迅东. 山地种植香蕉的无伤采收及轻简化技术[J]. 云南农业科技, 2016(6): 34-36
Yin K S, Chang S D, Yang J, Guo Z X, Hu Y H, Lin M S, Zhou Y N, Ling H, Li X D. Non-invasive harvesting and light simplification techniques of banana planting in mountain area [J]. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, 2016(6): 34-36 (in Chinese)
- [9] 周昆华,张国荣,曹安亚. 香蕉无损采收轨道与包装生产线的构建和应用[J]. 热带农业科技, 2006, 29(3): 8-10
Zhou K H, Zhang G R, Cao A Y. Harvesting tramroad and packaging line for non-wounded banana [J]. *Tropical Agricultural Science & Technology*, 2006, 29(3): 8-10 (in Chinese)
- [10] Subra P. The cableway method of conveying bunches in a banana plantation[J]. *Fruits Paris*, 1971(26): 807-817
- [11] Kemp D C, Matthews M D P. Overseas Development Technical Bulletin 7[R]. National Institute of Agricultural Engineering UK, 1977
- [12] 平英华,陈永生. 香蕉生产全程机械化探讨[J]. 热带农业科学, 2010, 30(11): 65-67
Ping Y H, Chen Y S. A study of mechanized banana production [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2010, 30(11): 65-67 (in Chinese)
- [13] 朱冬云,曲军远,刘世豪,张燕. 海南香蕉采摘技术现状及发展趋势[J]. 热带农业工程, 2015, 39(1): 25-27
Zhu D Y, Qu J Y, Liu S H, Zhang Y. Status and trend of banana picking technology in Hainan[J]. *Tropical Agriculture Engineering*, 2015, 39(1): 25-27 (in Chinese)
- [14] John S. Tool for cutting bananas from bunches thereof: United States, 1514680[P]. 1923-02-20
- [15] 李君,杨洲,汪天一,王慰祖. 香蕉生产机械化研究与应用[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(3): 1836-1838
Li J, Yang Z, Wang L Y, Wang W Z. Research and application for mechanization of banana production[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39(3): 1836-1838 (in Chinese)
- [16] 宋玲,史勇,高泽斌,叶云霞,亢银霞. 国内液压式水果采摘机械的发展现状[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(22): 336-339
Song L, Shi Y, Gao Z B, Ye Y X, Kang Y X. Research on the development status of domestic hydraulic fruit picking machine [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015, 43(22): 336-339 (in Chinese)
- [17] 李月寒,吴何畏,张武,陈新,史志慧. 基于 ROBO. TXT 控制的全方位气动水果采摘机设计[J]. 机电工程技术, 2018, 47(8): 127-129
Li Y H, Wu H W, Zhang W, Chen X, Shi Z H. The design of all-directional pneumatic fruit picking machine based on ROBO. TXT control [J]. *Electromechanical engineering technology*, 2018, 47(8): 127-129 (in Chinese)
- [18] Jason A. A device that assists banana famers in removing banana bunches from trees[EB/OL]. 2013-08-28. http://web.mit.edu/2.09_gallery/www/2005/Banana/2005_Banana_

- Mockup.html/2005/
- [19] Massachusetts Institute of Technology. Banana harvester[EB/OL]. 2005-12-12. http://web.mit.edu/2.009_gallery/www/2005/Banana/2005_Banana_Harvester.html.
- [20] 陈俊良,陆丽萍,李锦灯,韦东杰,刘神,潘裕方,包昌盛,陈冬萍,覃春鸾.香蕉采摘辅助器:中国,钦州学院,201320362184.7[P]. 2013-09-18
Chen J L, Lu L P, Li J D, Wei D J, Liu S, Pan Y F, Bao C S, Chen D P, Qin C L. Banana picking auxiliary device; China, Qinzhou College, 201320362184.7[P]. 2013-09-18 (in Chinese)
- [21] 王小纯,王勇,陆语崙,陈远玲,曾盛焯,李竞,林仁恭.砍蕉机械辅助装置:中国,200820104184.6[P]. 2009-01-28
Wang X C, Wang Y, Lu Y Z, Chen Y L, Zen S C, Li J, Lin R G. Chopping banana auxiliary device; China, 200820104184.6[P]. 2009-01-28 (in Chinese)
- [22] 于凯.香蕉切断器:中国,201120544485.2[P]. 2012-08-22
Yu K. Banana cutter; China, 201120544485.2[P]. 2012-08-22 (in Chinese)
- [23] 王红军,黄国钢,陈佳鑫,邹湘军.香蕉采摘机械手结构设计及样机试验[J].机械设计,2013,30(6):13-17
Wang H J, Huang G G, Chen J X, Zou X J. Structural design and prototype test for a bananas picking manipulator[J]. *Journal of Machine Design*, 2013, 30(6):13-17 (in Chinese)
- [24] 王红军,唐之富,赵润茂,邹湘军.香蕉采摘机械手夹持装置仿真优化设计[J].机械设计与制造,2015(6):161-164
Wang H J, Tang Z F, Zhao R M, Zou X J. Simulation and optimization design of holding device for banana picking manipulator[J]. *Machinery Design & Manufacture*, 2015(6):161-164 (in Chinese)
- [25] 王红军,李馨富,黄国钢,邹湘军.香蕉采摘机械手抓取机构设计及仿真[J].湘潭大学自然科学学报,2012,34(3):114-117
Wang H J, Li X F, Huang G G, Zou X J. Design and simulation of crawl institutions for picking bananas manipulator[J]. *Natural Science Journal of XiangTan University*, 2012, 34(3):114-117 (in Chinese)
- [26] 叶敏,邹湘军,蔡沛锋,邹海鑫.水果采摘机器人通用夹持机构设计[J].农业机械学报,2011,42(S1):177-180
Ye M, Zou X J, Cai P F, Zou H X. Clamping mechanism of fruits harvesting robot[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2011, 42(S1):177-180 (in Chinese)
- [27] 黎毓鹏,马桂香,马俊生,王献泽,张健.基于新型电动切割香蕉采收机的UG仿真[J].农机化研究,2016,38(12):61-65
Li Y P, Ma G X, Ma J S, Wang X Z, Zhang J. UG simulation based on electric cutting banana harvest machine[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2016, 38(12):61-65 (in Chinese)
- [28] 朱冬云,曲军远,徐略强,张宝珍,吉祥.导轨移动式香蕉采摘机结构设计[J].食品与机械,2018,34(1):92-94
Zhu D Y, Qu J Y, Xu L Q, Zhang B Z, Ji X. Design of banana picking machine structure with guide rail [J]. *Food & Machinery*, 2018, 34(1):92-94 (in Chinese)
- [29] 晓明.香蕉采摘机[J].世界农业,1986(7):50
Xiao M. Banana picking machine[J]. *World Agriculture*, 1986(7):50 (in Chinese)
- [30] 李海恒.香蕉采摘机设计研究[J].科技视界,2013:65-66
Li H H. Design research of banana picking machine[J]. *Science & Technology Vision*, 2013:65-66 (in Chinese)
- [31] 唐之富.香蕉采摘机械手夹持试验及仿真分析[D].华南农业大学,2016
Tang Z F. Clamping test and simulation analysis of banana harvesting manipulator [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016 (in Chinese)
- [32] 苏继龙,张政,刘明财.一种液压提升式香蕉采摘机械装置:中国,201720869382.0[P]. 2018-01-23
Su J L, Zhang Z, Liu M C. Hydraulic lifting type banana picking mechanism; China, 201720869382.0[P]. 2018-01-23. (in Chinese)
- [33] 苏继龙,刘明财,张政.一种丝杠升降式香蕉采摘机械装置:中国,201720869650.9. 2018-02-13
Su J L, Liu M C, Zhang Z. A screw lifting banana picking mechanism; China, 201720869650.9[P]. 2018-02-13 (in Chinese)
- [34] 苏继龙,刘明财,张政.一种手推式香蕉采摘机械装置:中国,201720886148.9[P]. 2018-03-16
Su J L, Liu M C, Zhang Z. Hand push type banana picking mechanism; China, 201720886148.9[P]. 2018-03-16 (in Chinese)
- [35] Llobet E, Hines E L, Gardner J W, Franco S. Non-destructive banana ripeness determination using a neural network-based electronic nose [J]. *Measurement Science and Technology*, 1999, 10(6):538-548
- [36] Surya Prabha D, Satheesh Kumar J. Assessment of banana fruit maturity by image processing technique[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2015, 52(3):1316-1327
- [37] De Preter A, Anthonis J, De Baerdemaeker J. Development of a robot for harvesting strawberries [J]. *IFAC PapersOnLine*, 2018, 51(17):14-19
- [38] 初广丽,张伟,王延杰,丁南南,刘艳莹.基于机器视觉的水果采摘机器人目标识别方法[J].中国农机化学报,2018,39(2):83-88
Chu G L, Zhang W, Wang Y J, Ding N N, Liu Y Y. A method of fruit picking robot target identification based on machine vision [J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2018, 39(2):83-87 (in Chinese)
- [39] 蒋超,崔有正,宋灏,杨文成,赵笠焱,王思琦.基于传感器的自动识别水果采摘机的设计[J].高师理科学刊,2017,37(10):34-36
Jiang C, Cui Y Z, Song H, Yang W C, Zhao L Y, Wang S Q. Design of automatic identification of fruit picking machines based on sensors[J]. *Journal of Science of Teachers' College and University*, 2017, 37(10):34-36 (in Chinese)
- [40] 周红玲,郑云云,洪佳敏,郑加协,何炎森.福建省香蕉产业发展及对策[J].现代农业科技,2017(5):100-101
Zhou H L, Zheng Y Y, Hong J M, Zheng J X, He Y S. Development and countermeasures of banana industry in Fujian Province[J]. *Modern Agricultural Technology*, 2017(5):100-101 (in Chinese)