

辊轮式金银花采摘机器人的设计

王伟州, 毛卫平

江苏大学机械工程学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2024年4月9日; 录用日期: 2024年8月7日; 发布日期: 2024年8月16日

摘要

金银花属于忍冬科藤本植物, 不仅在医学上是一种名贵药材, 还可以作为观赏植物, 在日常生活中被广泛应用。通过对当前金银花采摘机器人整体结构进行原理分析, 发现其存在识别率不高、采摘效率较低等问题, 本文对金银花采摘机器人视觉设计选择出最优方案并创造性提出辊轮机构理论设想。辊轮式金银花采摘机器人能够提高金银花生产效率并减少劳动力支出, 为我国农业现代化提供帮助。

关键词

金银花, 采摘机器人, 视觉设计, 辊轮机构

Design of Roller Type Honeysuckle Picking Robot

Weizhou Wang, Weiping Mao

School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: Apr. 9th, 2024; accepted: Aug. 7th, 2024; published: Aug. 16th, 2024

Abstract

Honeysuckle belongs to the vine family of *Lonicera japonica*, and is not only a precious medicinal herb in medicine, but also widely used as an ornamental plant in daily life. By analyzing the principle of the overall structure of the current honeysuckle-picking robot, it was found that it has problems such as low recognition rate and low picking efficiency. This article selects the optimal solution for the visual design of the honeysuckle-picking robot and creatively proposes a theoretical idea for the roller mechanism. The roller-type honeysuckle picking robot can improve the production efficiency of honeysuckle and reduce labor costs, providing assistance for the modernization of agriculture in China.

Keywords

Honeysuckle, Picking Robot, Visual Design, Roller Mechanism

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

金银花又称忍冬, 属于中药材的一种, 因其初开时为白色, 后变为黄色而得名[1]。由于金银花开花时的花冠为黄色或白色, 也广泛被应用于观赏性植物(如图 1)。当前医学研究也多次验证了金银花在药理上具有降血压、抗病毒、降血糖等多类功效, 金银花在医学方面的需求量也在不断增加, 价格持续上涨[2]。

随着金银花需求量的扩大, 金银花采摘机器人逐渐被应用于金银花农业生产, 不少学者提出金银花采摘机器人末端执行机构的设计构想。石绍俊介绍了一种电磁带动硅胶管金银花采摘器的总体设计, 创造性地采用硅胶管作为机械臂前端夹持部分, 但存在识别系统较弱的问题, 容易对采摘的金银花造成损伤[3]。罗宏伟等人设计出花叶兼收型金银花采摘机器人, 解决了传统金银花采摘机器人受地形差异限制无法大规模收取的问题[4]。本文针对当前金银花采摘机器人存在的视觉系统选择偏差以及机械臂末端执行器效率低下等问题进行分析, 选择出适宜金银花采摘的最优视觉设计, 并创造性在末端执行器中加入对摩擦辊轮的设计, 能够提高传统金银花采摘机器人机械化程度, 解决当前金银花采摘过程中花朵破损、采摘效率低下、容易受环境影响等问题。



Figure 1. Honeysuckle

图 1. 金银花

2. 金银花采摘机器人整体设计

2.1. 整机设计

金银花采摘机器人总体结构见图 2 所示。主要组成部分有移动底盘、连接块、设备箱、工控机、电源、收集箱、右机械臂、末端执行器、左机械臂、机械臂底盘等。

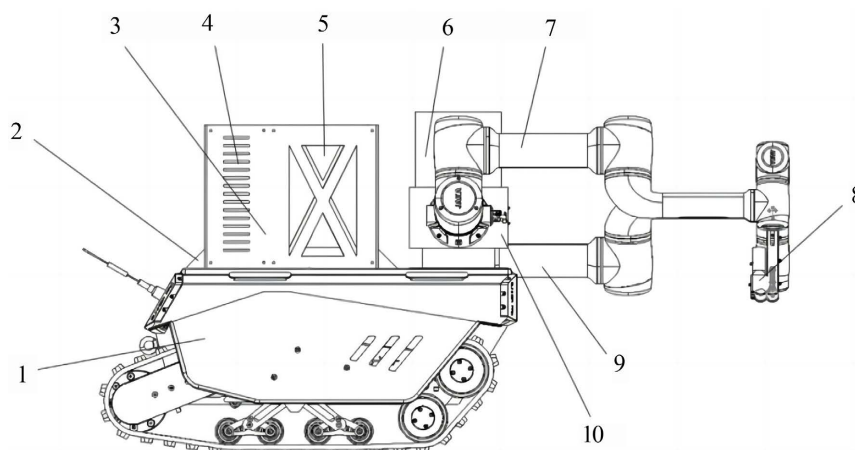


Figure 2. Structure of honeysuckle picking robot

图 2. 金银花采摘机器人结构

1、移动底盘, 2、连接块, 3、设备箱, 4、工控机, 5、电源, 6、收集箱, 7、右机械臂, 8、末端执行器, 9、左机械臂, 10、机械臂底盘。

2.2. 工作原理

金银花采摘机器人是一个集成了机器视觉、路径规划和机械臂操作等多个环节的复杂系统。主要分为以下四个部分:

一是机器视觉与定位: 金银花采摘机器人首先需要通过内置的摄像头以及高分辨率图像处理器对金银花田进行整体的扫描。通过金银花图像识别技术, 可以精准判断需要采摘的金银位置、姿态和成熟度。同时, 利用 GPS 或 RTK (实时动态差分定位) 技术, 机器人可以准确定位自身在金银花田中的位置, 实现精确导航。

二是路径规划与导航: 基于采摘机器人的自身定位信息以及金银花的位置信息, 金银花采摘机器人将会自主规划采摘路径, 完成采摘任务。基于学习的路径规划算法, 可以保障金银花机器人采取最短采摘路径, 高效采摘整个金银花田, 同时起到避免与障碍物碰撞的良好作用。

三是末端执行器采摘动作: 当采摘机器人到达需要采摘的金银花位置时, 其配备的机械臂会自动执行采摘金银花动作。具体原理是采摘时, 在齿轮的带动下, 两个采摘辊轮做相向运动, 将金银花夹进储料仓, 同时机器内部设有止回挡板, 可将附着在辊轮上的花刮下。采摘辊轴上包裹有硅胶材料, 可避免采摘时对金银花造成损伤。

四是金银花的收集与传输: 金银花采摘机器人的末端执行器与机械臂末端相互连接。同时, 末端执行器外壳另一端配备上辊子和下辊子, 金银花输出通道入口与上辊子和下辊子中的缝隙相对应, 从而可以通过软管连接收集箱。金银花被采摘后将会暂时存储在采摘机器人的内部, 接着采摘机器人需要移动位置来完成下一次的采摘行动, 待到采摘机器人的金银花存放量达到上限, 采摘机器人会将金银花运输到存储点或者转运地点, 结束整个金银花的采摘过程。

3. 金银花采摘机器人视觉设计

感知与定位系统是视觉识别系统的基础, 金银花感知与定位系统的设计, 是一项复杂的工程, 涉及多方面计算机图像处理技术, 包括预处理、目标检测、图像分割等。目前国内外已经有着许多关于农业采摘视觉系统的面世, 比如苹果、芒果、葡萄、茶叶等, 但是到目前为止还未出现过一款针对于金银花采摘的视觉系统, 可见其方向之新颖, 市场之广大, 该设计在一定程度上将填补了国内外在这方面的空

白, 具有里程碑的意义。

当前常见的识别果实的技术分为传统视觉技术以及深度学习两类。传统的视觉技术通过计算机视觉处理来分析金银花图像, 具体分为图像采集、图像预处理和特征提取等, 依赖于人工设计和大量标注数据来进行设计模型。传统机器视觉设计对果实进行目标管理时极易受农作物地形、气候以及果实分布距离等因素影响, 加之需要人工输入农作物特征, 其所需训练时间较长且准确度不高, 无法应对复杂的采摘情况。

所以本金银花采摘机器人采用深度学习的方法来设计其视觉系统, 不同于传统的视觉技术, 深度学习则可以在神经网络机器学习算法的基础上, 对深层次的金银花模型特征进行分类和细化, 减少了人工设计的过程并提高了果实识别的精确度。YOLO 算法最早于 2015 年被提出用于农业目标检测, 将果实的检测视为单一的回归问题, 提高了果实的检测效率并降低果实的误拣率, 具有高灵活性的特点。随着 YOLO 算法的不断深入运用, 有学者在其基础上创设了一种基于 YOLOv5s 深度学习的果实花朵视觉检测模型, 具有更快的速度以及精准的检测度[5]。另有学者在 YOLOv5s 视觉检测模型的基础上, 更改了模型 Backbone 层中的主干网络以及 Neck 层中的上采样模块, 提升了视觉检测的准确度和效率, 对金银花的识别更为精确[6]。为未来金银花采摘机器人的视觉识别设计提供了理论依据。

根据金银花的生长特点, 分析选择将金银花头部的中心点作为采摘点。通过将图像中感知到的金银花区域的预测框截取出来, 对其进行灰度化、均衡化、高斯滤波、膨胀、基于 Otsu 方法的阈值分割、腐蚀等操作, 提取出金银花本身, 并转换为二维数组, 均由 0 与 255 组成。对金银花头部区域进行遍历, 筛选中心点。获得该点的深度后, 坐标转换为相机坐标。在表示金银花采摘点的位置时, 设计了一种将四元数法与欧拉角相结合的方案。通过与寻找采摘点相同的方式寻找金银花根部的采用基于 YOLOv5s 算法的深度学习技术, 能够实现对金银花的高准确率识别, 提高采摘机器人的定位精度和采摘效率, 实现真实场景中金银花感知与定位。

本文拟设计出基于深度学习的智能金银花精准感知与定位系统, 获取真实环境下金银花采摘点的三维坐标和采摘位置, 由此引导机器人末端执行器按照顺序采摘相机视野范围内的金银花。

4. 金银花采摘机器人末端执行器设计

机械臂和末端执行机构作为金银花采摘机器人最关键的部位, 关系到被采摘金银花的完整度, 是金银花采摘机器人的核心[7]。末端执行器的设计事关金银花采摘机械臂的精确度和算法逻辑, 是本文研究的重点方向。

4.1. 传动方式的确认

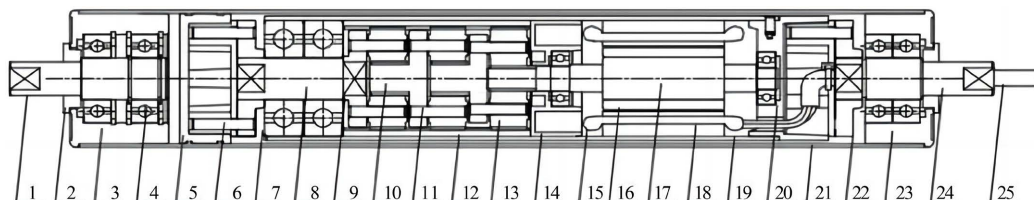


Figure 3. Structure of the drum motor

图 3. 电动滚筒结构

1-碳钢后轴; 2-防尘罩; 3-压铸铝后封盖; 4-轴承; 5-筒体连接座; 6-筒体连接总成; 7-轴承; 8-变速箱输出轴; 9-变速箱输出齿轮架; 10-金属太阳齿轮; 11-行星齿轮销; 12-内齿圈; 13-金属行星齿轮; 14-电机前盖; 15-电机定子线圈; 16-汝铁硼磁钢; 17-带齿电机转子; 18-电机定子铁心; 19-电机机壳; 20-压铸铝电机前封盖; 21-滚筒钢管; 22-连接法兰; 23-压铸铝前封盖; 24-碳钢前轴; 25-电滚筒出线。

在一个完整的机械装置里, 传动装置作为一个不可或缺的部分, 常用的机械传动方式有带传动、链传动、齿轮传动以及蜗杆传动等。参考现有的金银花采摘机器, 发现辊轮往往采用的是外包有橡胶材料的电动滚筒。电动滚筒的结构组成有电机、减速器、滚筒等, 通常运用于传送装置, 具体结构如图3所示。

从上述的电动滚筒可以看出采用的传动方式为齿轮传动, 齿轮传动是机械传动中应用最广泛的一类传动, 传动效率高。通过采用这种内置电机滚筒结构可以最大化地减小末端执行器体积和质量。

4.2. 末端执行器设计

金银花采摘机器人末端执行器的设计需要根据金银花的固有生物特性, 其设计需要满足成熟时期金银花的尺寸大小以及金银花花茎切段所需要的结合力(如图4)。同时还需要完成收集与传送的过程, 且能够负担长时间的金银花采摘工作。因此金银花采摘机器人末端执行器应当尽量满足轻量化的设计, 完成高效的金银花的全部采摘工作。当前大部分采摘机器人都采取手爪夹取机构, 适用于苹果、橙子、梨等有一定重量和大小的果实采摘, 通常采取气动、液动、电动和电磁等方式来驱动手指的开合。显然, 手爪夹取机构并不与金银花的体积大小相对应, 而且如果选取较小的爪形夹取机构, 在采摘过程中难免会对被采摘的金银花造成损害, 所以手爪夹取机构并不适用于金银花的采摘工作, 并不是金银花采摘机器人末端执行机构的最优解。

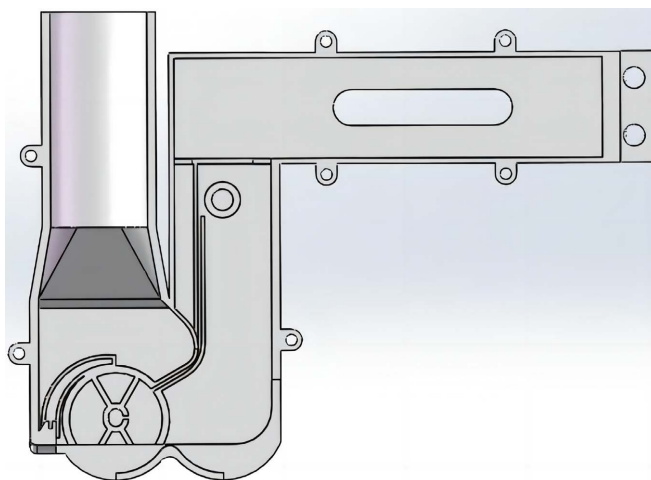


Figure 4. Internal structure of an end-effector
图 4. 末端执行器的内部结构

通过模拟人工采摘金银花的方式, 才能更好地保证金银花采摘机器人采摘金银花时的完整度, 减少金银花的耗损。当前金银花人工采摘方式主要是采用拉拽拔取的方式, 末端执行器需要分别完成两个动作, 即包裹金银花并将金银花从花茎中拔下。该方式在国内外多应用于花卉采摘, 然而在拔下金银花的过程中, 容易造成花茎损害, 从而影响到金银花的生长周期, 对下一次的金银花采摘造成不良影响。在拉拔式金银花采摘机器人的基础上, 将原本的机械爪改为爪刀, 实现利用爪刀切断金银花花茎, 从而完成金银花的完整采摘过程。剪切式采摘机器人能够保证金银花整个采摘周期的时效性, 但有时在持续性金银花采摘过程中, 刀具造成磨损会影响到金银花花茎剪切不彻底。

4.3. 摩擦辊轮设计

相比于上述传统金银花采摘机器人存在的问题, 本文创造性地提出一种摩擦辊轮设计, 利用扭拉式采摘方案能够有效避免传统金银花采摘机器人的短板。即借鉴人工扭拉式采摘金银花的过程, 将金银花

扭转后, 采取牵拉的方式将金银花摘下, 不仅能够保证不同体积的成熟金银花进入到末端执行器。其工作原理是通过运动机械臂带动末端执行器运动, 期间金银花将会进入采摘机器人深部并接触到摩擦辊, 利用摩擦辊将金银花进行扭转采摘。在扭转式采摘过程中, 电齿轮转动带动传动齿轮将力传送给摩擦辊齿轮, 从而摩擦辊齿轮带动摩擦辊轮将金银花进行扭转采摘, 在被摘下的金银花运输到存储箱后, 摩擦辊轮将会回到原始状态进行下一次金银花采摘。

关于所采用的辊轮型号的选择, 查找目前市面上售卖的电动滚筒的直径类型如表 1 所示。

Table 1. Diameter types of drum motors

表 1. 电动滚筒的直径类型

| | | 电动滚筒直径(mm) | | | | | | |
|------|----|------------|----|----|----|----|-----|-----|
| 无刷电机 | 38 | 50 | 57 | 60 | 76 | 80 | 113 | 130 |
| 有刷电机 | 38 | 42 | | 50 | 60 | 76 | | 80 |

但由于在采摘金银花时为了满足在采摘单个花苞时不会影响到其他花苞, 应尽量做到金银花花苞不需要完全伸入采摘头便可被滚筒所夹持住。同时考虑到金银花花苞长度大约在 3 厘米左右, 所以最终选择定制直径为 30 mm 的 24 V 内置高效直流无刷电机滚筒, 功率 30 W。另外为防止在采摘金银花过程因牵引力过大导致金银花花苞被损坏, 最后决定采用额定线速度为 33 M/min 的电动滚筒。

扭拉式金银花采摘方式有效避免了拉拔式采摘和剪切式采摘的弊端, 极大提高金银花采摘机器人末端采摘执行器的采摘效率, 增强了金银花采摘机器人采摘时的稳定性与持续采摘时长, 增加了金银花采摘的可行性。扭拉式采摘机制的设计模拟了人工采摘动作, 减少了对金银花的物理损伤, 提升了采摘质量, 相比传统夹取或剪切式采摘机制, 更加适合金银花这类柔软且易损伤的作物。

5. 其他结构的设计

5.1. 履带小车的设计

履带小车通常的结构都是包括“四轮一带”, 即驱动轮、支重轮、导向轮、拖带轮以及履带[8]。在履带小车工作时, 只有履带会与地面发生接触, 其他结构都是离开地面的。当打开电机后电机轴发生转动时, 通过减速装置使驱动轮发生转动, 再通过驱动轮上的轮齿和履带链之间的啮合, 从而使整个履带发生转动, 进而使机器向前行驶。而履带小车想要完成方向的转动则是需要通过电机提供给两边驱动轮的转速不同完成。

履带行进装置常见的驱动方法有液压式、气动式、和电动式三种类型。下面将三种驱动方式进行分析比较。液压式驱动可以在较小的空间内反而获得较大的工作压力, 并且容易实现自动控制, 且工作时力和速度平稳, 所以能得到偏高的工作精度。但由于采用液压驱动的话需要有供油系统, 且为防止液压传动的液体发生泄露, 相关零件的制造成本也就直线上升。而气压式驱动由于使用的是空气, 所以更加环保且成本更低。但气压式驱动的工作压力低, 虽然更加安全, 但为获得较大的力需要有更大的结构。另外气压驱动传递效率低且具有较大的排气噪音。电动式驱动按照电流的类型和是否同步可以分为普通交、直流电动机驱动, 交、直流伺服电动机驱动以及步进电动机驱动。电动式驱动则相比之下, 电机所占用的体积小、质量轻且所需成本低, 但往往需要搭配减速装置使用。其中普通电机的转速较高, 具有较大的输出力矩, 常被适用于较大的重型设备。而伺服或步进电动机的输出力矩则较小, 容易达到准确控制, 常使用于中小型设备。通过上述驱动方式的描述, 本文最终决定使用伺服电机作为驱动方案以达到较高精度的控制效果。

5.2. 收集装置结构的设计

由于本设计中采用的是负压式收集方法, 所以料仓要能够与鼓风机相连接, 并且要有一个管通道将采摘到的金银花收集到此, 因此设计料仓如图 5 所示。其中料仓分为主体(如图 6 所示)和盖子(如图 7 所示), 其中为方便打开盖子设计了一个把手。

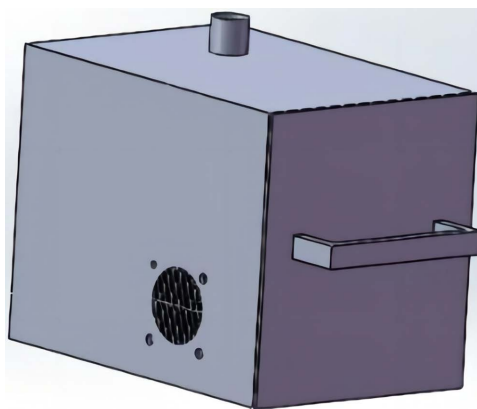


Figure 5. Silo structure diagram

图 5. 料仓结构图

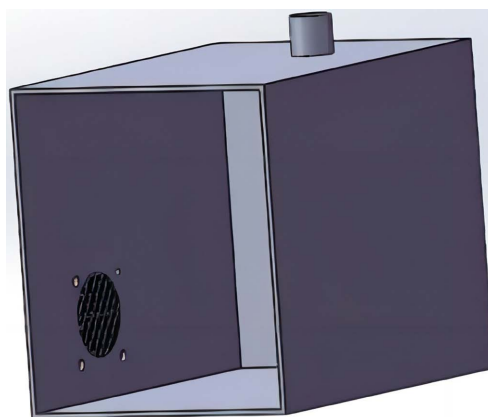


Figure 6. Silo body structure diagram

图 6. 料仓本体结构图

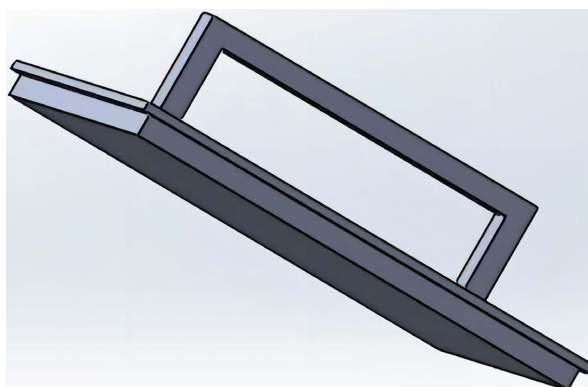


Figure 7. Structure diagram of silo cover

图 7. 料仓盖子结构图

关于鼓风机的型号选择, 采用润玺牌鼓风机, 具体型号为 HG-1500, 鼓风机参数如表 2 所示。

Table 2. Blower parameters
表 2. 鼓风机参数

| 项目 | 指标 |
|------|----------------------|
| 标称功率 | 1500 W |
| 额定电压 | 220 V |
| 最大负压 | 6 KPA |
| 风量 | 36 M ³ /H |
| 风管口径 | 60 mm |
| 重量 | 6.5 KG |

5.3. 机箱结构设计

机器人机箱可以说是机器人的外壳, 用于保护机器人内部的电子元件和机械结构, 同时也可以为机器人提供一个整体美观、易于维护的外观。考虑到整体式的机箱加工的难度较高, 所以决定修改机箱结构为分离式。为了使分离的各面结构能够连接起来, 可以采取的两个方案分别为焊接式和螺栓式。为了之后出现故障时可以简单地拆卸机箱, 选择了使用螺栓结构将所有分离面安装为一体。在最开始的分离式机箱设计中只是参考之前的一体式机箱, 然后简单地将所有面分开绘制并添加螺纹孔示。但后来发现设计分离式机箱的过程中, 没有考虑在何处地方设置螺栓孔能够方便安装, 导致很多螺纹孔的位置如果安装了螺栓会与放置好的机箱发生接触甚至干涉。同时由于采用分离式的结构导致整个机箱的高度过高, 在安装到履带小车后很容易会出现倾覆情况。所以再次修改机箱结构使之成为前后的框架, 并且修改了螺纹孔的位置避免干涉, 同时也更好地设计了镂空结构提高散热情况。关于机箱结构的材料选取, 为了具有相当的承载强度以及安全可靠的基本要求, 机箱选用的材料是 5 mm 厚度的铝合金件。

6. 总结

金银花是我国传统名贵药材, 其本身又具有食品性质, 具有重要经济价值。目前金银花的采摘仍是以人工为主, 机械自动化为辅, 金银花采摘机器人可以降低金银花生产成本和人工劳动强度[9]。本文针对金银花需求量高、采摘成本高、采摘难度大等问题, 通过研究金银花特有生物属性, 为提高生产效率、节约生产成本, 提出的辊轮式金银花采摘机器人, 通过深度学习视觉识别技术和扭拉式采摘机制的创新应用, 不仅提高了采摘效率, 减少了对金银花的损伤, 而且显著降低了生产成本。这些成果对于推动金银花产业的现代化发展具有重要意义, 同时也为其他农作物的机械化采摘提供了新的思路和参考。未来的研究将进一步优化算法, 提升硬件性能, 以实现更高效、更精准的采摘作业, 可以为农业生产现代化的实现提供帮助, 推动我国金银花产业的发展。

项目基金

江苏大学大学生实践创新训练计划项目(202310299968X)。

参考文献

- [1] 左昊冉, 孙鹏, 滕佳林. 银翘的本草考证[J]. 辽宁中医杂志, 2024, 51(6): 144-146.
- [2] 罗宏伟, 李子牧, 杨旭来, 孙步功, 马军民. 花叶兼收型金银花采摘机设计[J]. 林业机械与木工设备, 2023,

51(4): 18-23.

- [3] 石绍俊, 李丽. 电磁带动硅胶管金银花采摘器的研制[J]. 农业科技通讯, 2018(6): 258-260.
- [4] 罗宏伟, 李子牧, 杨旭来, 孙步功, 马军民. 花叶兼收型金银花采摘机设计[J]. 林业机械与木工设备, 2023, 51(4): 18-23.
- [5] 尚钰莹, 张倩如, 宋怀波. 基于 YOLOv5s 的深度学习在自然场景苹果花朵检测中的应用[J]. 农业工程学报, 2022, 38(9): 222-229.
- [6] 范天浩, 顾寄南, 王文波, 等. 基于改进 YOLOv5s 的轻量化金银花识别方法[J]. 农业工程学报, 2023, 39(11): 192-200.
- [7] 高姗, 杨小平, 董文亮. 自走式金银花收获机的设计[J]. 新疆农机化, 2023(2): 16-18+28.
- [8] 吴莹辉. 新型弓腰式移动底盘基础理论与试验分析[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2023.
- [9] 谭杰, 蒋辉霞, 李光辉, 高新, 蒋金巧, 随顺涛, 罗俊. 四川金银花机械化生产现状及发展建议[J]. 四川农业科技, 2023(11): 97-100.