

分类号:
学号: 20212109079

密级: 公开
单位代码: 10759

石河子大学

硕士学位论文



梳刷式金银花采摘装置的设计与试验

学位申请人	李林峰
指导教师	温宝琴 教授
	李树峰 高级实验师
	陈绍杰 高级工程师
申请学位类别	专业硕士
专业名称	机械
研究领域	机械工程
所在学院	机械电气工程学院

中国·新疆·石河子

2024年5月

分类号:
学号: 20212109079

密级: 公开
单位代码: 10759

石河子大学

硕士学位论文



梳刷式金银花采摘装置的设计与试验

学位申请人	李林峰
指导教师	温宝琴 教授
	李树峰 高级实验师
	陈绍杰 高级工程师
申请学位类别	专业硕士
专业名称	机械
研究领域	机械工程
所在学院	机械电气工程学院

中国·新疆·石河子

2024年5月

Design and Test of a Comb-Brush-Type Honeysuckle-Picking Device

A Dissertation Submitted to
Shihezi University
In Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Engineering

By

Li Linfeng

(Mechanical Engineering)

Dissertation Supervisor: Professor Wen Baoqin

Senior Experimentalist Lin Shufeng

Senior Engineer Chen Shaojie

May ,2024

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明


学位论文独创性声明

本人所提交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名： 时间：2024年5月15日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名： 时间：2024年5月15日

导师签名： 时间：2024年5月15日

摘要

金银花是我国常用中药材，其主要成分也广泛用于医药与茶饮等领域。目前金银花采摘主要以人工采摘为主，存在采摘成本高、采摘效率低等问题，制约了金银花产业的发展。采用机械化采收则可大幅降低采收成本，提高采摘作业效率，有效缓解金银花采收期出现的劳动力短缺现象。因此本研究针对立杆辅助式金银花种植模式设计了一种梳刷式采摘装置。主要研究内容如下：

(1) 金银花种植农艺调研与基本物料特性测定。通过田间测量，确定金银花田间种植行距与株距，确定金银花植株平均株高、结花区域平均高度、最低花蕾平均离地高度和植株篷径等参数。利用测量工具，测量了各个花期花蕾的质量、形态尺寸、含水量。对金银花的枝条与花蕾等物料特性进行了测定，主要包括枝条的弹性模量、泊松比、剪切模量；物料间的静摩擦系数、滚动摩擦系数、碰撞恢复系数；枝条与枝条、枝条与花蕾的最大拉力和最大剪切力等参数。

(2) 梳刷式金银花采摘装置关键结构设计及影响因素确定。依据理论计算与预实验确定装置的采摘带宽度，采摘半径；通过对 T 形带的应力分析与挠度分析，确定 T 形带材质，截面尺寸；结合金银花植株枝条特点与加工工艺要求，确定了采摘齿长度、采摘排齿排数、采摘齿排布。对采摘齿进行分析，即采摘齿采摘花蕾受力分析、采摘齿运动过程分析和采摘齿打击力分析，最终确定影响采摘装置工作性能的主要因素为装置前进速度、主动轴转速和采摘齿长度。

(3) 基于离散元法的花金银花植株建模与梳刷式采摘装置采摘过程仿真分析。首先利用 EDEM 软件建立金银花植株与梳刷式金银花采摘装置的离散元仿真模型。其次对梳刷式采摘装置的动态采摘过程进行了仿真，验证了采摘原理的合理性。接着以采摘过程中的接触碰撞合力为指标，装置前进速度、主动轴转速和采摘齿长度为影响因素进行单因素仿真试验，探明影响因素对接触碰撞合力的影响规律。最后依据花叶与植株的实际连接力，初步确定了后续田间试验影响因素的参数优化范围。

(4) 梳刷式金银花采摘装置田间试验及参数优化与验证研究。进行了梳刷式金银花采摘装置田间单因素试验，验证仿真试验的可靠性。以采摘装置前进速度、主动轴转速、采摘齿长度作为试验因素，以金银花采净率、金银花破损率、含杂率作为试验指标，利用 Box-Behnken 方法设计三因素三水平田间试验。利用 Design-Expert 软件进行了方差分析，构建了试验指标与试验因素间的数学模型。利用响应曲面法分析了各因素间对评价指标的交互作用，并进行了模型参数优化，获得最佳参数组合为前进速度 4 km/h、主动轴转速 317 r·min⁻¹、采摘齿长度 70 mm。以优化参数值进行验证试验，试验结果与模型优化预测值相对误差最大为 4.86%，表明梳刷式金银花采摘装置可满足机械化采摘作业需求，可为金银花采摘装备研发提供参考。

关键词：梳刷式；金银花采摘装置；仿真分析；田间试验

Abstract

Honeysuckle is a commonly used traditional Chinese medicine in China, and its main components are also widely used in medicine and tea and other fields. At present, honeysuckle harvesting is mainly based on manual harvesting, there are problems such as high harvesting cost and low harvesting efficiency, which restricts the development of honeysuckle industry. The use of mechanized harvesting can significantly reduce harvesting costs, improve the efficiency of harvesting operations, and effectively alleviate the labor shortage phenomenon that occurs during the honeysuckle harvesting period. Therefore, this study designed a brush-type picking device for the pole-assisted honeysuckle planting mode. The main research contents are as follows:

(1) Agronomic research on honeysuckle planting and determination of basic material characteristics. Field measurements were made to determine honeysuckle field planting row spacing and plant spacing, and to determine parameters such as the average plant height of honeysuckle plants, the height of the flowering area, the average height of the lowest flower buds above the ground, and the diameter of the canopies. The mass, morphological dimensions, and water content of flower buds at each flowering stage were measured using measuring tools. The material properties of honeysuckle branches and buds were determined, including the elastic modulus, Poisson's ratio, and shear modulus of the branches; the coefficient of static friction, coefficient of rolling friction, and coefficient of recovery of collision between the materials; and the maximum tensile force and maximum shear force of the branches and branches, and of the branches and buds, among other parameters.

(2) The key structural design of the comb-and-brush honeysuckle picking device and the determination of influencing factors. Based on theoretical calculations and pre-tests to determine the device picking belt width, picking radius; through the T-shaped belt stress analysis and deflection analysis, to determine the T-shaped belt material, cross-section size; combined with the characteristics of the honeysuckle plant branches and processing requirements, to determine the length of the picking teeth, the number of rows of picking teeth rows, picking rows of teeth row layout. The force analysis of the picking tooth picking buds, the analysis of the picking tooth movement process and the analysis of the picking tooth striking force, respectively, finally determined that the main factors affecting the performance of the picking device are the device forward speed, the active shaft speed and the length of the picking tooth.

(3) Modeling of honeysuckle plant and simulation analysis of the picking process of comb-and-brush picking device based on discrete element method. The discrete element simulation model of honeysuckle

plant and brush honeysuckle picking device was established by using EDEM software. Firstly, the dynamic picking process of the brush picking device was simulated and analyzed to verify the rationality of the picking principle. Secondly, the contact collision force in the picking process is taken as the index, and the forward speed of the device, the rotational speed of the main shaft and the length of the picking teeth are taken as the influencing factors for the single-factor simulation test, so as to explore the influence law of the influencing factors on the contact collision force. Finally, based on the actual connection force between flowers and leaves and plants, the parameter optimization range of the influencing factors for subsequent field tests was preliminarily determined.

(4) Field test of comb-and-brush honeysuckle picking device and parameter optimization and validation study. A one-factor field test of the comb-and-brush honeysuckle picking device was conducted to verify the reliability of the simulation test. The Box-Behnken method was utilized to design a three-factor, three-level field test using the forward speed of the picking device, the rotational speed of the main shaft, and the length of the picking teeth as the test factors, and the honeysuckle picking clean rate, honeysuckle breakage rate, and impurity content rate as the test indexes. The analysis of variance (ANOVA) was carried out using Design-Expert software, and the mathematical model between the test indexes and the test factors was constructed. The response surface method was used to analyze the interaction between the factors on the evaluation indexes, and model parameter optimization was carried out to obtain the optimal parameter combinations of forward speed of 4 km/h, rotational speed of the active shaft of 317 r·min⁻¹, and the length of the picking teeth of 70 mm. Validation experiments were carried out with the values of the optimized parameters, and the relative error between the experimental results and the optimized predicted values of the model was 4.86% at the maximum, which indicated that the comb brush type Honeysuckle picking device can meet the demand of mechanized picking operation, which can provide reference for the research and development of honeysuckle picking equipment.

Key words: Comb and brush; Honeysuckle picking device; Discrete element simulation; Field trial

目 录

摘 要	I
Abstract	II
目 录	IV
第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 金银花采收机研究进展及分析	2
1.3 梳刷式采摘装置国内外研究现状	6
1.4 研究目标与研究内容	9
1.4.1 研究目标	9
1.4.2 研究内容	9
1.5 研究方法与技术路线	10
1.5.1 研究方法	10
1.5.2 技术路线	11
1.6 本章小结	11
第 2 章 金银花种植农艺调研与基本物料特性测定	12
2.1 金银花种植农艺调研与株型参数测定	12
2.2 金银花花蕾、枝条物料特性测定	15
2.2.1 花蕾质量与形态特征测量	15
2.2.2 枝条本征参数测量	17
2.2.3 物料与装置接触参数测量	18
2.2.4 物料粘结参数测量	21
2.3 本章小结	23
第 3 章 梳刷式采摘装置关键部件的设计与分析	25
3.1 装置作业对象及设计要求	25
3.2 梳刷式金银花采摘装置的整体结构与工作原理	25
3.2.1 整体结构	25
3.2.2 工作原理	26
3.3 梳刷式采摘机构关键部件设计	27
3.3.1 采摘带宽度结构设计	27

3.3.2 梳刷式采摘机构采摘半径确定	28
3.3.3 梳刷式采摘机构 T 形带设计	29
3.3.4 梳刷式采摘机构采摘齿设计	31
3.4 采摘齿作业分析	31
3.4.1 采摘齿采摘花蕾受力分析	32
3.4.2 采摘齿运动状态分析	33
3.4.3 采摘齿作用力分析	34
3.5 接花鳞板设计	35
3.6 本章小结	36
第 4 章 基于离散元法的金银花植株建立与仿真分析	37
4.1 金银花植株 DEM 仿真模型建立方法	37
4.1.1 接触模型的理论描述与定义	37
4.1.2 金银花植株离散元模型建立	38
4.2 梳刷式金银花采摘装置离散元建模	40
4.3 仿真结果分析	42
4.3.1 采摘过程分析	42
4.3.2 关键影响因素对采摘齿与植株接触碰撞合力的影响	42
4.3.3 关键影响因素试验范围的确定	45
4.4 本章小结	46
第 5 章 梳刷式金银花采摘装置田间试验与分析	47
5.1 装置试制	47
5.2 试验条件与指标	47
5.2.1 试验条件	47
5.2.2 试验指标	48
5.3 田间单因素试验设计与结果分析	49
5.3.1 单因素试验设计	49
5.3.2 单因素试验结果与分析	49
5.4 田间正交试验设计与结果分析	50
5.4.1 正交试验设计	50
5.4.2 回归模型建立与显著性分析	51
5.4.3 试验因素对评价指标的交互影响规律分析	54
5.5 试验最佳参数组合确定及验证	55
5.6 本章小结	57

第 6 章 结论与展望	58
6.1 结论	58
6.2 展望	59
参考文献	60
致谢	64
作者简介	65

第1章 绪论

1.1 研究背景与意义

金银花属忍冬科多年生半常绿藤本植物，别名忍冬^[1]，是一种具有多种作用的植物。金银花一直以来是我国大宗中药材之一，现代药理学研究表明，金银花及其活性成分具有广泛的药理作用，如抗菌、抗炎、抗病毒等作用^[2-4]，同时金银花也广泛应用于茶饮保健和养颜美容等领域^[5-7]。随着金银花作为多种产品的原材料被广泛使用，其需求量逐年增大，但传统的金银花采收方式主要依靠人工采摘，采摘效率低，并且金银花的采摘时间较短，一旦错过最佳采收时期，金银花中的有效成分将会大打折扣，影响干花的外观，对金银花的价格影响巨大，同时金银花采收时间通常为夏季，分散在5至8月之间^[8]，与一些主要农作物成熟时间相同，雇佣人工采收更加困难，且随着近年来人工成本的持续提升，进一步压缩了金银花种植的利润，严重抑制了金银花产业的规模化发展^[9]。



图 1-1 金银花种植田

Fig 1-1 Honeysuckle field



图 1-2 收获的金银花

Fig 1-2 Harvested Honeysuckle



图 1-3 人工采摘

Fig 1-3 Manual picking

针对上述所说的金银花采摘困难的问题，国内也有部分学者做了相关研究，设计出了手持式或背负式的小型金银花采摘器^[10-11]，用于辅助工人采摘，虽然采摘效率有一定的提高，但人工需求和劳动强度并没有降低，不适合规模化的金银花采摘，所以当前市场上并没有大规模的推广应用。目前金银花在部分国外地区主要作为一种观赏性植物，被阿根廷、巴西、墨西哥、澳大利亚、新西兰和美国引入^[12]。此外由于金银花的生长特性，其在北美和新西兰等地广泛生长，因此金银花在当地受到限制^[13]，所以部分国外学者主要针对金银花对生态环境造成的影响进行研究^[14-15]。在亚洲地区，金银花在日本、韩国等地均有种植^[16]，但种植面积不大，鲜有对金银花采收设备的相关报道与文献。

机械化采摘技术的引入为解决传统采摘方式的种种问题提供了新的思路和解决方案。机械化采摘能够有效提高金银花的采摘效率，降低人工成本，缩短采摘周期，提

高金银花产品市场竞争力。此外，机械化采摘还能够减少对人工劳动力的依赖，缓解人工劳动力短缺的问题，为金银花产业的可持续发展提供可靠的技术支持。因此实现金银花机械化采收对于促进金银花产业的发展和推动农业现代化和乡村振兴具有重大意义。

1.2 金银花采收机研究进展及分析

金银花是许多地区的“致富花”，与金银花相关的产业也是多地的支柱产业，并且由于金银花特有的抗病毒功能，近些年来市场对其需求量不断增加，国内金银花种植面积也在不断的扩大，因此金银花采收设备的研究也进入了快车道。例如成都工业学院郭海华提出了一种手持式金银花采摘装置^[17]，如图1-4所示，该装置操作简单，且质量轻不需要背负使用，使用条件不受限制，操作简便，省时省力，提高了采摘的效率。该设计无需电力或油力消耗，便于推广使用。

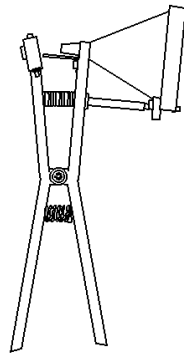


图 1-4 手持式金银花采摘装置

Fig.1-4 Handheld Honeysuckle Picking Device

甘肃农业大学李祺善发明了一种金银花采摘机^[18]，如图1-5所示，通过在电机以及齿轮啮合的作用下，带动第一传动辊和第二传动辊反向转动，带动金银花在第一传动辊的表面移动，使金银花从枝干上摘除，实现采摘操作，提高了装置的实用性。

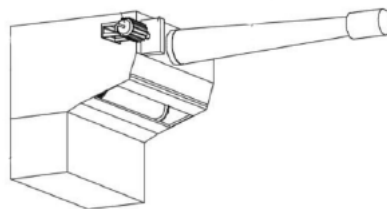


图 1-5 对辊式金银花采摘机

Fig.1-5 Roller type honeysuckle picker

罗会平发明了一种带有收料功能的手持式金银花采摘器^[19]，如图1-6所示，该采摘