

分类号: S225  
学号: 20222109057

密级: 公开  
单位代码: 10759

# 石河子大学 硕士学位论文



## 斜置辊刷式干红花采摘装置的设计与试验

学位申请人	张利娟
指导教师	曾海峰 赵鹏达
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

2025年5月

分类号: S225  
学号: 20222109057

密级: 公开  
单位代码: 10759

# 石河子大学

## 硕士学位论文



### 斜置辊刷式干红花采摘装置的设计与试验

学位申请人	张利娟
指导教师	曾海峰 赵鹏达
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

2025年5月

**Design and test of inclined roller brush type dry safflower picking  
device**

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

**By**

**Zhang Lijuan**  
**(Mechanical Engineering)**

Dissertation Supervisor: Prof.Zeng Haifeng

May, 2025

# 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

本人所呈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：张利娟

时间：2025年5月25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：张利娟

时间：2025年5月25日

导师签名：张利娟

时间：2025年5月25日

# 摘 要

红花是新疆重要的经济作物之一，目前还没有实现机械化采收。干红花花丝具有小而轻，硬而脆的特性，导致干花丝难采摘，且采摘过程产生破碎，影响了干红花采摘机械的采摘效果。本文对国内外干红花采摘机械和辊刷式采摘方式的研究现状进行综合分析的基础上，通过干红花物料特性的测定并分析辊刷采摘干红花原理，设计了适用于干红花采摘的斜置辊刷式采摘装置，通过 LS-DYNA 仿真分析、性能试验等方法结合，探究了装置的采摘作业性能。具体研究工作及结论如下：

(1) 对新疆红花种植模式进行实地调研，选取新疆塔城地区旱地种植的“裕民无刺”红花为样本，对其宏观生长参数和干红花力学特性进行测定，得到株距、幅宽、果球数、最高果球高度、最低果球高度、果球锥度、干花丝-果球结合力、含水率等数据，对干红花采摘装置的结构设计及作业要求进行分析，确定干红花采摘的技术要求和作业工况。

(2) 根据干红花的物料特性测定，设计了斜置辊刷式干红花采摘装置，并对该装置各机构进行设计与分析，确定了关键零部件的结构及参数，确定了采摘所用刷丝材质。对采摘辊进行分析，即干红花受力分析和运动过程分析，最终确定影响采摘装置工作性能的主要因素为辊刷转速、辊刷倾角和前进速度。

(3) 基于接触力学建立干花丝-果球-刷丝接触模型，得到干花丝-果球理论分离受力；基于 LS-DYNA 进行干花丝脱离仿真，获得了干花丝-果球分离时接触力的变化过程以及峰值接触力。并以峰值接触力为评价指标对辊刷式采摘干红花的运动参数进行试验，得到中心试验水平，以此开展正交仿真优化试验，试验结果得到运动参数中影响峰值接触力的因子主次顺序，并依据干花丝-果球的实际结合力，初步确定了后续试验影响因素的参数范围。

(4) 搭建干红花采收性能试验台。首先通过植株通过率试验确定最佳辊刷间距，然后进行了辊刷式干红花采摘装置单因素试验，验证仿真试验的可靠性，并以辊刷转速、前进速度和辊刷倾角为试验因素，以采净率和伤果率为试验指标，采用三因素三水平正交旋转组合试验探究了各因素及其交互作用对装置作业性能的影响，通过方差分析，得到最佳参数组合，得到理论采净率为 91.17%，伤果率为 0.27%。通过试验验证，实际采净率为 88.97%，伤果率为 0.21%，作业性能满足红花采收技术规程，可为干红花采摘装置的研发提供参考。

**关键词：**辊刷式；干红花采摘；有限元分析；性能试验

## Abstract

Safflower is one of the important economic crops in Xinjiang. At present, mechanized harvesting has not been achieved. The dry safflower filaments are small, light, hard and brittle, which makes them difficult to pick and causes breakage during the picking process, affecting the picking effect of the dry safflower picking machinery. Based on a comprehensive analysis of the current research status of dry safflower picking machinery and roller brush picking methods at home and abroad, through the determination of the material characteristics of dry safflower and the analysis of the principle of roller brush picking dry safflower, an inclined roller brush picking device suitable for dry safflower picking was designed. Through the combination of methods such as LS-DYNA simulation analysis and performance tests, The picking operation performance of the device was explored. The specific research work and conclusions are as follows:

(1) The planting pattern of safflower in Xinjiang was investigated on the spot. The samples of "Yu-Min no-thorns" safflower planted in dry land in Tacheng area of Xinjiang were selected as samples. The macro growth parameters and mechanical characteristics of dry safflower were measured, and the plant spacing, width, number of fruit balls, highest fruit ball height, lowest fruit ball height, fruit ball tapered, dry safflower-fruit ball binding force and water content were obtained. The structure design and operation requirements of the picker of dry safflower were analyzed, and the technical requirements and working conditions of dry safflower picking were determined.

(2) Based on the determination of the material characteristics of dry red flowers, a slanted roller brush type dry red flower picking device was designed. The design and analysis of each mechanism of the device were carried out. The structure and parameters of the key components were determined, and the material of the brush wire used for picking was determined. The picking roller was analyzed, that is, the force analysis and movement process analysis of the dry safflower, and the main factors affecting the performance of the picking device were determined as the roller brush rotational speed, roller brush inclination angle and the forward speed.

(3) Based on contact mechanics, the contact model of dry filaments-fruit balls - brush silks were established, and the theoretical separation force of dry filaments-fruit balls was obtained. Based on LS-DYNA, the process of contact force change and the peak contact force during the separation of dry filament and fruit ball were obtained. In addition, the peak contact force was used as the evaluation index to test the movement parameters of roller-brush picking dry safflower, and the central test level was obtained, and then the orthogonal simulation optimization test was carried out. The test results obtained the primary and

secondary order of factors affecting the peak contact force in the movement parameters, and the parameter range of influencing factors in subsequent tests was preliminarily determined according to the actual binding force of dry safflower filaments and fruit balls.

(4) Build a test bench for the harvesting performance of dry safflowers. Firstly, the optimal roller brush spacing was determined through the plant pass rate test. Then, a single-factor test of the roller brush-type dry safflower picking device was carried out to verify the reliability of the simulation test. Taking the roller brush rotational speed, forward speed and roller brush inclination Angle as the test factors, and the picking rate and injury fruit rate as the test indicators, The influence of each factor and its interaction on the operational performance of the device was explored by using the three-factor and three-level orthogonal rotation combination test. Through analysis of variance, the optimal parameter combination was obtained, and the theoretical harvesting rate was 91.17% and the fruit injury rate was 0.27%. Through experimental verification, the actual harvest rate was 88.97%, the fruit injury rate was 0.21%, and the operation performance met the technical regulations for safflower harvesting, which can provide a reference for the research and development of dry safflower picking devices.

**Key words:** Roller brush type; Dry safflower picking; Finite element analysis; Performance test

# 目 录

摘 要 .....	I
Abstract .....	II
第 1 章 绪论 .....	1
1.1 研究背景及意义 .....	1
1.2 国内外研究现状 .....	2
1.2.1 红花与类质物料采摘机械研究现状 .....	2
1.2.2 斜置辊刷式采摘机械研究现状 .....	8
1.3 研究目标与研究内容 .....	11
1.3.1 研究目标 .....	11
1.3.2 研究内容 .....	11
1.4 研究方法与技术路线 .....	12
1.4.1 研究方法 .....	12
1.4.2 技术路线 .....	12
1.5 本章小结 .....	14
第 2 章 干红花采摘装置总体方案设计 .....	15
2.1 红花种植模式 .....	15
2.2 干红花宏观生长参数与力学特性测定 .....	15
2.2.1 干红花宏观生长参数测定 .....	15
2.2.2 干红花力学特性测定 .....	18
2.3 干红花采摘装置总体设计与原理分析 .....	20
2.3.1 斜置辊刷式采摘原理 .....	20
2.3.2 干红花采摘设计要求 .....	21
2.3.3 总体结构与工作原理 .....	21
2.4 本章小结 .....	22
第 3 章 斜置辊刷式干红花采摘装置关键部件设计与分析 .....	23
3.1 扶禾机构设计与分析 .....	23
3.1.1 扶禾机构作用分析 .....	23
3.1.2 结构参数设计 .....	24
3.2 斜置辊刷式采摘机构设计与分析 .....	25
3.2.1 斜置辊刷式采摘机构结构设计 .....	25

3.2.2	斜置辊刷式采摘机构参数设计 .....	26
3.2.3	斜置辊刷作业分析 .....	29
3.3	调节机构设计 .....	30
3.4	传动机构 .....	32
3.5	本章小结 .....	33
第 4 章	基于力导向的干红花采摘机构仿真试验 .....	34
4.1	斜置辊刷采摘干红花受力分析 .....	34
4.2	辊刷刷丝-干红花采摘力学分析 .....	34
4.2.1	辊刷刷丝-干红花接触模型 .....	34
4.2.2	干花丝受力理论分析 .....	35
4.3	LS-DYNA 仿真前处理 .....	37
4.3.1	辊刷-干红花模型建立 .....	37
4.3.2	材料特性 .....	38
4.3.3	接触和约束设置 .....	38
4.4	仿真试验与分析 .....	39
4.4.1	仿真过程与运动轨迹 .....	39
4.4.2	干花丝-果球分离接触力分析 .....	41
4.4.3	正交试验与参数优化 .....	42
4.5	本章小结 .....	44
第 5 章	斜置辊刷式干红花采摘性能试验与参数优化 .....	45
5.1	干红花采摘性能试验台搭建 .....	45
5.1.1	样机试制 .....	45
5.1.2	试验目的 .....	46
5.1.3	试验条件与设备 .....	46
5.2	植株通过率参数优化试验 .....	47
5.2.1	试验方法与评价指标 .....	47
5.2.2	试验结果与分析 .....	47
5.3	性能采摘试验 .....	47
5.3.1	试验方法 .....	47
5.3.2	试验因素及评价指标 .....	48
5.3.3	单因素试验与分析 .....	48
5.3.4	Box-Behnken 试验与分析 .....	51
5.3.5	参数优化与试验验证 .....	55
5.4	本章小结 .....	56

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
石河子大学硕士研究生学位论文导师评阅表.....	66

## 第1章 绪论

### 1.1 研究背景及意义

红花是一种油、药、饲料、天然色素、染料兼用的经济作物，世界各地的年栽培面积为106.1万~152.8万公顷，产量为70.2万~101.7万吨<sup>[1]</sup>，目前我国的红花种植面积和产量占世界种植的80%，而新疆又占全国种植面积的80%。红花作为一年生草本植物，花丝与种籽成熟在不同时期<sup>[2]</sup>，采花时不能伤及果球以及提供养料的茎秆枝条，对于花丝收获机械提出了比较高的要求，如图1-1(a)、(b)所示，为人工采收旱地干红花。由于其含水率的变化，红花盛开四天后可以称为半干红花，开放六天以后称为干红花，如图1-1(c)、(d)所示，鲜红花采摘阶段花丝一直延伸至果球内部，花丝团簇在果球顶端形成明显紧致的缩颈，而干红花花丝则是蔫附于果球四周。目前国内已开展了大量关于鲜红花采收机械的研究，形成的技术已能够实现红花与果球的分离，但因鲜红花开放的时间不统一，且采收时需人工背负或手持采摘器辅助<sup>[3]</sup>，致使采摘效率难以大幅度提升，造成大量开放的鲜红花来不及采收而变干。

据文献<sup>[4-5]</sup>，直接采摘的干花丝在药用成分上与鲜花晒干后没有显著差别，甚至主要营养成分山柰酚在衰落期中的含量更高，其药用成分完全能达到国家药典标准规定范围，且干红花采收时间统一，便于推行批量采收的大型机械。



图 1-1 旱地干红花

Fig.1-1 Dry safflower plants in dry land

国家西部大开发战略的实施以及《新疆维吾尔自治区农业（种植业）“十四五”

发展规划》<sup>[6]</sup>等政策的出台，为红花产业提供了前所未有的历史机遇和发展条件。随着西部大开发战略纵深推进，中央关于“稳疆兴疆、固边富民”和加强民族地区发展的战略部署，以及国家关于加强边境地区基础建设的决定，目前红花产业已成为自治区的支柱性产业之一。2022年中央新疆工作座谈会也提出要加快新疆城镇化、农业产业化发展。《国家中长期科学和技术发展规划纲要》和《新疆生产建设兵团国民经济和社会发展规划第十四个五年规划纲要》<sup>[7]</sup>也明确了农业机械化发展的大趋势与要求。

旱地红花机械化采收技术对推动产业规模化发展具有重要意义。由于干红花花丝与果球分离所需扰动力小，且采收时红花籽已成熟，果球适度损伤不影响籽粒发育，因此更适合大规模机械化作业。本文针对上述问题，结合干红花物料特性，设计采摘装置，重点解决采摘时干红花的破损问题并提高采净率，为提升红花机械化采收水平、促进产业规模化发展提供技术支撑。

## 1.2 国内外研究现状

### 1.2.1 红花与类质物料采摘机械研究现状

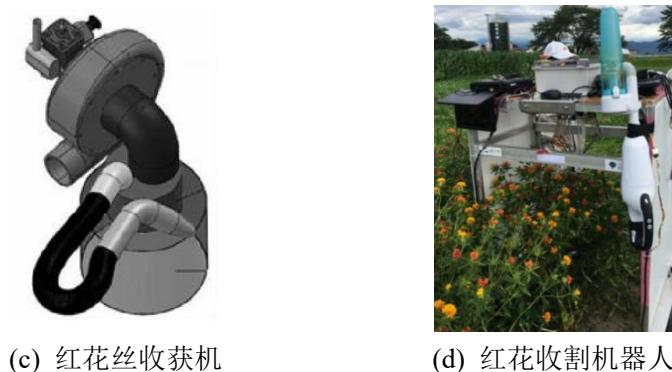
国外对于红花的采摘技术日渐成熟。2003年印度的 NARI (Nimbakar Agricultural research Institute) 研制出了一种气力肩负式红花丝采收机，利用风机气吸采收花丝，不适宜长时间大面积作业，在一定程度上增加了农民的劳动强度，如图 1-2(a)所示。2004年，NARI<sup>[8]</sup>改进了气力肩负式红花丝采收机，发明了一种气力式手推红花丝采收机，如图 1-2(b)所示，该采收机由农药喷雾器改装而来，未能实现全程机械化盲采，并未从根本上降低劳动力。2012年，伊朗的 Siavash Azimi<sup>[9]</sup>设计了一种红花丝收获机，如图 1-2(c)所示，也是采用负压气流吸附原理采收花丝，该方式相比人工采收的采净率大大增加，但是存在吸力较弱、噪音较大、损失率高等缺点。2012年，意大利拉奎拉大学的 M.G. Antonelli 等人<sup>[10]</sup>研发了一种采收红花的农业机器人，2020年日本<sup>[11]</sup>提出了一种基于人工智能的红花收割机器人，如图 1-2(d)所示。以上均是针对鲜红花采摘的方式，采摘过程中需要逐朵对准红花果球，效率不高。



(a) 气力肩负式红花丝采收机



(b) 气力式手推红花丝采收机



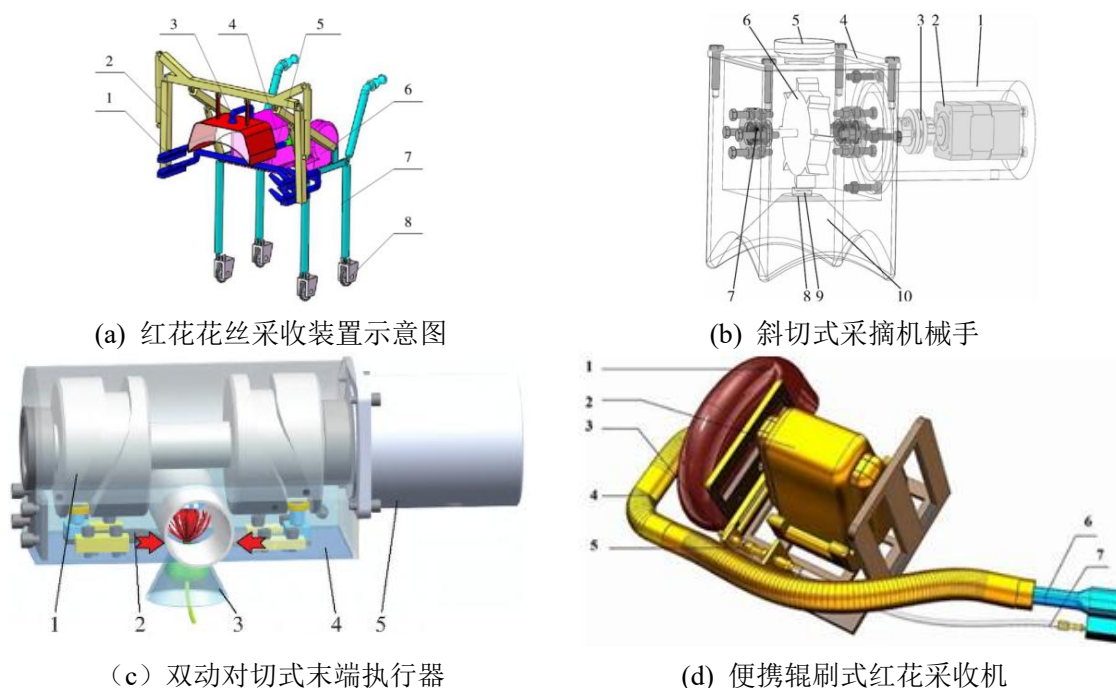
(c) 红花丝收获机

(d) 红花收割机器人

图 1-2 国外红花丝收获机械

Fig.1-2 Foreign safflower filaments harvesting machinery

农机科研工作者自 1994 年开始就进行相关红花采摘机械的研究，到目前为止，陆续出现了气力式<sup>[12-13]</sup>如图 1-3(a)所示，剪切式<sup>[14-15]</sup>如图 1-3(b)所示，双动对切式末端执行器<sup>[16]</sup>如图 1-3(c)所示，辊刷式<sup>[17-21]</sup>如图 1-3(d)所示，梳夹式<sup>[22-24]</sup>等多种机型，但是这些方式基本是针对鲜红花的生长特点，且相较人工采收，工作效率并没有得到显著提高。



(a) 红花花丝采收装置示意图

(b) 斜切式采摘机械手

(c) 双动对切式末端执行器

(d) 便携辊刷式红花采收机

图 1-3 鲜红花采摘机械

Fig.1-3 Fresh safflower picking machinery

此外，国内外现有的新兴技术在红花采摘中也有应用，路昊等人<sup>[25]</sup>针对红花采摘自走能力差，工作时会发生倾斜等问题，设计了一种红花采摘移动平台，为红花采摘作业机械提供应用平台并为后续的实地田间试验提供支撑；王小荣等人<sup>[26]</sup>针对果球密集、遮挡等造成红花机械化采摘识别不准确的问题，提出一种改进模型，为红花机械化实时采摘研究提供技术支持；张新月等人<sup>[27]</sup>为解决智能化采收中红花识别易受复杂环境、限制的问题，提出一种轻量化红花识别方法，为后续红花的智能化采收装备研

发提供了技术支持。邱兆鑫等人<sup>[28]</sup>针对红花自动化采摘装置采净率不高、破碎率大的问题,设计一种双刀联动机构的采摘装置,如图 1-4 所示,为红花自动化采收提供理论依据和技术参考,上述文献均是针对鲜红花且需精准定位,工作效率低,不适用于干红花采摘。

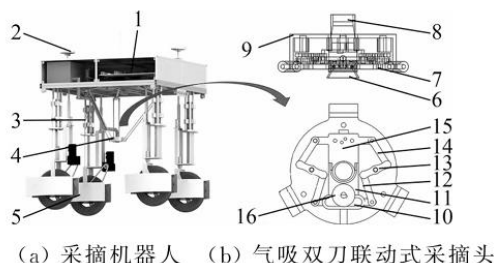
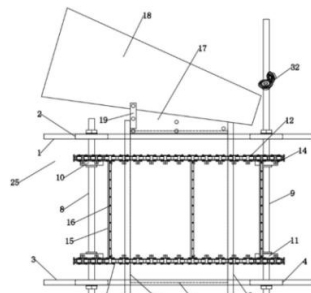


图 1-4 结构示意图

Fig.1-4 Schematic diagram of the structure

国内外对于干花丝的采摘研究报道很少。2021 年,葛云等人<sup>[29]</sup>设计了一种干红花采摘机,利用滚筒毛刷将干红花丝从果球上刷下来附到毛刷上,而后由风机将干红花丝吹到花丝出口,完成干红花丝的采摘工作。2021 年裕民县何一敏<sup>[30]</sup>提出采用刷毛采摘干红花,如图 1-5 所示,当整机前进工作时,一对相对运动的辊刷完成干花丝的采摘,最后利用两侧气流吹送至收集箱完成干花丝采收。

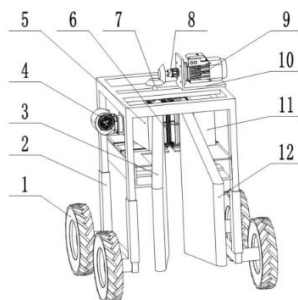


- 1.上撑杆 3.下撑杆 5、6.竖撑杆 7.挡板机构 8、9.轴杆 10、11.齿轮 12、13.链条 14.侧连接耳 15.支撑条 16.插钉 17.侧连接支撑片 18.红花出筒 19.外八字形结构 22.车体 25.采摘机构

图 1-5 干红花采摘机

Fig.1-5 Dry safflower picking machinery

2021 年,张立新等人<sup>[31]</sup>设计了一种距离可调式干红花采摘实验台,如图 1-6 所示,通过调节采摘装置,实现滚动毛刷位置的精确调节,实现干花丝采摘。

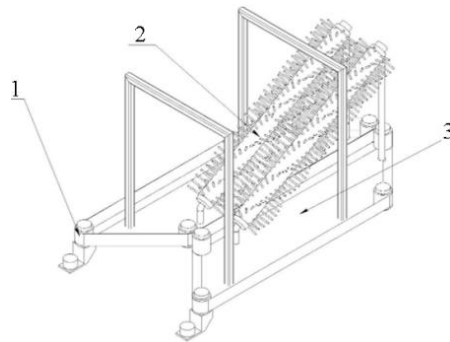


- 1.轮胎 2.车身机架 3.左扶禾器 4.吹风机 5.密封罩 6.红花采摘装置 7.锥齿 8.联轴器 9.电机 10.电机固定板 11.集花箱 12.右扶禾器

图 1-6 距离可调式干红花采摘实验台

Fig.1-6 Distance adjustable dry safflower picking experimental bench

2023年赵风光<sup>[32]</sup>公开了一种红花采摘装置，如图1-7所示，利用两侧毛刷辊向内旋转将红花向上拔起，实现红花与主体的分离。

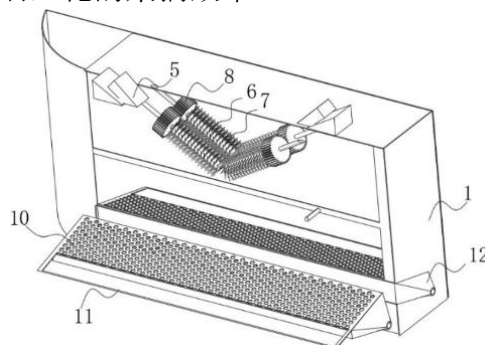


1.同步夹紧机构 2.毛刷辊 3.机架

图 1-7 红花采摘装置

Fig.1-7 Safflower picking machinery

2023年，许燕等人<sup>[33]</sup>提出一种利用两个毛刷条对向旋转的方式采摘干红花，如图1-8所示，并设置多组此类装置，但花茎自身具有一定的韧性，导致花茎在受到牵引力时会发生摇晃的现象，影响红花的采摘效率。

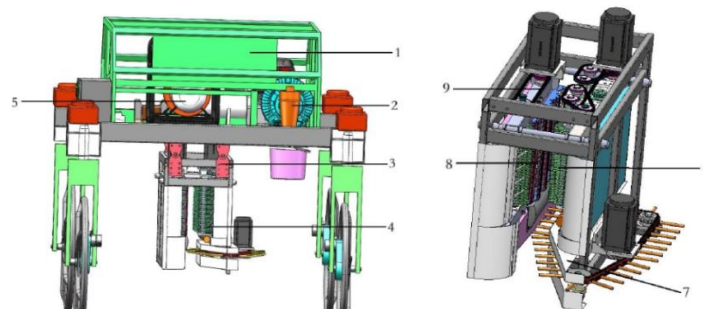


1.第一壳体 5.第二电机 6.采摘杆 7.毛刷条 8.齿轮 10.滤网 11.延长框 12.导料斗

图 1-8 高效率干红花采摘台

Fig.1-8 High efficiency dry safflower picking table

2024年，周凯、燕冬伏等人<sup>[34-35]</sup>针对干红花采收，设计了一种毛刷辊组式红花花丝采收机械与采收方法，如图1-9所示采用毛刷辊式，毛刷辊和凹板之间装有与毛刷辊适配的栅格，利用负压风机与收集罩完成干花丝收获，实现了花丝的机械化盲采，采摘以及收集均采用机械化作业，极大的提高了采收效率，降低了采收成本。



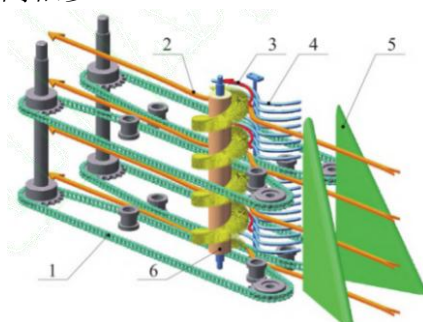
1.自走底盘 2.收集装置 3.悬挂连接板 4.采摘装置总成 5.电力系统 6.采摘装置 7.扶禾装置

8.凸轮推送装置 9.传动装置

图 1-9 毛刷辊组式红花花丝采收

Fig.1-9 Brush roller group of safflower filaments harvesting

2024年,孙超、辛献军等人<sup>[36-37]</sup>针对旱地干红花人工采收时不易对准导致采摘效率低、掉落率高等问题,设计了立式辊刷干红花收获机采摘装置,如图1-10所示,采用立式辊刷与栅条架对单行干红花收获,首次实现了干红花采摘机的落地试验,相较于人工采摘机械采摘效率提高很多。



1.夹持链条 2、3.红花植株运动路径 4.栅条架 5.扶禾器 6.立式辊刷

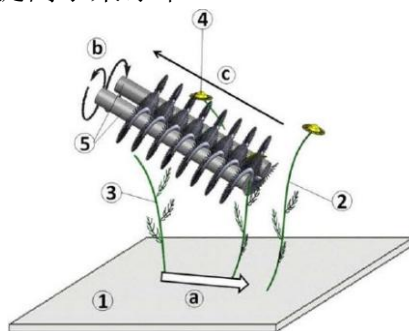
图 1-10 立辊式干红花收获机

Fig.1-10 Vertical roller dry safflower harvesting machinery

以上研究均是针对辊刷刷丝采摘干红花提出的概念机或设想,从现有的研究分析可知,基于“辊刷”的采摘方案是提高干红花采净率、降低劳动强度的主要研究方向,但目前基于“辊刷”采摘法的采摘设备主要以专利的形式呈现,只有很少的采摘机真正实现了落地,因此还需继续研发新的干红花采摘设备,解决目前劳动力不足、采净率低等问题。

国内外针对菊花、茶叶、枸杞等与干红花具有相似特性的作物已研发出多种采摘机械,但由于不同作物在生物力学特性方面仍存在差异,现有设备普遍存在作物适配性局限,目前尚无适用于特性不同物料的通用型采收设备,因此在研发过程中需结合干红花的独特性,对现有采收技术进行适应性改进和优化。

2010年,Brabandt and Ehlert 等人<sup>[38]</sup>为解决洋甘菊的采收设计了一款螺旋滚筒钉齿式摘花装置如图1-11所示,通过滚筒的旋转使钉齿将花朵摘下。Martinov 等人对该装置进行测试,在较高的旋转速比下,摘下的花朵数量会增大,但同时由于残渣导致的堵塞风险也会增大,该方案提高了采净率。



1.地面 2.采摘的植株 3.采摘后的植株 4.摘下的花朵 5.辊子

图 1-11 辊式摘花装置

Fig.1-11 Roller type flower picker