

李景彬,王晓华,坎 杂,等. 剪切式红花采收装置的设计与试验[J]. 江苏农业科学,2015,43(11):537-539.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.11.165

剪切式红花采收装置的设计与试验

李景彬,王晓华,坎 杂,张 斌,田 康,孙 凯

(新疆石河子大学机械电气工程学院,新疆石河子 832000)

摘要:为解决人工采收红花成本高、效率低、劳动强度大等问题,设计了适合国内红花种植模式和农艺要求的剪切式红花采收装置。该装置采用负压风机产生的吸气流梳理红花,使红花竖立起来,并露出红花与花托的连接处,电机带动动刀片产生往复运动剪切红花,剪切下来的红花在负压气流的作用下被输送至收集箱,完成红花的采摘、输送、收集工作。田间试验结果表明,该装置生产率 0.53 kg/h,损失率 1.17%,含杂率 1.50%。

关键词:红花;采收装置;剪切式

中图分类号: S225.99 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)11-0537-03

红花别称草红花、川红花、杜红花、红蓝花,是菊科一年生草本双子叶植物,集染料、药材、油料、饲料为一体,原产于埃及尼罗河上游地区,现广泛分布于非洲、中亚、地中海地区^[1-3]。我国主要产于安徽省、河南省、浙江省、新疆自治区等地区,现全国各地已普遍栽培^[4]。红花是新疆“红色产业”重点发展项目之一,每年种植面积为 2.0 万~2.7 万 hm^2 ,总产量达 2.7 万~3.6 万 t,占全国红花总产量的 80% 左右^[3]。目前红花完全依靠人工采收,缺点是劳动强度大、生产效率低、采收成本高。人工采收成本占红花种植成本的一半,严重制约了红花产业发展,因此亟需研究开发红花采收机械技术及装备。笔者设计了 1 种剪切式红花采收装置,旨在为促进红花产业发展提供依据。

1 采收装置机构和工作原理

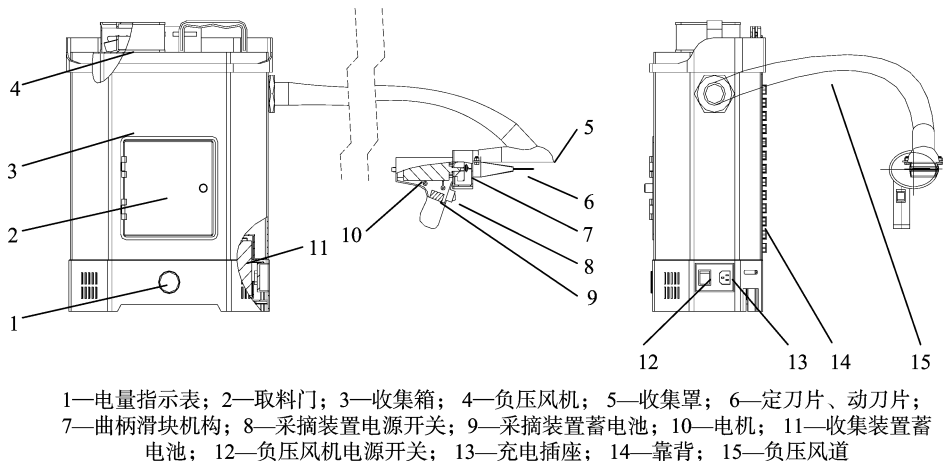


图1 红花采收装置结构示意图

剪切式红花采收装置如图 1 所示,主要由采摘装置(收集罩、刀片、曲柄滑块机构、采摘装置电源开关、电机、蓄电池等)、收集装置(取料门、收集箱、负压风机等)两大部分组成。采摘装置的主要功能是通过电机驱动曲柄滑块机构,使动刀片往复运动,剪切红花与花托的连接处。收集装置的主要功能是利用负压风机产生的吸气流把采摘装置剪切下来的红花通过负压风道输送至收集箱。工作时,将采摘装置的刀片靠近红花与花托的连接处,同时负压风机产生的吸气流使红花经过梳理作用竖立起来,完全露出红花与花托的连接处,此时采摘装置电机带动曲柄滑块机构进行运动,通过动刀杆传递至动刀片,动刀片、定刀片对红花与花托的连接处进行剪切,剪切下来的红花在收集罩中负压的作用下,通过负压风道被传送到收集箱,完成采摘、输送、收集工作,最后通过收集箱后部的取料门取出红花。

2 关键零部件的选型和设计

2.1 刀片

定刀片、动刀片是采摘装置的主要工作零件,剪切工作要求刀片材料耐磨、硬度高、弹性大^[5]。因此定刀片、动刀片采用光刃结构,该结构刀片剪切省力、割茬较整齐,但刀刃易磨损,工作中需要经常对刀片进行刃磨。刀片属于易损件,为了

收稿日期:2014-11-12

基金项目:国家级大学生创新创业训练计划(编号:201410759031)。

作者简介:李景彬(1980—),男,河南淮阳人,副教授,硕士生导师,主要从事农业机械化工作。E-mail:ljb8095@163.com。

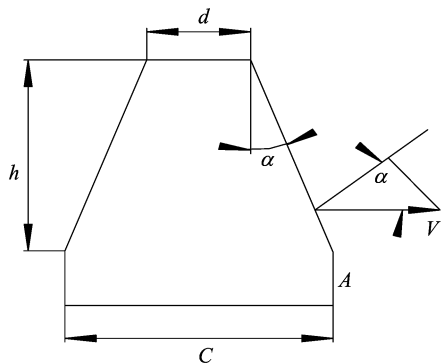
通信作者:坎 杂,教授,博士生导师,主要从事农业机械化工作。

E-mail:kz-shz@163.com。

保证其具有较好的冲击韧性和一定的耐磨性,选用 T9 碳素工具钢作为刀片^[6]。刀片的刃部需要进行回火、淬火,淬火宽度为 11~15 mm,经过热处理后,刃部硬度为 HRC 50~60,非淬火区的硬度不得超过 HRC 35^[7-8]。动刀片有关结构参数如下:刃角 α (刃线的倾角)、动刀片的宽度 c 和 d 、刃部高度 h 。刃角 α 是动刀片的主要设计参数之一,其大小既影响剪切红花阻力,又决定能否钳住红花^[9]。刃角增大,则剪切阻力减小;当刃角由 15° 增加至 45° 时,剪切阻力减小一半。剪切阻力减小的原因是当刃角增加时,刀片相对于红花的滑切速度 V_1 增大(图 2)。

$$V_1 = V \sin \alpha。$$

式中: V 为动刀片的速度。

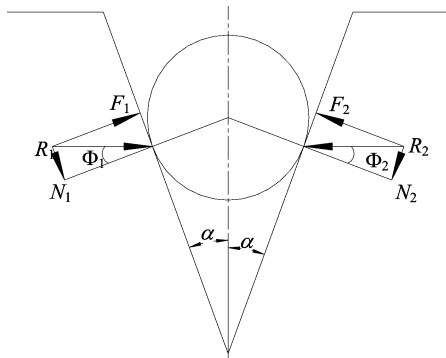


d 为动刀片前宽; h 为动刀片刃部高度; c 为动刀片后宽; V 为动刀片的速度; α 为刃角; A 为刀刃起始点

图2 动刀片结构示意图

刃角 α 过大时会引起红花与花托连接处剪切时沿刃线向外滑动,甚至钳不住红花与花托的连接处,不能保证可靠剪切。因此,必须以钳住红花与花托连接处为前提,尽量选择较大的刃角 α 。剪切瞬时,钳住红花与花托连接处的条件为:2 刃口作用红花与花托连接处的合力 R_1 、 R_2 必须在同一条直线上^[10]。因为 $F_1 \leq N_1 \tan \Phi_1$, $F_2 \leq N_2 \tan \Phi_2$, $F_1 = F_2$, $\Phi_1 = \Phi_2$, 其中, $\Phi_1 = \Phi_2$ 是动刀片对红花与花托连接处的摩擦角(图 3)。

钳住红花与花托连接处的条件为: $2\alpha \leq \Phi_1 + \Phi_2$ 。经测定,光刃动刀片配合时,对红花与花托的连接处的摩擦角之和为 $\Phi_1 + \Phi_2 = 40^\circ \sim 42^\circ$,取动刀片的剪切角 α 为 20° ,符合钳住红花与花托连接处的条件。动刀片的刃部高度影响动刀片纵向倾斜量的大小、单位长度刃口上的负荷。它与刃角 α 的参数关系为 $h = \frac{c-d}{2 \tan \alpha}$,根据试验结果,取动刀片宽度为 $c = 20$ mm, $d = 2$ mm,动刀片刃部高度 $h = 24$ mm。



α 为切割角; R_1 、 R_2 为 2 刃口作用于红花与花托连接处合力

图3 刀片钳住红花与花托连接处的条件

定刀片、动刀片分别和其刀杆成为一体,刀杆尾部和传动结构相连接,将动力传递给动刀。

2.2 传动机构

实现从电机的旋转运动到动刀的往复直线运动的中间传动机构采用曲柄滑块机构。曲柄滑块机构是采摘装置的核心部件,为了提高装置的平稳性并延长使用寿命,曲柄滑块机构采取无急回特性的对心曲柄滑块机构。曲柄滑块机构如图 4 所示,电机固定在 A 点,驱动曲柄 AB 作圆周运动。动刀刀杆尾部固定在连杆 BC 的末端 C 点处,连杆 BC 和动刀刀杆采用球副连接。当电机驱动曲柄 AB 作匀速圆周运动时,动刀会随着连杆来回摆动。因此,可确定曲柄 AB 为 a ,连杆 BC 为 b , θ 为极位夹角, γ 为传动角。

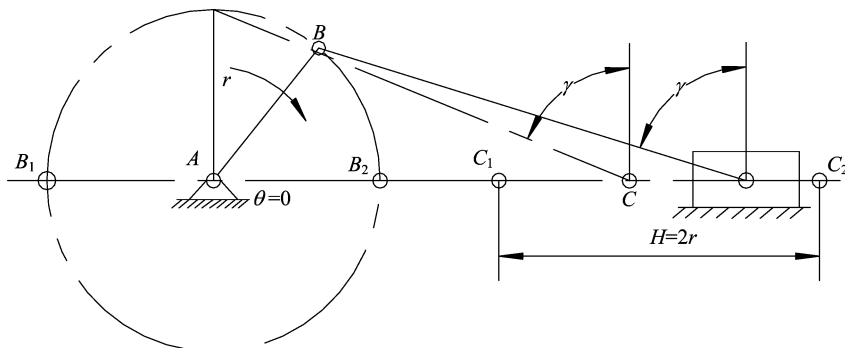


图4 对心曲柄滑块机构

考虑到红花直径、花托直径、红花与花托连接处的直径、采摘装置的灵活性,设计动刀片的有效行程为 $s = 20$ mm,动刀的旋转固定轴在动刀杆的中心,因此刀杆尾部的行程是 20 mm,曲柄的长度是 10 mm。同时,在无急回特性曲柄滑块机构的设计中,需要考虑到传动角最小值 γ_{\min} ,理论上讲,传动角 γ 越大,机构的传力性能越好,反之传力性能越差。在一般机械中,推荐 $[\gamma] = 40^\circ \sim 50^\circ$,对于传递功率比较大的机构,为了提高工作效率,可以使 $[\gamma] \geq 50^\circ$ ^[11-13]。本设计考虑

到工作效率及机构各杆件之间的干涉问题,设计连杆的长度为 48 mm,此时 $\gamma_{\min} = 65^\circ$ 。

2.3 负压风送系统

2.3.1 风量的确定 负压风机风量的确定采用置换原则及末速度原则^[14]。在作业过程中,气流不仅要被吸进收集箱,还要将携带的红花送进收集箱,要求红花与花托连接处至吸花罩的气流具有一定速度,否则气流不能携带红花进入收集箱。如图 5 所示,根据置换原则原理,负压风机的风量应为图

中从吸花罩至 $ABCD$ 的体积,为计算方便起见,计算长方体的体积,即:

$$Q = abhTK_1。$$

式中: a 代表吸风罩吸红花有效长度, m ; b 代表吸风罩吸红花有效宽, m ; h 代表从吸风罩到红花与花托连接处之间的距离, m ; T 代表将 1 朵红花剪切下需要的时间, 经过试验测定, 约 1 s; K_1 代表考虑到气流衰减和沿途损失而确定的系数, 1.3 ~ 1.6。

根据末速度原则, 经过 $ABCD$ 截面的风量应等于收集管出口截面的风量再乘上 K_2 。即:

$$Q = A_1 V_1 K_2 = V_2 ab。$$

式中: Q 代表风量, m^3/s ; A_1 代表收集管出口截面的面积, m^2 ; V_1 代表收集管出口截面风速, m/s ; K_2 代表与作物品种、气象条件、红花密度等因素有关的系数, 1.3 ~ 1.8; V_2 代表气流到达截面 $ABCD$ 时的风速, m/s 。

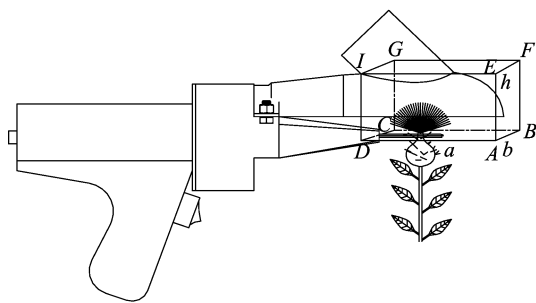


图5 剪切式红花采摘装置风量置换图

当鲜红花含水率平均值为 54% 时, 鲜红花悬浮速率为 2.70 m/s, 考虑到实际情况, 取 $V_2 = 10.0$ m/s, 此时风机风量为 0.04 m^3/s [15]。

2.3.2 风压的确定 负压风机的全压主要包括动压损失、静压损失(局部压力和摩擦压力)。

动压损失:

$$p_d = \frac{1}{2} \rho v^2;$$

局部压力损失:

$$p_j = \frac{1}{2} \xi \rho v^2;$$

摩擦压力损失:

$$p_m = \frac{\lambda}{4R} \times \frac{\rho v^2}{2} L;$$

总压:

$$p = p_d + p_j + p_m。$$

式中: p 为负压风机总压, Pa ; p_d 为动压损失, Pa ; p_j 为局部压力损失, Pa ; p_m 为摩擦压力损失, Pa ; V 为气流速度, 10 m/s; ρ 为空气密度, 1.20 kg/m^3 ; λ 为摩擦系数, 0.1; R 为负压风道的半径, 0.4 m; ξ 为局部阻力系数, 1.3; L 为负压风道长度, 1.5 m。

经计算, $p_d = 60$ Pa, $p_j = 78$ Pa, $p_m = 5.62$ Pa, $p = 143.62$ Pa。

3 田间试验

试验于 2014 年 7 月在新疆维吾尔自治区昌吉回族自治州乐土

驿镇进行, 对红花采收装置样机进行田间生产性试验、可靠性试验, 并进行现场测试。主要对装置的生产率、损失率、含杂率等参数进行检测。经测试, 装置的设计强度、制造工艺基本达到了要求, 而且装置能够适合当地红花采收作业。由表 1 可知, 剪切式红花采收装置的生产率为 0.53 kg/h, 损失率 1.17%, 含杂率为 1.50%。

表 1 剪切式红花采收装置田间试验检测结果

项目	生产率(kg/h)	损失率(%)	含杂率(%)
设计要求	≥0.50	≤3.00	≤3.00
检测结果	0.53	1.17	1.5

4 结论

本研究表明, 剪切式红花采收装置可实现红花采摘、输送、收集过程的机械化, 提高红花的采收效率, 减轻纯手工采收劳动强度, 降低人工采收成本和提高经济效益, 对全国红花产业的进一步发展具有一定的意义。本研究设计了采用球副连接动刀刀杆与曲柄滑块机构的传动机构和负压风送系统, 丰富了相关药材采摘和收集理论, 为相关机具的研发提供了参考。田间试验和测试结果表明, 该机性能可靠, 参数指标优于设计要求。

参考文献:

- [1] 王若菁, 杨 滨. 红花的化学成分及质量标准研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2007(5): 65-69.
- [2] 任水莲, 王 健, 王晓梅, 等. 新疆红花生育气候条件分析与适生种植气候区划[J]. 中国农业气象, 2005, 26(2): 119-122.
- [3] 王果平, 帕丽达, 李晓瑾, 等. 药用植物红花新疆产地适应性数值分析[J]. 中国民族民间医药, 2010, 19(23): 49-50.
- [4] 田 兰, 吴桂荣, 王 岩. 新疆塔城地区额敏县红花的品质研究[J]. 中国药业, 2007, 16(1): 5-7.
- [5] 向家伟, 杨连发, 李尚平. 小型甘蔗收获机根部切割器结构设计[J]. 农业机械学报, 2008, 39(4): 56-59.
- [6] 刘志刚, 王德成, 翟改霞, 等. 往复式双动刀灌木收割机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊1): 102-106.
- [7] 徐秀英, 张维强, 杨和梅, 等. 小型牧草收获机双动切割装置设计与运动分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 156-161.
- [8] 黄 晖, 陈富瑞, 邓干然, 等. 小型甘蔗切碎机的研制及试验研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 111-114.
- [9] 东北农学院. 农业机械学: 下册[M]. 北京: 农业出版社, 1961.
- [10] 张兰星, 何月娥. 谷物收获机械理论与计算[M]. 北京: 高等教育出版社, 1994.
- [11] 王锋德, 陈 志, 王俊友, 等. 4YF-1300 型大方捆打捆机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(11): 36-41.
- [12] 倪际梁, 何 进, 李洪文, 等. 便携式人工模拟降雨装置的设计与率定[J]. 农业工程学报, 2012, 28(24): 78-84.
- [13] 邓昭铭, 张 莹. 机械设计基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [14] 李 超, 张晓辉, 姜建辉, 等. 葡萄园立管风送式喷雾机的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(4): 71-78.
- [15] 李景彬, 王晓华, 坎 杂, 等. 红花的物料特性测定与分析[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(2): 235-237.