

自走式红枣捡拾机的设计

王洪昌^{1,2}, 李燕^{1,2}, 梅砚晨^{1,2}, 潘涛^{1,2}, 袁昊^{1,2}, 曾荣^{1,2}

(1. 华中农业大学工学院, 湖北武汉 430070; 2. 农业部长江中下游农业装备重点实验室, 湖北武汉 430070)

摘要 由于红枣矮化密植的特点, 红枣收获大多依靠人工, 效率低下, 劳动强度大。为解决这一问题, 在已有红枣捡拾机器的基础上, 基于负压产生气吸的原理设计了一种自走式红枣捡拾机, 该机器主要由收集装置、清选装置、行走机构、传动机构、动力系统和底盘组成。利用负压收集红枣, 该设计能有效减少红枣捡拾过程中的冲击损坏, 具有初步清选的功能, 并且实现了自走, 提高了劳动效率。

关键词 红枣; 捡拾机; 自走式; 气吸式

中图分类号 S 225 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)15-0208-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.15.057

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Design of Self-propelled Red Jujube Collector

WANG Hong-chang^{1,2}, LI Yan^{1,2}, MEI Yan-chen^{1,2} et al (1. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070; 2. Key Laboratory of Agricultural Equipment in Mid-lower Yangtze River, Ministry of Agriculture, Wuhan, Hubei 430070)

Abstract Due to the characteristics of dwarf dense planting of red jujube, the harvest of red jujube mostly depends on artificial operation, which is of low-efficiency and high-labor intensity. In order to solve this problem, on the basis of the existing red jujube picking machine, a self-propelled red jujube collector was designed based on the principle of gas suction generated by negative pressure. The collector is mainly composed of collecting component, clearing device, walking mechanism, transmission mechanism, power system and chassis. The negative pressure was used to collect red jujube, this design could effectively reduce the impact damage in the process of collecting red jujube, it had a preliminary cleaning function, which could realize self-propelled function and improve the labor efficiency.

Key words Red jujube; Collector; Self-propelled; Gas suction

红枣是我国的特色林果, 是一种重要的经济作物, 含有丰富的维生素, 食用价值和药用价值很高。由于红枣在矮化密植种植模式下产量高、生产效益好, 矮化密集种植已成为红枣种植的主要方式^[1-2]。传统的红枣收获方法为人工敲打枣树枝, 枣落地后人工捡拾, 这不仅劳动量大, 而且效率低下^[3]。近年来, 农业工作者急剧减少, 采摘劳动力出现短缺。红枣捡拾产业的机械化也迫在眉睫。因此, 设计一种自走式红枣捡拾机, 对杂物进行初步清理, 并且能有效保证红枣的质量, 且可以暂时储存大量红枣。

目前市场投入使用的红枣摘选机有机械式和气吸式2种^[4]。机械式捡拾机有捡拾辊式和滚筒毛刷式, 但会对红枣造成损伤, 利用振动装置, 达到枣树分离的目的, 但此种方式会对枣树造成损伤。市场上现有的气吸式捡拾机(如YE3600型)^[5]对红枣或者枣树没有造成较大的损伤, 但不足之处是此机器效率低, 由于机器密封, 倒出红枣比较繁琐, 且没有自走功能。

现有的气吸式红枣捡拾机功耗较大, 具有初步清选和自走功能的较少。针对现有的问题, 笔者设计了一种自走式红枣捡拾机, 该机器基于负压原理直接从地上捡拾红枣, 并对红枣进行初步清选, 旨在实现高效捡拾红枣的过程中对红枣进行清选, 同时具有自走的功能, 优化红枣收集和倾倒装置, 有效提高红枣捡拾的工作效率。

1 自走式红枣捡拾机的设计

1.1 结构 针对红枣矮化密集种植模式, 设计了一种气吸

式的自动红枣捡拾机。红枣捡拾机整机底盘为三轮结构, 具有较强的稳定性, 且能实现转向功能, 主要结构包括机架、风机、风箱、闭风器、波纹管、集枣箱、清选系统、行走机构和传动系统(图1)。吸管与风箱相连, 风箱与闭风机相连, 闭风机与清选机相连。当捡拾机工作时, 风机旋转产生负压, 红枣被风机所产生的负压吸取, 通过波纹管进入风箱, 因重力落入闭风器, 闭风器转动使得红枣落入清选系统。清选系统中的风机将杂质吹出, 清选后的红枣落入收集箱, 箱体后方有一开口, 便于集枣箱的更换。前轮为万向轮, 动力系统将动力通过传动系统传到行走轮上, 从而实现机器的自主行走。

1.2 工作原理 启动柴油机后, 通过联轴器、皮带轮等传动机构将动力传送给风机、闭风器等装置。大风机处于工作状态时, 在真空室中产生负压, 红枣通过气吸管被吸取。闭风器工作, 阻止外来空气进入, 保证捡拾的红枣能够连续不断地及时排出, 落入收集箱中; 柴油机的动力通过减速器减速, 传递给小风机, 小风机产生较小的风力, 清除杂质; 此机器的前轮为万向轮, 可以方便地调整行走方向, 后轮通过柴油机提供的动力驱动, 由离合器控制, 实现自走功能。

2 关键部件设计

2.1 闭风器的设计 该机器的创新之处在于增加了闭风器(图2), 其主要功能是将红枣连续不断地及时排出, 同时阻止外空气进入, 具有良好的密封性。该闭风器是由带有数片叶片的转子叶轮、壳体、密封件等组成。叶轮采用敞开式, 既能起到防止堵塞的作用, 又减轻了机重, 缩小了外型。

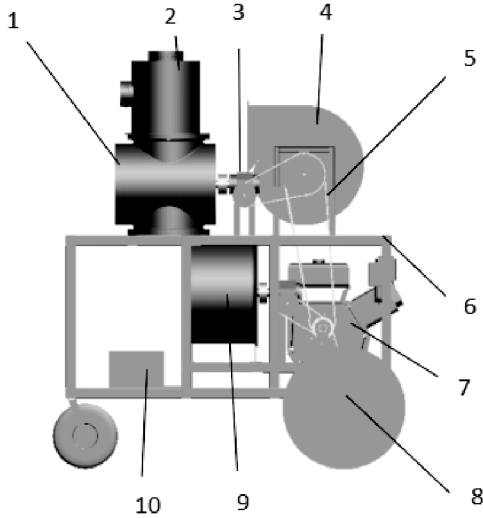
2.2 传动系统的设计 自走式红枣捡拾机的传动系统主要由联轴器、皮带轮组成。动力分别通过2个皮带轮传递到风机、行走轮、闭风器中。皮带传动具有简单的结构, 低成本和

基金项目 华中农业大学大学生科技创新基金项目(2018233); 国家自然科学基金青年项目(51605182)。

作者简介 王洪昌(1984—), 男, 河南太康人, 讲师, 博士, 从事农业机械仿生理论与技术研究。

收稿日期 2019-04-01

缓冲吸振作用;皮带弹性较好,工作时可以缓冲、吸振。当负载过大时,皮带轮会打滑,可以防止损坏其他部件,起到安全保护的作用。



注:1. 闭风器;2. 真空室;3. 减速器;4. 大风机;5. 传动装置;6. 机架;7. 动力装置;8. 行走装置;9. 小风机;10. 收集箱

Note: 1. Rotary feeder; 2. Vacuum chamber; 3. Reducer; 4. Large fan; 5. Transmission device; 6. Rack; 7. Power unit; 8. Travel device; 9. Small fan; 10. Collector

图 1 自走式红枣捡拾机的结构

Fig. 1 The structure of self-propelled red jujube collector

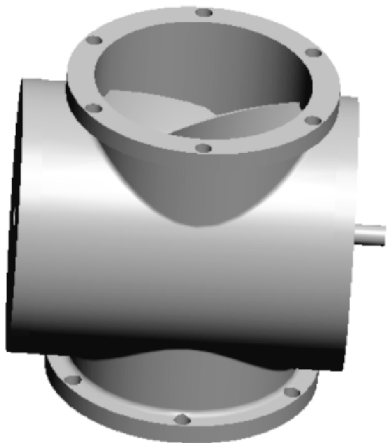


图 2 闭风器

Fig. 2 Rotary feeder

2.3 风机的选择与计算

2.3.1 风机 1 的选择与计算。风机 1 的主要功能是产生用于捡拾红枣的负压,红枣能被吸起的临界速度即为红枣悬浮速度,即负压对红枣产生的吸力等于红枣重力。这里应满足的条件为最大质量的红枣可在最小投影面积时被吸起。根据悬浮速度公式,可列出以下平衡方程:

$$m_{\max}g - 0.5\rho C_d S_j v_i^2 = 0 \quad (1)$$

式中, m_{\max} 为南疆地区单个红枣的最大质量; g 为重力加速度; ρ 为空气密度,取 1.205 kg/m^3 ; C_d 为阻力系数; S_j 为红枣在运动方向上的投影面积; v_i 为悬浮速度。

根据新疆南疆红枣的标准, m_{\max} 取值 0.036 kg ,阻力系数 C_d 为 0.6 ,红枣在运动方向上的投影面积 S_j 为 0.003 m^2 ,可得到 $v_i = 18.2 \text{ m/s}$ 。同时,为了确保可靠的气流输送速度,将悬浮速度乘以气流速度系数 K ,可使红枣能可靠地进行气吸收, K 的取值设为 $1.2^{[6]}$ 。

$$v = Kv_i \quad (2)$$

式中, v 为安全风速, K 为安全系数, v_i 为悬浮速度。

根据公式(2)计算,可得出安全风速 $v = 21.8 \text{ m/s}$ 。该速度为可靠的气流速度,红枣能被平稳吸入。

风机的选取需要满足风压要求,即系统的总风压损失。风压损失主要包括动压损失、摩擦压力损失和吸入口局部压力损失。

$$p = \frac{\lambda}{4R_s} \times \frac{\rho v^2}{2} \times L + (\xi + \sigma_\varphi) \times \rho v_3^2 / 2 \quad (3)$$

式中, R_s 为管道的水力半径,直径为 D 的圆形管道 $R_s = D/4$; λ 为摩擦系数,橡胶 $\lambda = 0.0285D^{-0.285}V^{-0.01}$, D 为圆形管道直径; v_3 为橡胶管内气流速度; ρ 为尘气速度比,通常 $\rho = 0.5 \sim 0.8$,取 $\rho = 0.6$; ξ_n 为吸入口的局部压力损失系数,取 $\xi_n = 5$; σ_φ 为混合比,对于收获机 $\sigma_\varphi = 0.01 \sim 0.03$,取 $\sigma_\varphi = 0.02$,计算出风压为 1861.7 Pa 。

风速-压力方程如下:

$$p = 0.5 \times \rho \times v^2 \quad (4)$$

式中, $p = 1861.8 \text{ Pa}$,代入式(4),得出风机出口风速 $v = 55.6 \text{ m/s}$ 。

所需风量如下:

$$Q = A' \times v / n \quad (5)$$

式中, n 为系统的密封效率系数, $n = 0.90 \sim 0.95$,取 $n = 0.90$; A' 为截面积,计算出 $A' = 0.0118 \text{ m}^2$; v 为风速,计算出 $Q = 0.729 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

风机的有效功率: $N_e = QP/1000 = 0.729 \times 1861.8/1000 = 1.357 \text{ (kW)}$ 。

风机的效率: $\eta = 0.65$ 。

风机的功率为 $N = N_e / \eta = 1.357 / 0.65 = 2.09 \text{ (kW)}$ 。

2.3.2 风机 2 的选择与计算。风机 2 主要的作用是产生风力,将杂质与红枣分离,枣叶在气流场中的受力与枣叶在气流场中下落的姿态角(枣叶的纵轴线与气流方向之间的夹角)有关,姿态角不同,受力面积不同。枣叶在气流场中承受气流阻力、浮力、重力 3 种力^[6],与枣叶重力及气流阻力相比,浮力可以忽略不计。气流阻力进一步分为压差阻力及沿程阻力。压差阻力是枣叶表面压力的合力在来流方向的分力,是枣叶上表面和下表面上的压力之间的差值;沿程阻力是枣叶与气流产生相对运动时上表面与下表面之间产生的摩擦力,是作用在枣叶表面上的切应力在来流方向的总和。枣叶受力情况如图 3 所示。

按以下公式计算重力:

$$G_1 = M_1 g \quad (6)$$

压差阻力 F_1 在垂直方向上的分量:

$$F_1 = \Delta P S_1 \sin \beta \quad (7)$$

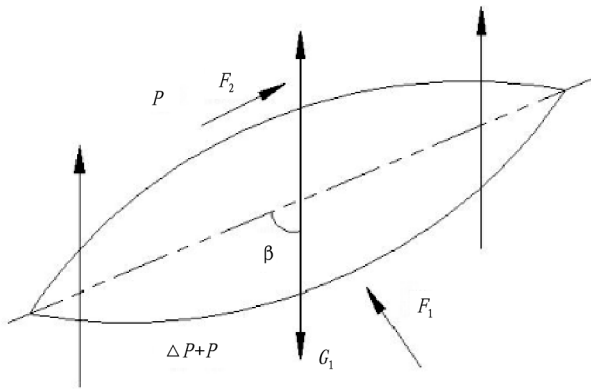


图3 枣叶在气流场中的受力分析图

Fig. 3 Stress analysis of red jujube leaf in airflow field

沿程阻力 F_2 在垂直方向上的分量:

$$F_2 = (\Delta P + P) S_1 f \cos \beta - P S_1 f \cos \beta = \Delta P S_1 f \cos \beta \quad (8)$$

其中,枣叶的上表面区域和下表面区域的气流速度不同,下表面的气流速度大于上表面的气流速度。

气流阻力在垂直方向的合力:

$$F = \Delta P S_1 \sin \beta + \Delta P S_1 f \cos \beta \quad (9)$$

也可以写成:

$$F = \Delta P S_1 (\sin \beta + f \cos \beta) = P_c S_1 (\sin \beta + f \cos \beta) \quad (10)$$

式中, P 为枣叶上表面受到的气流压力,单位为 N/m^2 ; ΔP 为枣叶上下表面的压力差,单位为 N/m^2 ; β 为枣叶落下时与气流之间的夹角; f 为摩擦系数,与枣叶的形状、气流的运动状态有关。

根据伯努利方程可知,在流体运动中忽略了黏性损失,单位质量流体携带的总能量(位能、压能、动能)在其流经的路程前后位置时保持恒定,由于气流的比重非常小,因此可以忽略位能。为了计算悬浮速度,将压力能转换为动能,公式(10)可写为:

$$F = \Delta P S_1 (\sin \beta + f \cos \beta) = P_c S_1 (\sin \beta + f \cos \beta) = \frac{V^2 \gamma}{2g} K_0 c S_1 (\sin \beta + f \cos \beta) \quad (11)$$

式中, c 为压差系数; V 为气流速度,单位为 m/s ; K_0 为试验系数; γ 为空气比重,单位为 N/m^3 。

当气流阻力等于红枣重力时,枣叶处于悬浮状态,气流速度即为悬浮速度,即:

$$F = G_1 = M_1 g \quad (12)$$

换算成悬浮速度:

$$V_j = \sqrt{2gG_1 / [\gamma K_0 c S_1 (\sin \beta + f \cos \beta)]} \quad (13)$$

V_j 是在无限气流场中计算得到的枣叶悬浮速度的公式。

然而,在实践中枣叶的精选分离是在有限的管道中进行的,因此必须考虑由枣叶占据管道有限面积引起的气流变化。根据雷诺数的大小,气体在管道中的流动可分为层流和紊流。层流中,气流的速度从管壁到轴心成抛物线分布,其平均速度仅为轴心处最大速度的 50%;紊流中,速度呈指数分布,其平均速度为最大速度的 0.80~0.85 倍。综上可知,枣叶在有限气流中悬浮速度 V_L 如下:

$$V_L = V_j = K_1 (1-j) \sqrt{\frac{2gG_1}{\gamma K_0 c S_1 (\sin \beta + f \cos \beta)}} \quad (14)$$

式中, K_1 为气流的状态系数,与气流状态和管道中气流的能量损失有关; j 为枣叶与管道总面积之比。

V_L 是在有限气流场中获得的枣叶悬浮速度,是简单分析在气流场中单个枣叶的受力,但枣叶都是成群出现,相互碰撞并相互作用。该研究不考虑枣叶和红枣之间的相互作用。由于枣叶的姿态角为 $0 \sim \pi/2$,因此可以认为在每个姿态角处的枣叶是等概率的。因此,可得出枣叶在有限气流管道中的平均悬浮速度:

$$V_{sa} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \left[K_1 (1-j) \sqrt{\frac{2gG_1}{\gamma K_0 c S_1 (\sin \beta + f \cos \beta)}} \right] d\beta = \frac{1}{2} K_1 (1-\varphi) \sqrt{\frac{2gG_1}{\gamma K_0 c S_1}} \quad (15)$$

式中, $G_1 = M_1 g = 0.4 \times 10^{-3} \times 9.8 = 3.92 \times 10^{-3} (\text{N})$, $S_1 = 0.116 \text{ m}^2$, $K_1 = 0.4$, $\varphi = 0.333$, $K_0 = 0.6$, $c = 0.609$ 。

经计算得出,红枣枣叶的悬浮速度为 $2.73 \text{ m}/\text{s}$ 。

2.3.3 风机的选型。该机器风机如图4、图5所示。在农业生产中,清选设备主要有农用型离心风扇和通用型离心风机

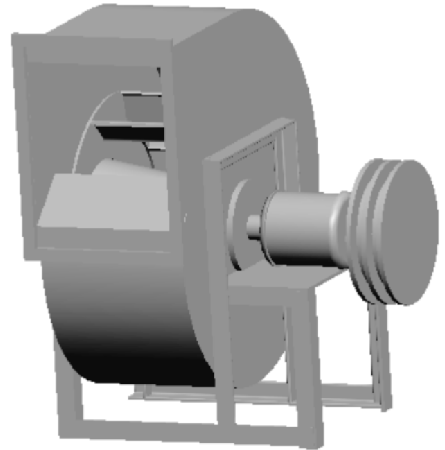


图4 风机1的三维图

Fig. 4 Three-dimensional drawing of draught fan 1

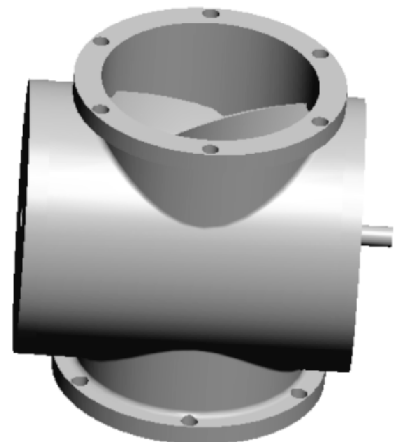


图5 风机2的三维图

Fig. 5 Three-dimensional drawing of draught fan 2

进一步加大育种等科研投入^[7-11]。结合上述中美玉米成本差异及其趋势的分析结果,以中美成本比较为基础,从两个方面提出技术需求,一是延缓或避免中美玉米成本差异继续扩大的技术需求;二是减少或消除中美玉米成本差异的技术需求。

3.1 延缓或避免中国与美国玉米成本差异继续扩大的技术需求 根据预测结果,两者成本差异进一步扩大,2020 年差异值比 2017 年增加 2 895 元/hm²,增加比例为 19%。单位面积投入成本差异的扩大,是影响玉米单位产量成本竞争力的重要因素。为避免或减少进一步扩大,提出技术需求建议。

一是通过机械化、创新栽培技术等方法,将平均人工费用降低 1 247 元/hm²,约为 2020 年中国玉米单位面积人工费用预估值的 16%。

二是通过机械化、提高农机效率等方法,将平均机械作业费降低 338 元/hm²,约为 2020 年中国玉米单位面积机械作业费预估值的 14%。

如果有关农业科研成果能促使上述 2 项需求得到满足,则有助于将 2020 年差异值降低 1 585 元/hm²,较大程度上可以满足延缓此差异值进一步扩大的需求。

3.2 减少或消除中国与美国玉米成本差异的技术需求 根据预测结果,2020 年中国玉米单位产量的成本预估值为 2.40 元/kg,约为美国的 2.3 倍。为减少或消除成本差异,需要继续加强玉米相关农业科研及科研成果的应用,继续提高单位面积产量、降低单位面积投入成本,相关技术需求建议如下。

一是提高单位面积产量。2017 年中国单产 7 523 kg/hm²,2020 年预估值为 7 722 kg/hm²。后续年度需继续通过育种技术、良种推广、栽培技术推广等方法,将中国单产在 2020 年预估值的基础上再提高 3 369 kg/hm²,即相对于 2020 年预估值再提高 44%,以期达到美国单产的预估水平。

二是通过机械化、创新栽培技术等方法降低中国单位面积的人工费用,是缩小两国玉米成本差异的首要选择。玉米种植规模化程度低,是影响我国玉米竞争力的重要因素之一^[12]。提高规模化、机械化,并通过技术创新和应用,如果将 2020 年人工费用降低 7 426 元/hm²(相当于预估值的 96%),则完全可以抵消中国和美国单位面积成本差异。

三是通过提高机械效率等方法,将 2020 年平均机械作业费降低 2 037 元/hm²,相当于预估值的 87%,则中国玉米单位面积机械作业费将与美国持平。

如果能够实现上述成本控制目标,则能将 2020 年中国单位面积投入成本降低 9 456 元/hm²,则抵消单位面积总成本的差异(6 863 元/hm²),并一定程度上缓解对单产的需求压力,中国玉米的成本竞争力将得到明显提升。

参考文献

- [1] 田欣,王晓敏,李鹏飞,等. 中国对美国农产品加征关税的影响研究:以大豆和玉米为例[J]. 农业展望,2018(10):109-117.
- [2] 卢德成. 中美玉米种植成本比较与分析[J]. 农业展望,2018(3):37-42.
- [3] 刘清泉. 中美玉米生产成本结构差异与影响因素分析[J]. 中国畜牧杂志,2016,52(18):1-5,11.
- [4] 钱福凤,杨军,TORRES D A P. 我国、美国和巴西玉米生产成本比较及启示[J]. 农业科学与技术:英文版,2016,17(3):731-736.
- [5] 范少玲,史建民. 中美玉米种植成本与收益比较研究[J]. 湖北农业科学,2014,53(1):241-244.
- [6] 李美佳,王远路,刘欣凤,等. 中美玉米生产贸易与比较优势分析:基于成本效益与生产率的视角[J]. 玉米科学,2013,21(4):138-142,147.
- [7] 闫丽珍,成升魁,闵庆文,等. 中美玉米生产成本的动态比较[J]. 中国农村经济,2004(8):65-72.
- [8] 袁梁. 中美两国玉米成本与收益的比较研究[J]. 江西农业学报,2009,21(12):191-192.
- [9] 冯艳玲,李佳忠. 中国玉米生产与美国玉米生产比较研究[J]. 吉林农业,2010(9):4-5.
- [10] 杨军,仇焕广,黄雪涛,等. 2012 年国内外玉米价格走势分析及预测[J]. 农业展望,2012(7):5-8.
- [11] 杨军,仇焕广,曹智,等. 2012 年国内外玉米产业发展分析及 2013 年展望[J]. 农业展望,2013(1):40-43.
- [12] 于左,高建凯. 中国玉米价格竞争力缺失的形成机制与政策[J]. 农业经济问题,2013(8):10-19,110.

(上接第 210 页)

2 种^[7]。吹出型风机大部分为农用型,吸入型装置则为通用型。吸入型清选装置采用的通用型风机,大多为螺旋蜗壳型壳体。单面进风,叶轮直径为 250~400 mm,转速 1 600~1 900 r/min。通过选型,可确定使用风机型号为 L-09 系列风机^[8]。

3 结语

该研究针对目前红枣捡拾存在的问题,基于负压原理设计了一种自走式红枣捡拾机,该机器主要由收集装置、清选装置、行走机构、传动机构、动力系统和底盘等组成。通过对该自走式红枣捡拾机的研究发现,机具结构合理,方案可行。该机的优点在于通过气吸原理实现自动化捡拾红枣的功能,提高了劳动效率。机械采收效率约比人工采收提高 4~5 倍^[9];具有一定的清选功能;采用气吸式收集,对红枣的损伤较小。目前该机械的不足之处在于该机器仍需要人工手持捡拾管收集红枣,人工控制机器前进方向,后续将进行进一

步试验研究,从结构和功能上对该机器进行优化,从而实现高效率的自动化红枣捡拾作业。

参考文献

- [1] 张亚欧,坎朵,李成松,等. 矮化密植红枣收获机捡拾装置的设计[J]. 农机化研究,2016,38(4):71-75.
- [2] 孟祥金,陈永成,汤智辉,等. 4SZS 型手持式大枣振动收获机的研制[J]. 新疆农机化,2013(5):7-8.
- [3] 党凯锋,张鹏霞,杨震,等. 一种气吸式红枣捡拾收获机的研制[J]. 农产品加工,2017(16):31-34.
- [4] 潘俊兵. 气吹式落地红枣捡拾装置设计与试验[D]. 石河子:石河子大学,2018.
- [5] 鲁兵. 电动自走式落地红枣清扫捡拾机的设计与试验研究[D]. 阿拉尔:塔里木大学,2017.
- [6] 史高昆,马少辉. 气吸式红枣捡拾机设计与试验[J]. 农业工程,2014,4(3):109-112.
- [7] 陈光. 风筛式红枣清选机的设计与试验研究[D]. 阿拉尔:塔里木大学,2016.
- [8] 续魁昌,王洪强,盖京方. 风机手册[M]. 2 版. 北京:机械工业出版社,2011:7-11.
- [9] 艾建军,高韶坤,刘建敏,等. 大枣收获机设计[J]. 江苏农业科学,2015,43(12):434-436.