

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2022.08.013

基于人工取盘原理的食葵取盘装置设计与试验

韩长杰^{1,2} 刁宏伟¹ 仇世龙^{1,2} 朱兴亮^{1,2} 张静^{1,2} 袁盼盼^{1,2}

(1. 新疆农业大学机电工程学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆智能农业装备重点实验室, 乌鲁木齐 830052)

摘要: 为提高食葵机械化收获水平, 解决人工分段收获成本高、劳动强度大等问题, 基于人工取盘原理设计一种食葵取盘装置, 其主要工作部件为倾斜输送链式取盘机构, 模拟人工取盘时沿竖直方向拔起葵盘的动作, 实现葵盘采收。依据部件作业过程与动力学分析确定了前翻转控制凸轮推角、后翻转控制凸轮推角、托盘杆尺寸及旋转位置、推杆角度等关键设计参数, 并获取了作业性能影响因素及其取值范围。以机具前进速度、推杆角度、插盘高度为取盘性能影响因子, 以取盘总损失率为响应值进行三因素三水平正交试验, 并进行了最优参数组合重复试验。结果表明, 取盘过程中各因素对取盘总损失率显著性顺序依次为推杆角度、前进速度和插盘高度, 最优参数组合为前进速度 0.4 m/s、推杆角度 20°、插盘高度 1 000 mm, 在此参数组合下测得取盘总损失率为 1.22%, 该食葵取盘装置满足食葵低损失收获要求。

关键词: 取盘装置; 食葵; 人工取盘原理; 设计

中图分类号: S225.99 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2022)08-0123-09

OSID:



Design and Experiment of Edible Sunflower Plate Taking Device Based on Manual Plate Taking Principle

HAN Changjie^{1,2} DIAO Hongwei¹ QIU Shilong^{1,2} ZHU Xingliang^{1,2} ZHANG Jing^{1,2} YUAN Panpan^{1,2}

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China

2. Xinjiang Key Laboratory of Intelligent Agricultural Equipment, Urumqi 830052, China)

Abstract: In order to improve the mechanized harvest level of edible sunflower and solve the problems of high cost and high labor intensity of manual segmented harvest, an edible sunflower plate taking device was designed based on the principle of manual plate taking. Its main working part was the inclined conveyor chain plate taking mechanism, which simulated the action of pulling up the sunflower plate in the vertical direction when taking the plate manually, so as to realize the harvest of sunflower plate. According to the operation process and dynamic analysis of the parts, the key design parameters such as the push angle of the front turnover control cam, the push angle of the rear turnover control cam, the size and rotation position of the tray rod, the push rod angle and so on were determined, and the influencing factors and value range of the operation performance were obtained. Taking the forward speed of machines and tools, the angle of push rod and the height of inserting plate as the influencing factors of plate taking performance, and taking the total loss rate of plate taking as the response value, the three-factor and three-level orthogonal test was carried out, and the optimal parameter combination repeated test was carried out. The results showed that the order of significance of each factor on the total loss rate of the plate in the process of taking the plate was the push rod angle, the forward speed and the height of the plate. The optimal parameter combination was the forward speed of 0.4 m/s, the push rod angle of 20° and the height of the plate of 1 000 mm. Under this parameter combination, the total loss rate of the plate was 1.22%. The sunflower plate taking device met the requirements of low loss harvest of edible sunflower.

Key words: plate taking device; edible sunflower; principle of manual plate taking; design

收稿日期: 2022-05-10 修回日期: 2022-06-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(31960367)、新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2020D01A51)和新疆维吾尔自治区天山创新团队项目(2021D14010)

作者简介: 韩长杰(1980—),男,教授,博士生导师,主要从事农业机械设计与智能农业装备研究,E-mail: hej_627@163.com

0 引言

食葵是我国重要的经济作物,营养丰富,常作为休闲食品流通,种植范围遍及东北、西北、华北等地,种植面积常年在 $5.0 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 左右,产量约 $1.52 \times 10^6 \text{ t}^{[1-3]}$ 。目前,新疆普遍种植的食葵品种为“SH363”,采用大小行覆膜种植模式,大行距 90 cm,小行距 40 cm^[4];由于成熟期食葵的含水率高,采收多采用分段式的收获模式,由人工割下葵花盘,将葵秆从中间切断,再把葵花盘插到葵秆上进行自然晾晒,晾晒 5~7 d 后进行取盘和脱粒作业^[5-8];插盘晾晒后的食葵取盘作业主要依靠人工完成,劳动强度大,效率低,容易错过最佳采收期从而导致食葵产量及品质下降^[9-11]。

国内外现有的食葵机械收获方式分为联合式收获和分段式收获^[12-13]。国外由于食葵品种及气候等原因多采用专用割台对食葵进行联合式收获作业,机械化水平较高^[14-17],如美国 Capello 公司设计的 Helianthus9400 系列葵花联合收获机、俄罗斯 Rostselmash 公司设计的 Falcon 系列葵花收获专用割台、意大利 Fantini 公司设计的 G3 系列葵花收获专用割台等^[18]。国内食葵成熟期含水率较高,不适宜采用联合式收获作业,多采用分段式收获方式。分段收获作业主要依靠人工取盘,配合自走式的脱粒机械完成食葵的收获作业,其中具有代表性的食葵收获机型有新疆丰达机械制造有限公司设计的食葵收获机,由人工将葵盘取下抛入与脱粒装置相连的料斗中,结构简单、成本低,但取盘作业依靠人工,劳动强度大^[19];内蒙古托克托县宏昌机械制造有限公司和巴彦淖尔市农牧业科学研究院联合研制的 4ZXRKS-4 型食葵收获机,该机对传统谷物联合收获机进行改制,拨禾链强制喂入以及拉茎辊下拉茎秆的过程中产生了较大的冲击,容易造成葵花籽粒的脱落损失^[20-21];文献[22-23]设计的食葵收获割台,可以适应食葵分段式收获的作业方式,但取盘过程中由于拨禾轮的冲击较大,会造成食葵盘掉落及籽粒脱落损失的情况。国外联合式收获虽然工作效率高,但与国内新疆等地分段式收获的农艺不匹配;国内对小麦、玉米、大豆、油葵等收获机械研究较多,但对食葵收获机械的研究较少,因此,研究食葵的机械化取盘装备具有重要意义。

为了减少人力投入、降低取盘作业过程中的籽粒损失,本文基于人工取盘原理设计一种食葵取盘装置^[24],主要包括输送链式取盘机构和托盘组件,可以沿竖直方向将葵盘拔起并抛送至集料仓中,确定机具关键结构参数,设计样机并进行试验,以期为

分段式收获模式下食葵取盘装备的设计提供参考。

1 整体结构与工作原理

食葵取盘装置主要由分禾器、转向轮、取盘机构、地轮、传动机构、集料仓、牵引架、机架等组成,如图 1 所示。分禾器位于机具最前方,分禾器后方装有取盘机构,取盘机构末端下方为集料仓,地轮、转向轮、牵引架及其他相关辅助部件安装在机架上。

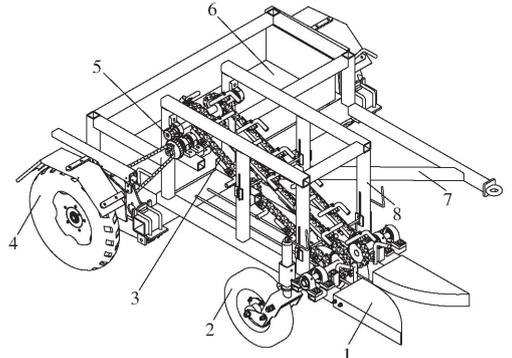


图 1 食葵取盘装置整体结构图

Fig. 1 Overall structure diagram of edible sunflower plate taking device

1. 分禾器 2. 转向轮 3. 取盘机构 4. 地轮 5. 传动机构 6. 集料仓 7. 牵引架 8. 机架

取盘装置的动力由地轮提供,地轮通过链传动与中间传动轴相连,中间传动轴上的齿轮与取盘机构主动链轮轴上的齿轮啮合,改变动力的方向并把动力传递给输送链条。取盘装置工作时,插盘状态下的葵秆在分禾器作用下进入取盘机构,葵盘被取盘机构拨起并抛送至集料仓中,完成插盘状态下的食葵盘收取作业。

该装置模拟人工取盘时沿葵秆方向拨起葵盘的动作和路径(图 2),利用托盘杆和输送链条形成的托盘网格将葵盘托住,通过设置地轮与输送链条之间的传动比实现沿葵秆方向向上拨起葵盘,抛送位置下方设置集料仓及时接住葵盘和脱落的籽粒,实现插盘食葵的喂入、拨起、输送、抛送、收集过程。

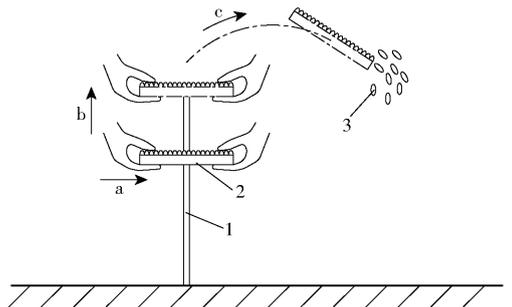


图 2 人工取盘示意图

Fig. 2 Schematic of manual plate taking

1. 葵秆 2. 葵盘 3. 籽粒 a. 抓取过程 b. 拔起过程 c. 抛送过程

综合考虑食葵物理特性、种植模式、收获要求,并参照葵花生产操作技术规范,确定了整机的主要参数如表1所示。

表1 主要参数

Tab.1 Main parameters

参数	数值
外形尺寸(长×宽×高)/(mm×mm×mm)	2 200×1 790×1 150
作业行数	1
行走速度/(m·s ⁻¹)	0.4~0.8
取盘通道宽度/mm	100
取盘高度/mm	800~1 000

2 取盘机构设计

取盘机构主要包括前翻转控制凸轮、输送链条、主动链轮、从动链轮、张紧轮、后翻转控制凸轮、托盘组件、链条支承板、限位导杆等,如图3所示。作业时,葵秆进入两输送链条之间的取盘通道内,托盘杆和输送链条形成托盘网格将葵秆包住,并沿葵秆方向逐渐将葵盘拔起与葵秆完全分离,取下的葵盘随输送链条运动至取盘机构后方并被抛送至集料仓中。

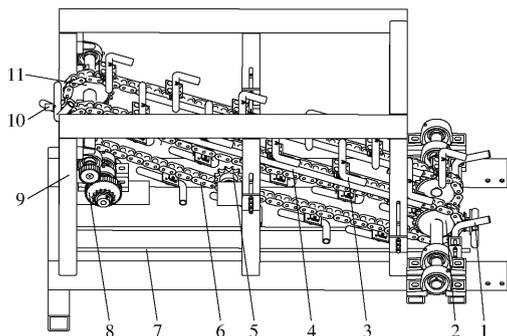


图3 取盘机构结构示意图

Fig.3 Structural diagram of plate taking mechanism

1. 前翻转控制凸轮
2. 从动链轮
3. 托盘组件
4. 链条支承板
5. 张紧轮
6. 输送链条
7. 限位导杆
8. 传动机构
9. 机架
10. 后翻转控制凸轮
11. 主动链轮

根据食葵盘直径为150~330 mm,托盘杆与输送链条形成的托盘网格长度和宽度需小于150 mm,取左右交错布置的两相邻托盘杆间距为130 mm;根据食葵种植小行距为400 mm,设置取盘机构机架内侧间距为350 mm;链条支承板起到支承链条的作用,使链条保持倾斜直线状态;根据食葵茎秆直径为22~75 mm,设计两输送链条之间形成的取盘通道宽度为100 mm;限位导杆位于输送链条边缘,保持葵秆处于取盘通道中间位置,防止葵秆横向倾斜被输送链条松边的链条链耳回带造成冲击,导致籽粒脱落损失。参考田间食葵的插盘高度及前期测定的葵盘在钢板上的摩擦角,根据整机空间位置设置主

动链轮与从动链轮轴心的水平距离为1 000 mm、竖直距离为365 mm,从动链轮轴心离地高度为585 mm,取盘高度可调。

2.1 工作过程

根据人工取盘作业时的动作和路径,设计食葵取盘装置的工作过程主要分为喂入阶段、拔起阶段、输送阶段和抛送阶段,如图4所示。取盘作业过程中托盘杆在输送链条上方保持伸出状态,用于拔起葵盘;在输送链条下方保持收回状态,避免推倒未收获的葵秆。

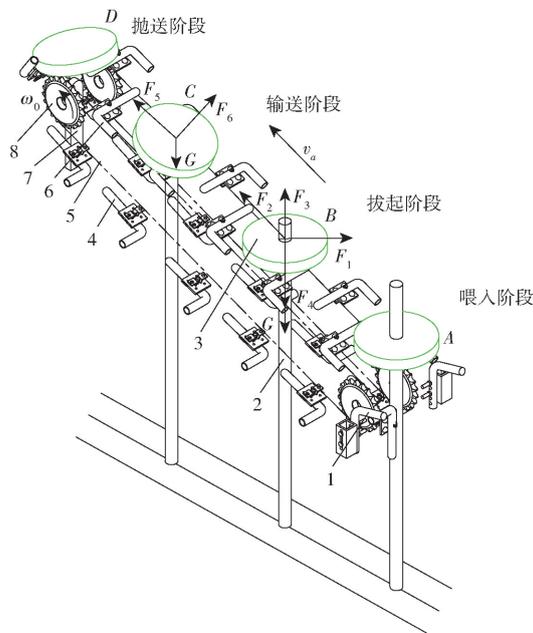


图4 取盘输送原理图

Fig.4 Schematic of plate taking and conveying

1. 前翻转控制凸轮
2. 葵秆
3. 葵盘
4. 托盘杆(收回状态)
5. 输送链条
6. 托盘杆(伸出状态)
7. 后翻转控制凸轮
8. 主动链轮

喂入阶段:随着机具前进,葵秆在点A进入取盘通道,托盘杆碰到前翻转控制凸轮发生90°旋转,与输送链条形成托盘网格,并将葵秆喂入托盘网格内。

拔起阶段:点B至点C为葵盘的拔起阶段,随机具前进,托盘杆逐渐靠近葵盘底部,直至托住葵盘沿葵秆方向运动,将葵盘完全拔起与葵秆分离,完成拔起作业。托盘杆对葵盘的拔起运动是输送链条的倾斜直线运动与机具水平直线运动的合成运动,机具的水平直线运动对葵秆产生向前的推力 F_1 ,输送链条的倾斜直线运动对葵秆产生斜向后的拉力 F_2 , F_3 是 F_2 的竖直分力,葵盘与葵秆间的相对运动产生了表面摩擦力 F_4 。

拔起阶段葵秆受到机具前进的推力 F_1 和输送链条斜向后的拉力 F_2 作用,当拉力的水平分力与推力大小相等时,葵秆保持竖直状态,葵盘受力满足 $F_3 > F_4 + G$,葵盘被拔起。当葵秆所受拉力的水平

分力与机具前进推力不相等时,葵秆逐渐倾斜,葵盘与葵秆间摩擦力的方向沿葵秆倾斜方向。

输送阶段:点 C 至点 D 为葵盘的输送阶段,葵盘被托盘杆拨起至完全与葵秆分离后,葵盘铺放在托盘杆上,此时葵盘受到托盘杆支持力 F_6 、重力 G 、葵盘与托盘杆之间的摩擦力 F_5 作用,葵盘随输送链条向后方输送。

抛送阶段:葵盘在点 D 进入抛送阶段,葵盘运动至输送链条后上方,托盘机构运动至主动链轮圆周位置进行整体翻转,葵盘在自身重力和托盘杆推力作用下,被抛送至集料仓内,此时葵盘受到的离心力大于葵盘与托盘杆之间的摩擦力。

2.2 运动学分析

为保证取盘装置工作时籽粒损失少,输送链条速度需要与机具前进速度相匹配。以插盘状态下的葵秆为研究对象,对其运动过程分析,如图5所示。 A_0 为葵秆喂入时托盘杆与葵秆接触的初始位置; A_1 、 A_2 、 A_3 为葵秆后倾、竖直、前倾时点 A_0 沿水平方向移动后的位置; B_1 、 B_2 、 B_3 为葵秆后倾、竖直、前倾时点 A_0 沿输送链条方向移动后的位置; D_3 为葵秆前倾时

托盘杆与第2根葵秆的接触位置; v_{a1} 、 v_{b1} 、 v_{c1} 为葵秆后倾时机具前进速度、输送链条速度、托盘杆绝对速度; v_{a2} 、 v_{b2} 、 v_{c2} 为葵秆竖直时机具前进速度、输送链条速度、托盘杆绝对速度; v_{a3} 、 v_{b3} 、 v_{c3} 为葵秆前倾时机具前进速度、输送链条速度、托盘杆绝对速度; S_1 为输送机构从动链轮轴心的离地高度; S_2 、 S_3 为输送机构主动链轮与从动链轮轴心的竖直距离、水平距离; O_1 、 O_2 为相邻两葵秆与地面接触点; θ 为葵秆倾斜角度; L 为葵秆长度; α 为输送链条与水平面的夹角, $\alpha = 20^\circ$ 。

取盘时固定在输送链条上的托盘杆对葵盘及葵秆的速度是输送链条线速度与机具前进速度的合成速度,其满足条件

$$v_c = v_a + v_b \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{v_b}{v_a} \quad (2)$$

式中 v_a ——机具前进速度, m/s

v_b ——输送链条线速度, m/s

v_c ——托盘杆绝对速度, m/s

λ ——输送链条线速度与机具前进速度速比

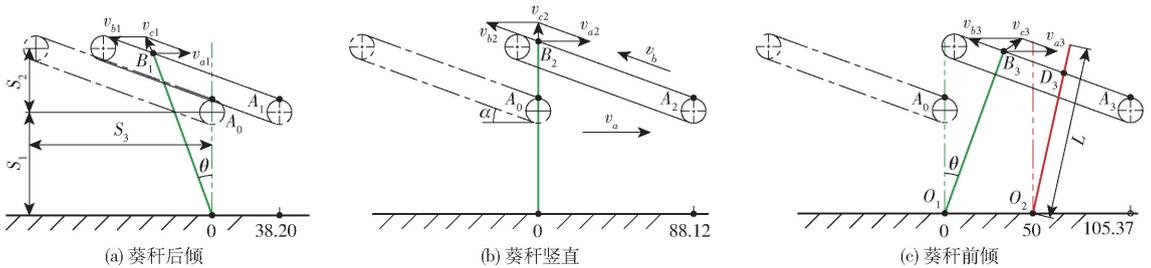


图5 取盘机构运动示意图

Fig. 5 Motion diagrams of plate taking mechanism

在合速度作用下,葵秆会形成后倾、竖直、前倾3种姿态。葵秆后倾时, v_b 的水平分速度大于机具前进速度 v_a , 托盘杆的绝对速度 v_c 斜向后, 在输送链条紧边, 葵秆被托盘杆向后推, 葵盘与输送链条为侧边接触, 接触位置受到斜向后的冲击, 葵盘籽粒面发生 $20^\circ + \theta$ 的翻转, 翻转角度较大, 但输送效率较快; 葵秆竖直时, v_b 的水平分速度与机具前进速度 v_a 大小相等方向相反, 此时在输送链条紧边, 托盘杆的绝对速度 v_c 沿竖直向上方向, 托盘杆相对葵秆不发生水平方向移动, 对葵秆不产生冲击, 但葵盘被收取时, 葵盘与输送链条为侧边接触, 接触位置受到竖直方向的冲击, 葵盘籽粒面发生 20° 的翻转; 葵秆前倾时, v_b 的水平分速度小于机具前进速度 v_a , 托盘杆的绝对速度 v_c 斜向前, 在输送链条紧边, 葵秆被托盘杆向前推, 葵盘与输送链条为底面接触, 接触位置受到斜向前的冲击, 葵盘籽粒面发生 $20^\circ - \theta$ 的翻转, 翻转角度较小, 但输送效率较低。当 $\theta = 20^\circ$ 时, 即葵

秆后倾 (-20°)、竖直 (0°)、前倾 (20°) 3 种状态下, 输送链条线速度与机具前进速度的速比关系为

$$\lambda_1 = \frac{v_{b1}}{v_{a1}} = \frac{S_{A_1B_1}}{S_{A_0A_1}} \quad (3)$$

$$\lambda_2 = \frac{v_{b2}}{v_{a2}} = \frac{S_{A_2B_2}}{S_{A_0A_2}} \quad (4)$$

$$\lambda_3 = \frac{v_{b3}}{v_{a3}} = \frac{S_{A_3B_3}}{S_{A_0A_3}} \quad (5)$$

式中 λ_1 ——葵秆后倾 (-20°) 时输送链条线速度与机具前进速度的速比

λ_2 ——葵秆竖直 (0°) 时输送链条线速度与机具前进速度的速比

λ_3 ——葵秆前倾 (20°) 时输送链条线速度与机具前进速度的速比

根据田间食葵的插盘高度取葵秆 $L = 1000$ mm, 依据机具设计尺寸 $S_1 = 585$ mm, $S_2 = 365$ mm, $S_3 = 1000$ mm, 根据式 (3) ~ (5) 利用作图法求得 $\lambda_1 =$

1.99, $\lambda_2 = 1.06, \lambda_3 = 0.73$ 。葵秆后倾、竖直时输送链条线速度与机具前进速度的速比均大于 1, 在输送链条上不会发生葵盘拥堵重叠现象; 葵秆前倾 20° 时, 根据食葵种植株距 $S_{O_1O_2} = 500 \text{ mm}$, 相邻两葵秆在输送链条上的距离为 $S_{B_3D_3} = 362.75 \text{ mm}$, 大于葵盘的最大直径, 同样不会发生拥堵重叠现象。

2.3 托盘杆旋转机理分析

2.3.1 托盘杆旋转过程

托盘组件安装在输送链条上, 起托住葵盘的作用, 主要包括托盘杆、限位凸起、限位弹簧、安装座、连接螺栓。托盘杆位于 4 个半球形限位凸起形成的限位凹槽内, 使托盘杆不受外力时保持伸出或收回状态, 限制其相对位置, 在前后翻转控制凸轮位置托盘杆受推力发生旋转, 旋转过程如图 6 所示。

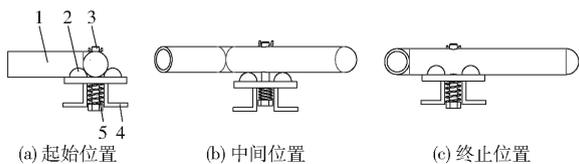


图 6 托盘杆旋转过程示意图

Fig. 6 Schematic of tray rod rotation process

1. 托盘杆
2. 限位凸起
3. 连接螺栓
4. 安装座
5. 限位弹簧

托盘杆在起始位置和终止位置受到限位弹簧的拉力、安装座和限位凸起的支持力作用, 保持静止状态; 受到外力作用旋转时, 在起始位置至中间位置阶段, 限位凸起对托盘杆产生阻碍其运动的摩擦力和推力; 在中间位置至终止位置阶段, 托盘杆越过限位凸起最高点继续旋转, 在限位弹簧的拉力作用下完成旋转过程。

2.3.2 托盘杆与前翻转控制凸轮碰撞过程

托盘杆随输送链条运动至前翻转控制凸轮位置时受到前翻转控制凸轮的推力作用发生旋转, 其旋转位置影响了对葵秆的冲击范围, 如图 7 所示。托盘杆在点 E 、 G 旋转时, 其旋转半径在水平方向的分运动最大为 $L_b = L_a \cos \alpha$; 在点 F 旋转时, 可看作竖直面内的圆周运动, 其旋转半径在水平方向的分运动最小可视为 0。点 E 至点 F , 托盘杆旋转半径在水平方向的分运动逐渐变小, 即对葵秆的冲击范围逐渐变小; 点 F 至点 G , 托盘杆旋转半径在水平方向的分运动逐渐变大, 托盘杆在 F 点旋转对葵秆冲击范围最小, 因此点 F 为托盘杆最佳旋转位置。根据托盘杆旋转位置点 F , 设置前翻转控制凸轮竖直方向的位置。

为了避免托盘杆旋转完成后, 前翻转控制凸轮阻碍托盘杆随输送链条运动, 托盘杆与前翻转控制凸轮的位置和尺寸关系如图 8 所示, O_1 为托盘杆旋转中心, 需满足关系式

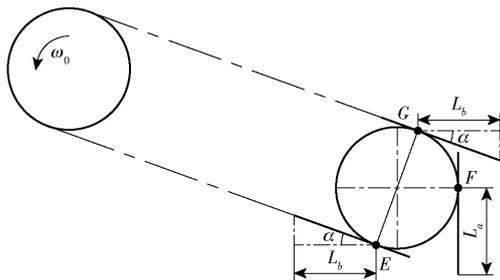


图 7 托盘杆旋转位置示意图

Fig. 7 Schematic of rotation position of tray rod

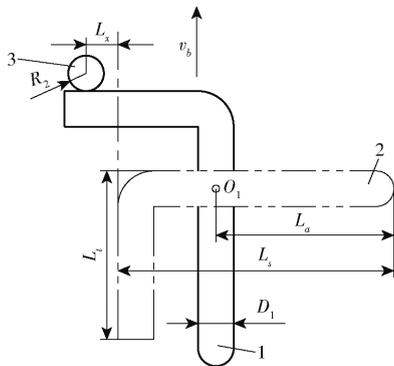


图 8 前翻转控制凸轮与托盘杆位置及尺寸关系示意图

Fig. 8 Schematic of position and size relationship

between front stop and tray rod

1. 托盘杆 (收回状态)
2. 托盘杆 (伸出状态)
3. 前翻转控制凸轮

$$\begin{cases} L_s - L_a + L_x \leq L_t - D_1/2 \\ L_x \geq R_2 \end{cases} \quad (6)$$

式中 L_a ——托盘杆长边长度 (长边端面至旋转中心的距离), mm

L_s ——托盘杆长边长度, mm

L_t ——托盘杆短边长度, mm

L_x ——前翻转控制凸轮对称中心至伸出状态托盘杆短边缘的距离, mm

R_2 ——前翻转控制凸轮半径, mm

D_1 ——托盘杆直径, mm

取盘通道宽度为 100 mm, 为与输送链条形成托盘网格防止葵盘从取盘通道间隙掉落, 托盘杆长边长度 L_a 应满足

$$L_a - D_1/2 > 100 \text{ mm} \quad (7)$$

为减轻输送机构质量, 托盘杆选外径为 20 mm 的空心圆管, 即 $D_1 = 20 \text{ mm}$, 根据加工工艺要求圆管厚度取 2.5 mm, 由式 (7) 可得 $L_a > 110 \text{ mm}$, 为减少托盘杆旋转时对葵秆的冲击范围, 取 $L_a = 130 \text{ mm}$ 。因托盘杆安装板为 50 mm × 50 mm 的方板, 需保证托盘杆在安装板上旋转时为直线段旋转, 同时根据取盘机构机架内宽为 350 mm, 可得

$$\begin{cases} L_s - L_a - D_1 > 35 \text{ mm} \\ L_t - D_1/2 < 125 \text{ mm} \end{cases} \quad (8)$$

根据式 (6)、(8), 取 $L_s - L_a = 70 \text{ mm}, R_2 =$

10 mm, 则 $L_x \geq 10$ mm, $L_t - D_1/2 \geq 80$ mm, 取 $L_t - D_1/2 = 90$ mm, 即 $L_s = 200$ mm, $L_t = 100$ mm。

托盘杆在最佳旋转位置点 F 与前翻转控制凸轮碰撞时, 受到前翻转控制凸轮正压力 N_1 和前翻转控制凸轮作用于托盘杆上摩擦力 f_1 作用, 为减少旋转阻力, 采用滑推原理对前翻转控制凸轮轮廓线进行设计。由于前翻转控制凸轮相对于机架静止不动, 托盘杆绕从动链轮进行圆周运动, 为便于分析将托盘杆视为静止状态, 前翻转控制凸轮绕从动链轮旋转轴心做圆周运动, 对托盘杆与前翻转控制凸轮的碰撞过程进行滑推分析, 如图 9 所示。直线 MN 为前翻转控制凸轮与托盘杆接触的滑推轮廓线, ω_0 为从动链轮旋转角速度, v_d 为接触点处托盘杆旋转速度, 得到托盘杆的动力学方程

$$N_1 = ma_{e1} \cos \varepsilon_1 \quad (9)$$

$$f_1 = ma_{e1} \sin \varepsilon_1 - ma_{r1} \quad (10)$$

托盘杆与前翻转控制凸轮之间的滑动摩擦力和正压力成正比关系, 即满足

$$f_1 = N_1 \tan \varphi \quad (11)$$

由式(9)~(11)可得

$$a_{r1} = a_{e1} (\tan \varepsilon_1 - \tan \varphi) \cos \varepsilon_1 \quad (12)$$

式中 a_{e1} ——托盘杆牵连加速度, m/s^2

m ——托盘杆质量, kg

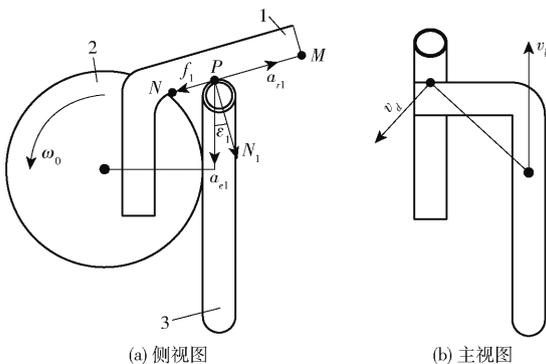


图9 托盘杆与前翻转控制凸轮接触点受力分析
Fig. 9 Stress analysis of contact point between tray rod and front stop

1. 前翻转控制凸轮 2. 托盘组件旋转轮廓 3. 托盘杆

由式(12)可知, 相对加速度 a_{r1} 的大小与方向由正压力 N_1 、摩擦角 φ 、推角 ε_1 决定。根据设计目的, 前翻转控制凸轮要使托盘杆发生旋转, 需要相对加速度 a_{r1} 方向向右, 即 $a_{r1} > 0$ 。根据式(12)可知, 当 $\varepsilon_1 > \varphi$ 时, $a_{r1} > 0$, 托盘杆受到向右的相对加速度, ε_1 越大, a_{r1} 越大, 但随着 a_{r1} 的增大, 托盘杆旋转对葵秆造成的瞬时冲击会越大, 因此 ε_1 不宜过大。取前翻转控制凸轮与托盘杆之间的摩擦因数为 0.3^[25], 即 $\varepsilon_1 > 16.7^\circ$, 设计的推角为 20° , 满足要求, 即前翻转控制凸轮轮廓线 MN 与水平方向的夹角为 20° 。

2.3.3 托盘杆与后翻转控制凸轮碰撞过程

托盘杆与后翻转控制凸轮接触时, 托盘杆受到后翻转控制凸轮的推力和后翻转控制凸轮作用于托盘杆上的摩擦力作用, 托盘杆受力如图 10 所示。

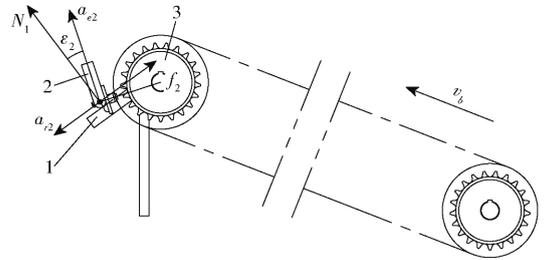


图10 托盘杆与后翻转控制凸轮接触点受力分析
Fig. 10 Stress analysis of contact point between tray rod and rear gear rod

1. 后翻转控制凸轮 2. 托盘杆(伸出状态) 3. 主动链轮

为保证托盘杆碰到后翻转控制凸轮时发生旋转, 需满足切向加速度 $a_{r2} > 0$, 分析过程与前翻转控制凸轮处相同, 即推角 ε_2 需要大于摩擦角 φ , 即 $\varepsilon_2 > 16.7^\circ$, 设计的推角为 20° 满足托盘杆旋转要求。

3 试验

3.1 试验设备及材料

试验过程中使用的仪器设备有土槽车(TCC-3.0型)、米尺(量程3m)、皮尺(量程50m)、精密电子天平(OHAUSCP3102型, 量程: 0~3100g, 精度0.01g)、保鲜袋、标签纸等。

试验材料为采摘自新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市公盛村三队的食葵品种SH363, 食葵种植时间为2021年5月7日, 成熟时间为2021年9月20日, 采样时间为2021年9月22日。食葵盘样品含水率为34%~40%, 葵盘直径为150~330mm, 单个葵盘质量为400~1100g, 共采集300个葵盘, 约210kg。试验时将食葵取盘装置挂载在土槽车的悬挂点, 如图11所示, 通过平台监测控制食葵取盘装置的前进速度。



图11 食葵取盘装置土槽试验

Fig. 11 Soil tank test of edible sunflower plate taking device
1. 葵秆 2. 葵盘 3. 食葵取盘装置 4. 土槽车

3.2 试验方法

3.2.1 试验方案

由前文分析可知,取盘过程中托盘杆推动葵秆后倾(-20°)、竖直(0°)、前倾(20°)3种状态对食葵取盘总损失率有较大影响,因此,根据理论分析、整机结构尺寸、预试验等情况,选取机具前进速度(土槽车行走变频器控制)、推杆角度(托盘杆推动葵秆偏离竖直方向的角度)、插盘高度(葵盘底部距地面的垂直距离)为试验因素。

试验参考 GB/T 8097—2008《收获机械 联合收割机 试验方法》进行试验^[26],试验区域由3部分组成,分别为稳定区、测定区、停车区,稳定区3 m、测定区10 m、停车区2 m。每次试验开始前检查清理地表存在的葵籽,试验结束后清除掉落至地面的葵盘及葵籽,更换折断的葵秆,每组试验重复3次,试验结果取平均值。

以三因素三水平正交试验为试验方法^[27-30],试验因素编码如表2所示。

表2 试验因素编码

Tab.2 Coding of test factors

编码	因素		
	前进速度/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	推杆角度/($^\circ$)	插盘高度/mm
-1	0.4	20	800
0	0.6	0	900
1	0.8	-20	1 000

3.2.2 试验指标

食葵取盘装置作业质量参考文献[31],选用取盘过程中总损失率作为试验指标。总损失率计算公式为

$$Z = \frac{W_a}{W_a + W_b} \times 100\% \quad (13)$$

式中 Z ——食葵取盘总损失率, %

W_a ——试验区域内损失的籽粒质量, kg

W_b ——试验区域内收获的籽粒质量, kg

3.3 试验结果与分析

根据试验设计方案,对取盘装置进行正交试验,结果如表3所示,表中 A 、 B 、 C 为因素编码值,以食葵取盘总损失率为评价指标,总损失率越小,代表取盘效果越好。根据正交试验结果可得影响取盘效果的主次因素为推杆角度、前进速度、插盘高度,最优水平组合为 $A_1B_1C_3$,即机具前进速度为 0.4 m/s 、推杆角度为 20° 、插盘高度为 $1\ 000 \text{ mm}$,在此最优参数组合下取盘效果最佳。

为判断各因素对试验指标显著性的影响,对试验结果进行了方差分析,如表4所示。

表3 试验方案与结果

Tab.3 Test plan and results

序号	因素			$Z/\%$
	A	B	C	
1	-1	-1	-1	1.36
2	-1	0	0	1.31
3	-1	1	1	2.78
4	0	-1	0	2.19
5	0	0	1	2.55
6	0	1	-1	16.15
7	1	-1	1	2.33
8	1	0	-1	11.18
9	1	1	0	13.57
k_{j1}	1.817	1.960	9.563	
k_{j2}	6.963	5.013	5.690	
k_{j3}	9.027	10.833	2.553	
R_j	7.210	8.873	7.010	
最优组合	A_1	B_1	C_3	

表4 取盘总损失率方差分析

Tab.4 Variance analysis results

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P
A	82.730	2	41.365	36.574	0.027*
B	121.931	2	60.966	53.904	0.018*
C	73.981	2	36.991	32.706	0.030*
误差	2.26	2	1.13		
总和	280.902	8			

注: * 表示影响显著($P < 0.05$)。

由表4可知,以取盘总损失率为评价指标,前进速度、推杆角度、插盘高度均为显著影响,显著性影响由大到小为 B 、 A 、 C 。

由于总损失率由托盘杆接触葵秆时的瞬时加速度及葵盘铺放到托盘杆上的翻转角决定。接触瞬时加速度由输送链条速度决定,而输送链条速度由推杆角度(输送链条与地轮之间总传动比变化引起)及前进速度决定,推杆角度和前进速度越大瞬时加速度越大,总损失率越大,反之瞬时加速度越小,损失率越小。葵盘铺放到托盘杆上的翻转角由推杆角度及插盘高度决定,插盘高度越低,推杆角度变化越小,推杆角度越趋向于 0° ,总损失率受翻转角影响越小,翻转角越趋向 20° ;插盘高度越高,推杆角度变化越大,总损失率受翻转角影响越大。

3.4 最优组合试验

根据取盘装置的最优参数组合,在新疆农业大学新疆智能农业装备重点实验室进行了取盘装置重复验证试验,以前进速度 0.4 m/s 、推杆角度 20° 、插盘高度 $1\ 000 \text{ mm}$ 为试验参数进行食葵取盘装置取盘验证试验,试验重复3次,取盘总损失率分别为 1.15% 、 1.27% 、 1.24% 。由试验结果可知,食葵取

盘装置以前进速度 0.4 m/s、推杆角度 20°、插盘高度 1 000 mm 的参数组合进行作业时,取盘平均总损失率为 1.22%,满足分段式收获模式下食葵收获要求^[31]。

4 结论

(1)针对新疆食葵分段式收获的需要,基于人工取盘原理,设计了食葵取盘装置,相比传统谷物联合收获机改制的食葵收获机械,该装置取盘过程中对葵盘及葵秆的冲击较小,降低了取盘损失率。

(2)根据食葵物理特性参数,设计了取盘机构

及托盘组件的结构参数;通过理论分析确定了前翻转控制凸轮和后翻转控制凸轮的推角范围及推杆角度范围。

(3)以机具前进速度、推杆角度、插盘高度为试验因素,以取盘总损失率为试验指标,开展了食葵取盘正交试验。结果表明,最优作业参数组合为前进速度 0.4 m/s、推杆角度 20°、插盘高度 1 000 mm,试验因素对取盘总损失率的显著性影响依次为推杆角度、前进速度、插盘高度。在最优作业参数组合下食葵取盘总损失率为 1.22%,满足分段收获模式下食葵收获作业要求。

参 考 文 献

- [1] 胡莹莹. 黑龙江省向日葵生产发展对策研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2014.
HU Yingying. Study in the countermeasures of the sunflower production development in Heilongjiang Province[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014. (in Chinese)
- [2] 刘清, 师建芳, 赵威, 等. 向日葵副产物资源的综合利用[J]. 农业工程学报, 2011, 27(增刊2): 336-340.
LIU Qing, SHI Jianfang, ZHAO Wei, et al. Integrated utilization of sunflower by-products[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(Supp. 2): 336-340. (in Chinese)
- [3] 赵经华, 徐剑, 马英杰, 等. 基于时序动态模型的不同灌水定额下食葵增产潜能分析[J]. 农业机械学报, 2019, 50(9): 300-309.
ZHAO Jinghua, XU Jian, MA Yingjie, et al. Analysis of increasing yield potential of sunflower under different irrigation quotas based on time series dynamic model[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(9): 300-309. (in Chinese)
- [4] 贾晓军, 丁变红, 杨芬, 等. 食用向日葵主要农艺性状与产量的多元分析[J]. 中国农学通报, 2019, 35(4): 1-6.
- [5] 刘巍, 黄小毛, 马丽娜, 等. 油葵联合收获机专用割台设计与试验[J]. 农业机械学报, 2020, 51(8): 83-88, 135.
LIU Wei, HUANG Xiaomao, MA Li'na, et al. Design and experiment of special header of oil sunflower combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(8): 83-88, 135. (in Chinese)
- [6] 靳伟, 丁幼春, 白圣贺, 等. 油葵收获机拨禾板式割台装置研制[J]. 农业工程学报, 2021, 37(3): 27-36.
JIN Wei, DING Youchun, BAI Shenghe, et al. Design and experiments of the reel board header device for an oil sunflower harvester[J]. Transactions of the CSAE, 2021, 37(3): 27-36. (in Chinese)
- [7] 许涛, 沈永哲, 高连兴, 等. 基于两段收获的弹齿式花生捡拾机构研究[J]. 农业机械学报, 2016, 47(3): 90-97, 111.
XU Tao, SHEN Yongzhe, GAO Lianxing, et al. Spring-finger peanut pickup mechanism based on two-stage harvest[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(3): 90-97, 111. (in Chinese)
- [8] 王伯凯, 胡志超, 曹明珠, 等. 轴流式花生捡拾收获机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2021, 52(1): 109-118, 98.
WANG Bokai, HU Zhichao, CAO Mingzhu, et al. Design and test of axial-flow peanut picking and harvesting machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(1): 109-118, 98. (in Chinese)
- [9] 宗望远, 刘羊, 黄小毛, 等. 向日葵机械化收获研究现状及发展对策[J]. 江西农业大学学报, 2017, 39(3): 600-606.
ZONG Wangyuan, LIU Yang, HUANG Xiaomao, et al. Present situation and developmental strategies for sunflower mechanized harvest in China[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2017, 39(3): 600-606. (in Chinese)
- [10] 廖庆喜, 王昌, 何坤, 等. 油菜联合收获后含杂油菜籽复清机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2021, 52(10): 175-185, 232.
LIAO Qingxi, WANG Chang, HE Kun, et al. Design and experiment on re-cleaning machine for rapeseed after combine harvesting[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(10): 175-185, 232. (in Chinese)
- [11] 夏训谅, 张普海, 王家栋. 油菜联合收割机收获与人工收获损失率对比试验分析[J]. 湖北农机化, 2020(11): 16-17.
- [12] 张凯良, 胡勇, 杨丽, 等. 玉米收获机自动对行系统设计及试验[J]. 农业机械学报, 2020, 51(2): 103-114.
ZHANG Kailiang, HU Yong, YANG Li, et al. Design and experiment of auto-follow row system for corn harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(2): 103-114. (in Chinese)
- [13] 李素萍, 聂惠, 逯拴柱, 等. 我国向日葵机械化生产概况、存在问题及建议[J]. 内蒙古农业科技, 2011(6): 1-2, 10.
LI Suping, NIE Hui, LU Shuanzhu, et al. The current situation and existed problems of sunflower mechanized production and its suggestion[J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2011(6): 1-2, 10. (in Chinese)
- [14] 赵永满, 王维新. 国外农业机械化的现状及发展态势[J]. 农机化研究, 2005, 26(4): 10-12.
ZHAO Yongman, WANG Weixin. The present status and development tendency of international agricultural mechanization[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2005, 26(4): 10-12. (in Chinese)
- [15] 董海龙, 张克平, 张鹏, 等. 早寒区油菜收获技术研究现状及展望[J]. 中国农机化学报, 2018, 39(12): 25-29.
DONG Hailong, ZHANG Keping, ZHANG Peng, et al. Research status and prospect of rapeseed harvesting technology in cold

- and drought region[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2018, 39(12): 25–29. (in Chinese)
- [16] 陈中玉, 高连兴, CHEN Charles, 等. 中美花生收获机械化技术现状与发展分析[J]. 农业机械学报, 2017, 48(4): 1–21. CHEN Zhongyu, GAO Lianxing, CHEN Charles, et al. Analysis on technology status and development of peanut harvest mechanization of China and the United States[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(4): 1–21. (in Chinese)
- [17] CORNELIU P. Research regarding the performances obtained by the 560 and the 750 CLAAS lexion combines in sunflower harvesting[J]. Scientific Papers, 2012(5): 331–333.
- [18] 韩长杰, 王超超, 朱兴亮, 等. 食用向日葵仿人工取盘采收台的设计[J]. 农业工程学报, 2019, 35(16): 14–22. HAN Changjie, WANG Chaochao, ZHU Xingliang, et al. Design of imitating manual harvesting device for edible sunflower[J]. Transactions of the CSAE, 2019, 35(16): 14–22. (in Chinese)
- [19] 马新云, 王道屏, 许芳. 食葵收获机: CN204191175U[P]. 2015–03–11.
- [20] 菅志亮, 张勇, 李素萍, 等. 4ZXRKS–4型收获机的食用向日葵机械化收获技术[J]. 农业工程技术, 2018, 38(29): 48.
- [21] 周建成, 贾文斌, 冯春明, 等. 一种插盘式葵花收获割台: CN112042388A[P]. 2020–12–08.
- [22] 韩长杰, 康秀生, 郭辉, 等. 食葵收获割台: CN205105675U[P]. 2016–03–30.
- [23] 刘宇. 食葵收获机总体设计及捡拾装置的试验研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2017. LIU Yu. Design and experimental research of picking up device of edible sunflower harvester[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2017. (in Chinese)
- [24] 韩长杰, 刁宏伟, 张静, 等. 食葵取盘脱粒一体机: CN112970418B[P]. 2021–09–21.
- [25] 孔凌嘉, 王文中, 荣辉. 机械基础设计实践[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2017: 146–147.
- [26] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 8097—2008 收获机械 联合收割机 试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [27] 韩长杰. 农机试验设计[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2018: 15–20, 135.
- [28] 傅珏生, 张健, 王振羽, 等. 实验设计与分析[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009: 48–60.
- [29] 刘羊, 黄小毛, 马丽娜, 等. 拨禾链式油葵割台静态滑切角恒定切割器设计与试验[J]. 农业机械学报, 2021, 52(1): 99–108. LIU Yang, HUANG Xiaomao, MA Li'na, et al. Design and test of static sliding cut angle constant cutting machine for chain oil sunflower harvester header[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(1): 99–108. (in Chinese)
- [30] 张学军, 马少腾, 朱兴亮, 等. 正多杆变隙式油葵脱粒装置设计与试验[J]. 农业工程学报, 2020, 36(4): 26–33. ZHANG Xuejun, MA Shaoteng, ZHU Xingliang, et al. Design and test of oil-sunflower threshing device with variable clearance[J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(4): 26–33. (in Chinese)
- [31] 新疆维吾尔自治区农牧业机械管理局. DB65/T 3541—2013 葵花生产机械化操作技术规程[S]. 2013.

~~~~~

(上接第73页)

- [24] 邱兆美, 张巍朋, 赵博, 等. 小粒种子电动播种机作业质量监测系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2019, 50(4): 77–83. QIU Zhaomei, ZHANG Weipeng, ZHAO Bo, et al. Design and test of operation quality monitoring system for small grain electric seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(4): 77–83. (in Chinese)
- [25] 谯睿, 杨文彩, 韩文霆, 等. 三七精密播种机漏播重播检测系统设计与试验[J]. 传感技术学报, 2019, 32(7): 1115–1122. QIAO Rui, YANG Wencai, HAN Wenting, et al. Design and test of missed broadcast and over sowing system for panax precision seeder[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2019, 32(7): 1115–1122. (in Chinese)
- [26] 董宝军. 精密播种机监测系统的设计及研究[D]. 济南: 山东大学, 2011. DONG Baojun. Design and research of precision seeder monitoring system[D]. Ji'nan: Shandong University, 2011. (in Chinese)
- [27] 王方艳, 杨亮, 鲍余峰, 等. 气吸式胡萝卜起垄播种一体机研制[J]. 农业工程学报, 2020, 36(17): 35–45. WANG Fangyan, YANG Liang, BAO Yufeng, et al. Development of air-suction ridging and seeding machine for carrot[J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(17): 35–45. (in Chinese)
- [28] 李宝筏. 农业机械学(第2版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018: 91.
- [29] 彭博. 气吸式播种机气力系统稳定性的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2019. PENG Bo. Study on the stability of pneumatic system of pneumatic seeder[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2019. (in Chinese)
- [30] 胡敏, 王恒, 陈琪. 电动汽车锂离子动力电池发展现状及趋势[J]. 汽车实用技术, 2020(9): 8–10. HU Min, WANG Heng, CHEN Qi. Development status and trend of lithium-ion power batteries for electric vehicles[J]. Automobile Applied Technology, 2020(9): 8–10. (in Chinese)
- [31] 刘林. 免耕播种机地轮设计与试验研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015. LIU Lin. Design and experiment of no-tillage seeder wheel[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2015. (in Chinese)