

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2023.07.019

李明生, 谢守勇, 刘凡一, 等. 四行荞麦精量播种机设计与试验 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(7): 219-228.

## 四行荞麦精量播种机设计与试验

李明生, 谢守勇, 刘凡一, 叶进, 孙玉华, 刘伟

西南大学 工程技术学院, 重庆 400715

**摘要:** 针对荞麦种植地小且分散的特点, 根据荞麦精少量播种的农艺要求, 研制了四行荞麦精量播种机, 并根据国标设计进行了排种性能离散元仿真优化验证、台架试验和田间试验. 设计了外槽轮式荞麦精少量排种器、单组仿形开沟器、船铲式开沟铲、整体刮板式覆土器、整体仿形机架和传动系统. 排种器台架试验表明, 各凹槽中荞麦种子平均填充数量为 6.6 颗, 不同转速下排种器每旋转一周平均排出荞麦种子 133 颗. 整机台架试验表明, 排种器排量随槽轮工作长度增大而线性增加, 不同工作长度下各行排种量一致性变异系数均小于 3.9%, 总排量稳定性变异系数小于 1.3%. 田间试验表明, 覆土率为 96.4%, 平均覆土厚度为 2.3 cm, 覆土厚度合格率为 84%, 平均播深为 7.1 cm, 播深合格率为 100%, 最大播种量为 9.15 g/m<sup>2</sup>, 播种均匀性变异系数为 9%. 以上性能指标均满足国家标准要求. 该研究可为荞麦精量播种机具的研发提供参考.

**关键词:** 机械化; 播种机; 荞麦; 精量; 田间试验

**中图分类号:** S223.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2023)07-0219-10

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Design and Experiment of 4-Row Buckwheat Precision Planter

LI Mingsheng, XIE Shouyong, LIU Fanyi,

YE Jin, SUN Yuhua, LIU Wei

*College of Engineering and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China*

**Abstract:** In view of the characteristics of small and scattered buckwheat planting fields, according to the agronomic requirements of precisely sowing small amount of buckwheat seeds, the 4-row buckwheat precise planter was developed, and the discrete element simulation of seed metering performance, bench test and field test were carried out according to the national standard. An outer groove wheel type small-amount precise seed metering device, a single group of profiled ditching device, a boat-shovel type ditching shovel, an integral scraper cover device, an integral profiling frame and a transmission system were designed. The results of bench test showed that the average number of buckwheat seeds filled in each groove was 6.6, and the average number of buckwheat seeds filled in each groove per rotation cycle was 133 at different rotational speeds. The bench test of the whole machine showed that the displacement of seed metering increased linearly with the increase of the working length of the groove wheel. The uniform coefficient

收稿日期: 2022-05-11

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(52105276); 重庆市技术创新与应用发展专项重点项目(cstc2021jscx-gksb0003).

作者简介: 李明生, 博士, 副教授, 主要从事农业机械化技术研究.

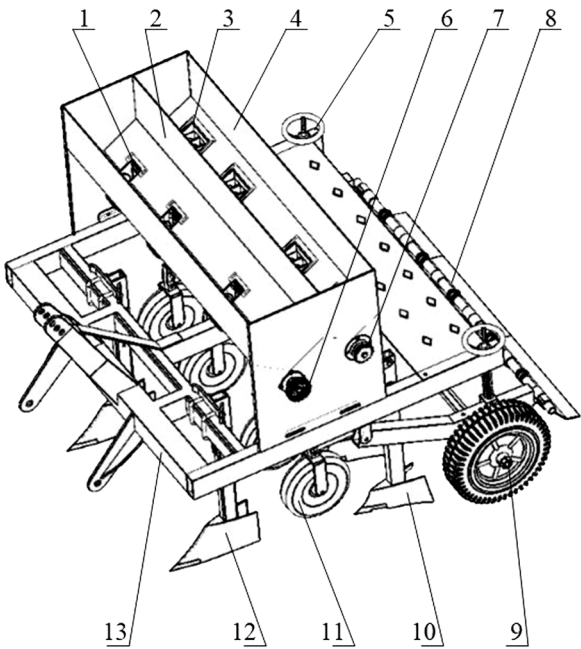
of variation of the displacement of seed metering of each row was less than 3.9% under different working lengths, and the stability coefficient of variation of the total seed metering is less than 1.3%. Field experiments showed that the soil coverage rate was 96.4%, the average covering thickness was 2.3 cm, the qualified rate of covering thickness was 84%, the average sowing depth was 7.1 cm, the qualified rate of sowing depth was 100%, the maximum sowing mass per square meter was 9.15 g, and the variation coefficient of sowing uniformity was 9%. The above performance indicators meet the requirements of national standards. This study can provide reference for the research and development of integrated machine for fine and small amount of buckwheat precise seeding and fertilization.

**Key words:** mechanization; seeder; buckwheat; fine and small-amount sowing; field test

荞麦起源于我国,已有数千年的栽培历史,主要产区在西北、东北、华北以及西南一带<sup>[1]</sup>.荞麦因其营养价值和保健功能备受人们青睐,市场需求旺盛,国内常年种植的荞麦面积已达 130 万公顷<sup>[2]</sup>.荞麦的种植地块小而分散,机械化播种程度较低,亟需研制出适用于荞麦播种作业的精量播种施肥一体化机具.国外谷物播种机智能化程度高、播种速度快,但是体积、重量大,因此难以适用;国内现有荞麦播种机多由其他谷物播种机改装而成,施肥、播种分开,播种均匀性差,作业效率低<sup>[3-4]</sup>.实践证明:结构简单、播量调节方便的外槽轮式播种机更适合国内荞麦的种植模式<sup>[5-6]</sup>.本文针对荞麦种植的地形特点,利用外槽轮式荞麦精少量排种器、仿形种沟开沟器、肥沟开沟器和刮板式覆土器,设计了四行荞麦精量播种机,重点对其排种、播种性能进行研究,结合荞麦籽粒物理力学性能对排种性能进行工作过程仿真和参数优化,最后进行了排种性能台架试验和田间试验.

### 1 整机结构及工作原理

荞麦精量播种机主要由排肥器、肥箱、排种器、种箱、沟深调节器、肥量调节器、播量调节器、覆土器、地轮、种沟开沟器、仿形轮、肥沟开沟器、机架等零部件组成,如图 1 所示.整机结构分两行布置,前行 2 个肥沟开沟生产,开沟施肥,后行 4 个种沟开沟生产,开沟播种.肥沟开沟器安装在机架前梁,种沟开沟器、仿形轮安装在机架后梁,均为 U 形螺栓连接式安装,调节其间距便可对行距进行调节;通过沟深调节器和地轮即可调节开沟深度;覆土器安装在地轮支架上,避免开沟深度的变化对覆土性能产生影响;综合应用整机仿形和种沟开沟器单组仿形,保证播深一致性.根据荞麦种植农艺要求,一般荞麦的播种深度为 4~6 cm,条播行距 20~40 cm,因此设计整机主要技术参数为:半悬挂式;框架式机架;最大沟深不低于 10 cm;播种行数 4 行,行距范围 20~40 cm.



1. 排肥器; 2. 肥箱; 3. 排种器; 4. 种箱; 5. 沟深调节器; 6. 肥量调节器; 7. 播量调节器; 8. 覆土器; 9. 地轮; 10. 种沟开沟器; 11. 仿形轮; 12. 肥沟开沟器; 13. 机架.

图 1 四行荞麦精量播种机结构

### 2 设计与计算

#### 2.1 外槽轮式荞麦精量排种器设计优化

外槽轮式排种器分为移动式槽轮排种器和固定式槽轮排种器两种<sup>[7]</sup>.相对于固定式,移动式槽轮排种器中的槽轮可以在排种盒内随排种轴横向移动,改变槽轮的工作长度即可进行播种量的调节.因此,本文设计了移动式槽轮排种器,如图 2 所示.排种器主要由种刷、排种轮、排种轴、排种器箱体、落种管连接件

组成。排种器工作时, 荞麦种子在种刷和重力作用下充满排种轮凹槽, 排种轴带动排种轮旋转, 将种子强制由排种盒排出至落种管连接件处。

外槽轮式荞麦精量排种器的主要设计参数包括: 排种轮直径  $d_w$ 、工作长度  $L_w$ 、转速  $n_w$ 、凹槽断面形状、凹槽半径  $r_w$  和槽数  $z_w$ 。在设计过程中应充分考虑荞麦种子物理力学性能的影响。排种轮直径过大会减小排种轮的转速和工作长度, 降低排种均匀性; 直径过小, 会使转速提高, 导致荞麦籽粒损伤率增加。为此, 参考小麦、棉籽等

外槽轮式排种器的结构尺寸, 根据农业机械设计手册, 设计排种轮直径  $d_w=60\text{ mm}$ ; 排种轮转速范围在  $9\sim60\text{ r/min}$  时, 播量较为稳定, 因此确定最高转速为  $60\text{ r/min}$ , 根据排种器实际工作转速, 选取排种器转速  $n_w$  为  $24.25\text{ r/min}$  和  $55.67\text{ r/min}$  两挡; 排种轮工作长度不得小于荞麦籽粒长度的  $1.5\sim2$  倍, 即大于  $10\text{ mm}$ , 现有小麦排种器的排种轮工作长度一般为  $40\text{ mm}$ , 小麦最大播种量为  $22.5\text{ g/m}^2$ , 荞麦最大播种量为  $9\text{ g/m}^2$ , 为此设计荞麦排种轮最大工作长度  $L_w=20\text{ mm}$ ; 凹槽断面形状设计为容易加工且摩擦力较低便于荞麦籽粒排出的圆弧形凹槽, 排种轮凹槽槽形宜浅, 但不能小于  $0.5$  倍荞麦籽粒高度, 取  $r_w$  为  $3\text{ mm}$ , 外槽轮的槽数  $z_w$  为  $16$ , 由此得到槽轮主要参数, 如表 1 所示。

表 1 外槽轮式排种器槽轮的主要参数

| $d_w/\text{mm}$ | $L_w/\text{mm}$ | $n_w/(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$ | $r_w/\text{mm}$ | $z_w/\text{个}$ |
|-----------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------|----------------|
| 60              | 20              | 24.25/55.67                          | 3               | 16             |

对排种器工作过程进行离散元仿真验证<sup>[8-9]</sup>, 如图 3 所示。采用球颗粒聚合法和 CAD 建模法分别建立荞麦种子仿真分析模型和排种器的边界模型<sup>[10]</sup>。在仿真过程中, 粒子工厂不断生成种子颗粒, 颗粒落入排种盒中, 通过统计单位时间内的掉落数量来计算排种器的排种速度。在 EDEM 仿真排种器对荞麦种子的排种过程中, 分析其排种速度与槽轮转速的关系。根据拖拉机作业速度及荞麦播种农艺要求, 确定单个排种器的理论排种速度为  $3.79\text{ g/s}$ 。

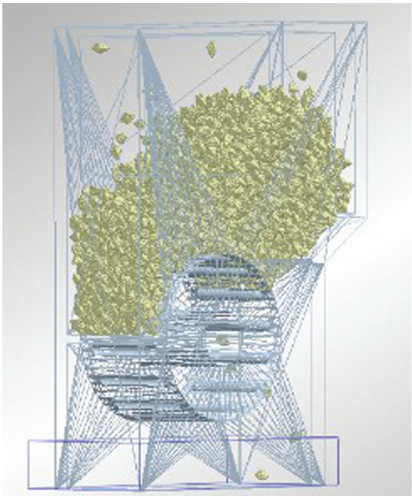


图 3 排种器离散元仿真

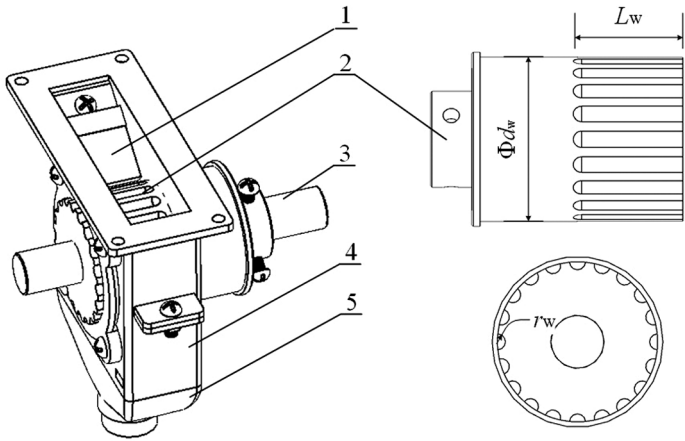


图 2 排种器结构示意图

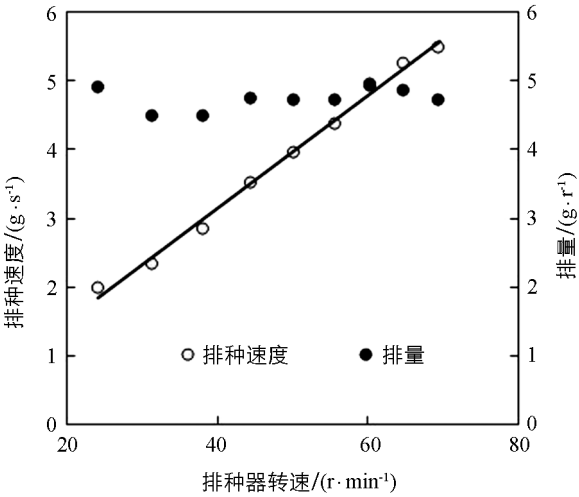


图 4 排种器排种速度和排量与槽轮转速关系曲线

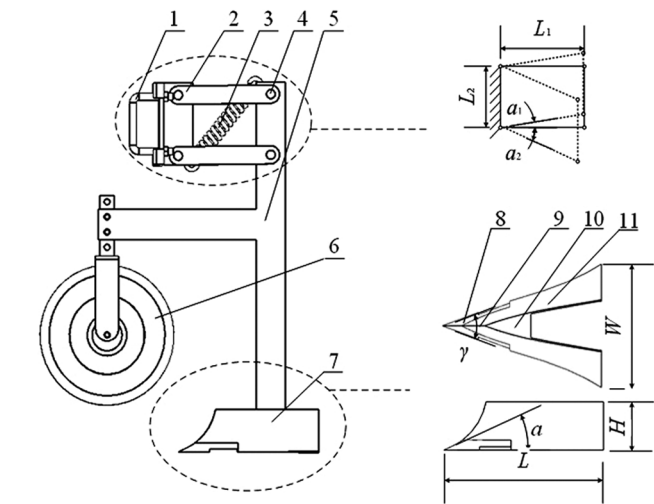
根据以上参数, 对排种器排种过程进行仿真分析, 得到排种器排种速度和排量与槽轮转速的关系, 如

图 4 所示。由该图可知,排种器排种速度和排量与槽轮转速呈线性关系,在 24.25~69.5 r/min 的转速范围内,排种速度由 1.8 g/s 线性增加到 5.6 g/s,排量稳定在 4.74 g/r 左右,未出现由于排种轮转速过快、种子难以填充入高速旋转的凹槽内而引起的排量快速下降问题。

2.2 种沟开沟器平行四杆机构仿形设计

当地形发生变化时,为使种沟开沟器具备开沟深度一致性,在整机仿形的基础上,单独设计铰接在机架上的平行四边形单组仿形机构,如图 5 所示。机构由 U 形螺栓、平行四杆机构、弹簧、铰接销轴、支架、仿形轮等组成。仿形机构通过 U 形螺栓固定在机架上,平行四杆机构的连杆下端焊接开沟铲,仿形轮通过支架固定在连杆上,弹簧两端分别连接机架和连杆,对仿形轮施加接地压力。当地面起伏时,仿形轮随之上下运动,通过支架带动连杆和开沟铲,克服弹簧力上下摆动,使开沟深度保持一致。

开沟器平行四杆仿形机构仿形量要依据土地情况来确定,通常情况下,上下仿形量各为 80~100 mm<sup>[11]</sup>。设计仿形机构参数如表 2 所示。



1. U 形螺栓; 2. 平行四杆机构; 3. 弹簧; 4. 铰接销轴; 5. 支架; 6. 仿形轮; 7. 种沟开沟铲; 8. 铲头; 9. 铲刃; 10. 顶板; 11. 船身侧板。

图 5 种沟开沟器结构示意图

表 2 仿形机构参数

| 连架杆长度 $L_1$ /<br>mm | 连杆长度 $L_2$ /<br>mm | 上仿形角 $\alpha_1$ /<br>° | 下仿形角 $\alpha_2$ /<br>° | 仿形轮直径 $d$ /<br>mm | 仿形轮与铲底距离 $w$ /<br>mm |
|---------------------|--------------------|------------------------|------------------------|-------------------|----------------------|
| 160                 | 100                | 0~10                   | 0~20                   | 230               | 215                  |

种沟开沟器最大开沟深度  $H_1$  和最大仿形量  $H_2$  为:

$$\begin{cases} H_1 = w - d/2 \\ H_2 = L_1 (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2) \end{cases} \tag{1}$$

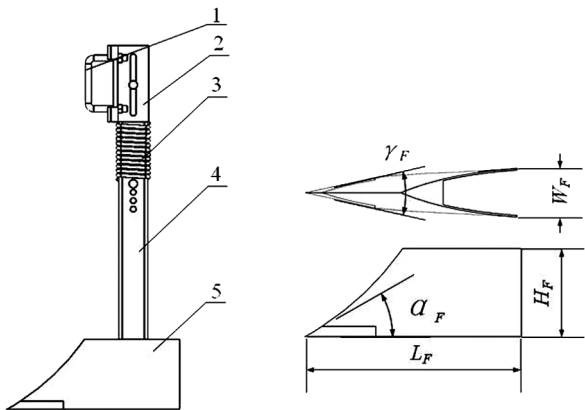
荞麦播种作业速度较低,为此设计种沟开沟铲为破土能力强,适用于浅播、窄行播和条播的船形铲式锐角开沟器<sup>[12]</sup>。开沟器由铲头、铲刃、顶板和船身侧板组成。船身侧板由钢板冲压而成,然后与铲头、顶板、支架焊接在一起。铲头设计为便于入土破土的三棱锥台形,铲头底部为后凹式设计,以减小土壤阻力和开沟宽度,限制种子的弹射滚动,同时提升种沟的坚实度和平整度;铲刃为两个船身侧板之间的弯曲脊线,用于破土和将碎土分向两侧;顶板用于增强开沟器强度和连接立柱,同时防止浮土先于种子落入种沟;支架用于开沟器与机架的连接,设计为中空结构,内有落种管。首先由铲头穿破土层,经铲刃将土壤分至侧方形成预开沟;然后船身侧板将碎土压向沟侧;最后船身侧板和铲头底板共同挤压,固定沟形。

开沟器的关键参数在现有农业机械设计参数的基础上进行如下改进:为同时降低开沟阻力和破土阻力,开沟器入土角应略大于土壤与开沟器材料间的摩擦角,土壤与钢之间的摩擦角  $\phi$  为 14°~19.5°,综合考虑,确定入土角  $\alpha=25^\circ$ ;设计入土隙角为 0°,使沟底平整稳固;较小的铲头张角有利于减小土层扰动范围和入土阻力,但是会导致铲头长度增加,强度下降,根据实际情况,取铲头张角  $\gamma=40^\circ$ ;设计铲刃下部的曲率半径大于铲刃中部,有利于土壤从铲头脱落,为提升入土性能和紧凑性,铲刃曲率半径设计为 86~120 mm;最终设计种沟开沟器长度  $L$  为 242 mm,高度  $H$  为 70 mm,开沟宽度  $W$  为 180 mm。

2.3 集中施肥沟播肥沟开沟器设计

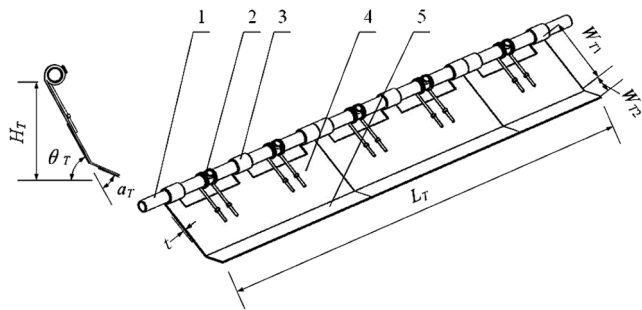
沟播集中施肥技术是一种广泛应用的粮食增产技术,可以改善荞麦的生长发育条件,促进出苗和根系生长<sup>[13]</sup>。根据其农艺要求,进行肥沟开沟器设计。为提升肥沟开沟器的通过性,设计铲柄为套筒式仿形结构,如图 6 所示。方形套筒用 U 形螺栓固定在机架上,铲柄立柱上端嵌套在套筒内,下端固定开沟铲,铲

柄立柱与方套筒之间装有压簧进行仿形。肥沟开沟位置为两行种沟中间。与种沟开沟器相同, 肥沟开沟器也设计为船形铲式。肥沟开沟器入土角  $\alpha_F=25^\circ$ ; 为避免肥沟影响种沟, 设计肥沟开沟器的铲头张角小于种沟开沟器的铲头张角, 取  $\gamma_F=25^\circ$ ; 根据沟播集中施肥技术要求, 肥料施在种子下方 4 cm 处, 因此肥沟开沟器的高度大于种沟开沟器, 为进一步降低破土阻力, 设计铲刃曲率半径为 400 mm; 最终设计肥沟开沟器长度  $L_F$  为 310 mm, 高度  $H_F$  为 125 mm, 开沟宽度  $W_F$  为 70 mm。



1. U 形螺栓; 2. 方套筒; 3. 压簧; 4. 立柱; 5. 肥沟开沟铲。

图 6 肥沟开沟器结构示意图



1. 支架; 2. 压紧弹簧; 3. 安装套筒; 4. 覆土板; 5. 横板。

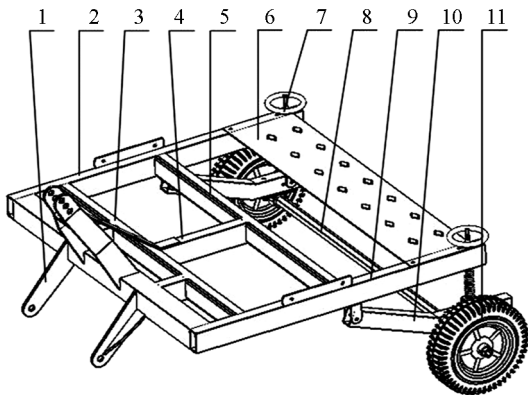
图 7 覆土器结构示意图

## 2.4 整体刮板式覆土器设计

荞麦为中耕作物, 常用覆土能力较强的刮板式覆土器<sup>[14]</sup>。为保证各行覆土深度的一致性, 设计整体式覆土器, 如图 7 所示, 由支架、压紧弹簧、安装套筒、覆土板和横板组成。结合行距、苗幅宽和覆土量, 参考农业机械设计手册, 设计覆土板长度  $L_T=1\ 120\text{ mm}$ , 覆土板宽度  $W_{T1}=150\text{ mm}$ , 横板宽度  $W_{T2}=(1/3\sim 1/2)W_{T1}=50\text{ mm}$ , 板厚  $t=2.5\text{ mm}$ ; 为提高覆土能力并防止壅土堵塞, 取覆土板与横板之间夹角  $\alpha_T=38^\circ$ , 覆土板与地面夹角  $\theta_T=55^\circ$ ; 为防止土块、根茬堵塞, 设计通过高度  $H_T=130\text{ mm}$ 。

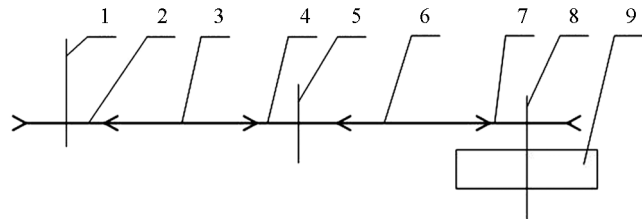
## 2.5 机架及整体仿形设计

机架采用型材以简化制造工艺, 主体框架由矩形管焊接而成, 框架与各部件采用螺栓连接, 便于拆卸维护。机架如图 8 所示, 主要包括悬挂连接架、右侧梁、前横梁、中梁、后横梁、踏板、沟深调节器、地轮轴、左侧梁、连接架和地轮。连接架铰接在左右侧梁中部, 另一端连接地轮轴和覆土器; 整机沟深通过沟深调节器调节机架与地轮之间的间距来调整, 沟深调节器设计为双手轮调节式, 以实现左、右沟深的独立调节; 地轮随地面起伏带动整机上下运动, 实现整体仿形开沟施肥播种作业; 踏板用于辅助肥料、种子的装填作业。



1. 悬挂连接架; 2. 右侧梁; 3. 前横梁; 4. 中梁; 5. 后横梁; 6. 踏板; 7. 沟深调节器; 8. 地轮轴; 9. 左侧梁; 10. 连接架; 11. 地轮。

图 8 机架结构示意图



1. 排种器轴; 2. 链轮 I; 3. 链条 I; 4. 链轮 II; 5. 中间轴; 6. 链条 II; 7. 链轮 III; 8. 地轮轴; 9. 左地轮。

图 9 传动系统示意图

2.6 传动系统设计

为使排种器的转速与整机前进速度同步，以保证排种量均匀、稳定，设计本机传动系统为整体链传动，如图 9 所示。传动系统包括排种器轴、链轮 I、链条 I、链轮 II、中间轴、链条 II、链轮 III、地轮轴和左地轮。左地轮在地面滚动获取动力，通过链传动传给所有排种器，使荞麦种子被从种箱中排出，然后经过输种管送入开好的种沟之中；链轮 II 为作为张紧轮安装在中间轴上。根据文献<sup>[10]</sup>，谷物播种机播量  $Q$  计算公式为：

$$Q = \frac{10iq}{\pi Db(1 + \delta)} \tag{2}$$

根据荞麦播种设计及农艺要求，播量  $Q$  为  $90 \text{ kg/hm}^2$ ，排种器排量  $q$  为  $4.74 \text{ g/r}$ ，行距  $b$  为  $0.3 \text{ m}$ ，地轮直径  $D$  为  $0.54 \text{ m}$ ，地轮为橡胶轮，其滑移系数  $\delta$  取  $0.04$ 。由此可以计算排种器与地轮之间的转速比，即传动比  $i$  为：

$$i = \frac{\pi DbQ(1 + \delta)}{10q} \tag{3}$$

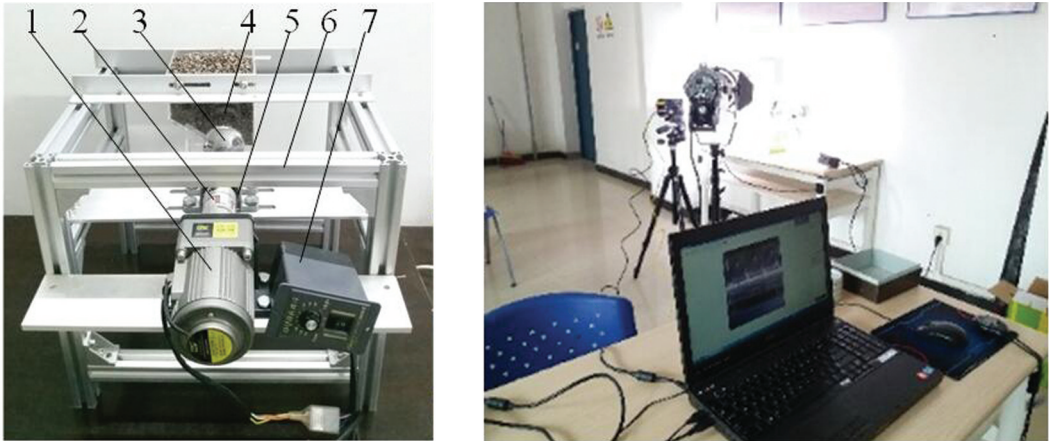
取  $i=1$ 。本机传动速度较低且载荷冲击小，因此采用 08B 单排滚子链及其链轮，兼顾排种均匀性和链轮外廓尺寸，取链轮齿数  $z=16$ 。

3 台架及田间试验

3.1 排种器性能台架试验

3.1.1 试验条件

排种器的性能对荞麦播种机的整体性能有重要影响。为验证排种器仿真结果与实际排种性能，进行台架试验。试验系统如图 10 所示，主要由调速电机、联轴器、排种器、种盒、轴承、支架和电机调速器组成。高速摄像系统使用安装尼康 60 mm F 2.8 微距镜头的 Phantom M310 高速摄像机。



1. 调速电机；2. 联轴器；3. 排种器；4. 种盒；5. 轴承；6. 支架；7. 电机调速器。

图 10 排种器性能台架试验系统

3.1.2 试验方法

改变电机转速，测量不同转速下的排种器排量。各转速下分别测量 5 次，每次 30 s，排种器排量为排种重量与排种时间的比值，以其平均值为排种器在该转速下的排量<sup>[15]</sup>。利用高速摄像系统拍摄排种过程，基于 PCC(Phantom Camera Control)软件分析不同转速下的种子填充状态。

3.1.3 试验结果与分析

台架试验结果如图 11 所示。由该图可知，在台架试验中，排种器平均排量为  $5.07 \text{ g/r}$ 。相同转速下，台架试验测得的排种器排量大于仿真试验结果，两者平均误差为  $6.34\%$ ，且随着排种器转速增加，误差呈

增大趋势. 其原因在于: 种刷与槽轮的过盈度难以保证恒定, 清种力度较小, 当转速增加时, 种子对种刷的冲击力增大, 使种刷与槽轮间隙增加, 从而导致排量增大.

不同转速下荞麦种子在排种器各凹槽内的填充统计结果如图 12 所示. 各凹槽中荞麦种子填充数量为 4~9 颗, 平均填充数量为 6.6 颗, 71.1% 的凹槽中种子填充数量为 6~7 颗; 在排种器转速较低时, 85% 的凹槽中种子填充数量为 6~7 颗, 随着转速增加, 填充均匀性变差, 变异系数由 13.32% 上升至 15.97%; 不同转速下的单圆周颗粒总数, 即排种器每旋转一周的排种量为 130~140 颗, 平均排种量为 133 颗, 变异系数为 3.42%, 排量较为稳定.

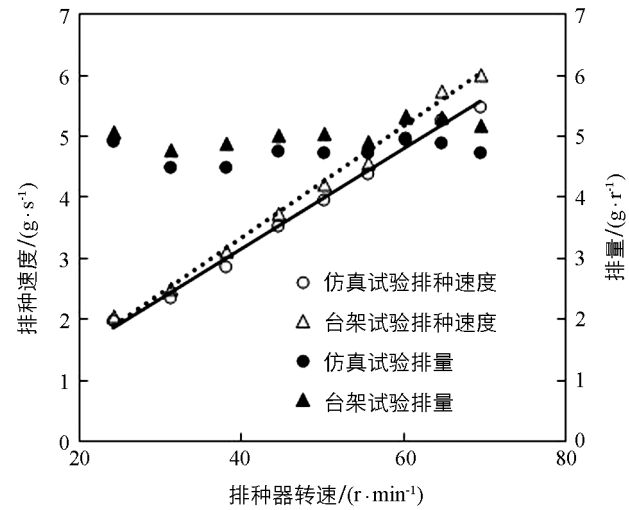


图 11 排种速度及排量随排种器转速变化曲线

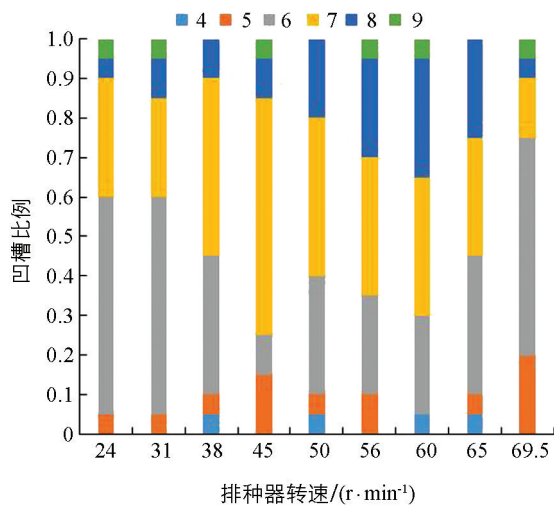


图 12 不同转速下荞麦种子在排种器各凹槽内的填充情况统计

### 3.2 四行荞麦精量播种机田间试验

#### 3.2.1 试验条件

2020 年 08 月 28 日, 在重庆市酉阳县后坪乡荞麦种植田进行了四行荞麦精量播种机播种性能田间试验, 如图 13 所示. 荞麦种子使用西南大学与重庆市农业学校共同培育的甜荞品种西荞 2 号, 播种量为  $9\text{ g/m}^2$ . 前茬作物为玉米, 犁耕平整后播种, 秸秆覆盖量  $100\text{ g/m}^2$ , 土地平整, 土壤含水率为 12%, 种子纯净度为 98%. 配套动力为宗申巴贝瑞帕维奇 ZS554 型拖拉机 ( $40.5\text{ kW}$ ), 拖拉机挡位固定在“中—II”挡, 实测前进速度为  $5.5\text{ km/h}$ .



图 13 田间试验

#### 3.2.2 试验方法

本次田间试验主要按照相关标准设计<sup>[16]</sup>, 对整机各行排量一致性和总排量稳定性、播种深度合

格率、各行排量一致性和总排量稳定性进行检测,并计算其变异系数.同时对覆土厚度合格率和覆土率进行测试.

(1) 排种性能测试. 荞麦播种机地面行进 50 m(相当于排种器回转 32 圈),设置排种器槽轮工作长度分别为 5 mm、10 mm、15 mm 和 20 mm,将各行排出的种子分别收集到下方的容器内,称重并记录,重复 5 次.收集数据,整理计算各行排种量一致性、总排量稳定性以及种子破损率.

(2) 播深、覆土情况及播种均匀性测试. 根据荞麦播种农艺要求,覆土厚度为 2~3 cm,播深为 5~10 cm. 为此,设定覆土厚度为 2.5 cm,开沟深度为 7 cm,排种器设置为最大排量.沿试播地块对角线随机取 5 个区域,播种覆土后,分别测量各区域中每行的播种长度  $L_{zf}$  和未覆土长度  $L_{wf}$ ,则该区域的覆土率为  $(L_{zf}-L_{wf})/L_{zf}$ ,所有区域测得值的平均值为总覆土率;扒开土层,测量种子覆土厚度,在往返各单程内交错选取 5 个区域,各区域内每行测量 5 个点,计算覆土深度为 2~3 cm 范围内的点占测定点数的百分比,所有区域测得值的平均值为覆土厚度合格率;测量覆土厚度的同时,测量种沟开沟器的开沟深度,所有区域测得值的平均值为播种深度.在 2 个区域中,取 10 个连续的 10 cm 行段,测量各段内的种子颗数.去掉覆土,清点荞麦种子颗数,检验播种均匀性.

3.2.3 试验结果

排种性能试验结果如图 14 所示.排种器槽轮工作长度为 5 mm、10 mm、15 mm 和 20 mm 时,排种器平均排量为 1.25 g/r、2.62 g/r、3.79 g/r 和 5.15 g/r,每行的排种量一致性变异系数均不大于 3.9%,总排量稳定性变异系数为 1.03%、0.81%、0.72%和 0.77%.排种器排量随槽轮工作长度增大线性增加,且排量较为稳定.由于采用种刷结构且荞麦种子质地坚硬,试验过程中未发现种子破损现象,破损率为 0.

四行荞麦精量播种机覆土率试验结果如图 15 所示,覆土厚度试验结果如图 16 所示,播深试验结果如图 17 所示.由图 15 可知,各行覆土率为 92%~100%,总覆土率为 96.4%;由图 16 可知,覆土厚度为 1.9~3.7 cm,平均覆土厚度为 2.3 cm,覆土厚度合格率为 84%;由图 17 可知,播深为 5.8~8.6 cm,平均播深为 7.1 cm,播深合格率为 100%.

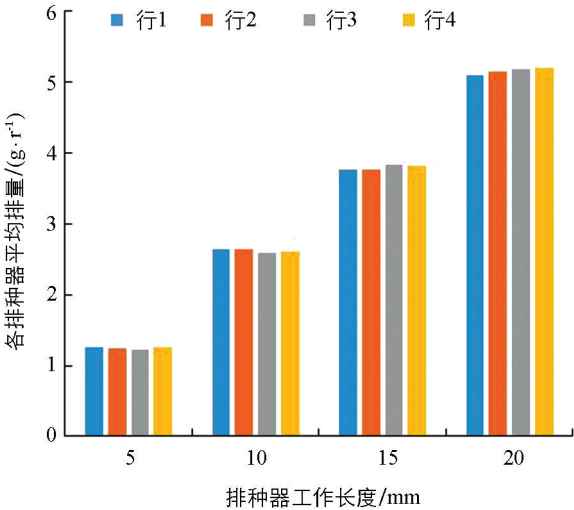


图 14 不同工作长度下排种器的平均排量统计

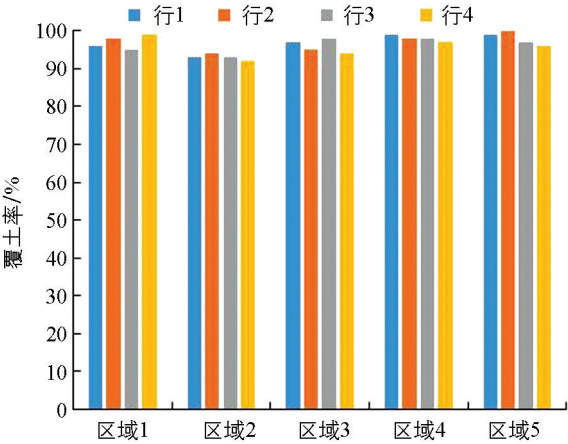


图 15 不同播种区域各行覆土率统计

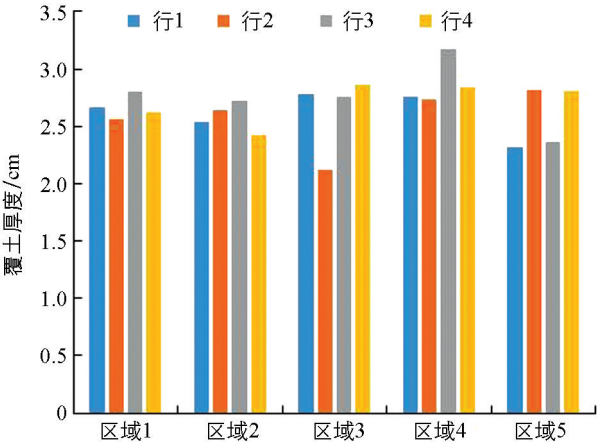


图 16 不同播种区域各行覆土厚度统计

荞麦精少量播种施肥一体机田间播种均匀性试验结果如图 18 所示. 每 10 cm 平均播种量为 7.28 颗, 播种均匀性变异系数为 9%. 根据公式(2), 计算最大播种量为 9.15 g/m<sup>2</sup>, 满足设计要求.

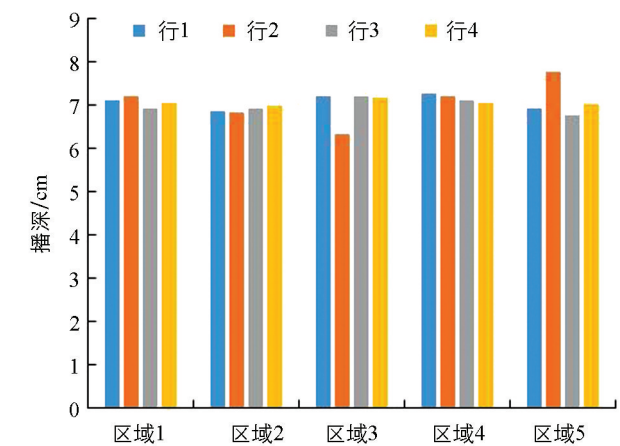


图 17 不同播种区域各行播深统计

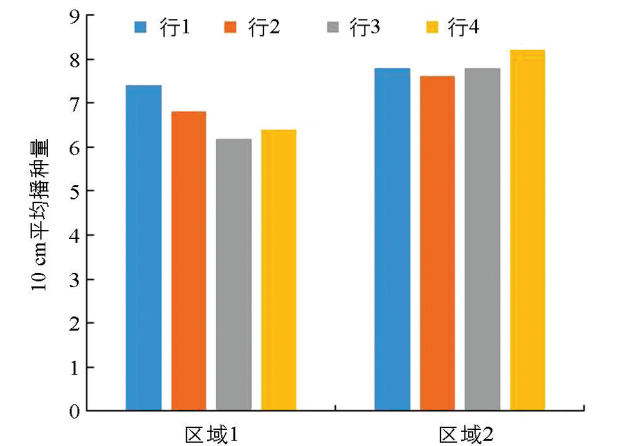


图 18 单行 10 cm 平均播种量统计

## 4 小结

(1) 研制的四行荞麦精量播种机采用外槽轮式荞麦精少量排种器, 排种均匀且稳定, 满足相关标准要求. 采用机架地轮整体仿形与种沟、肥沟开沟器单组仿形相结合, 播深均匀, 适应性强. 开沟器设计为船形铲式, 破土阻力小. 采用整体刮板式覆土器, 覆土深度均匀性好.

(2) 排种器性能仿真试验表明, 凹槽半径为 3 mm, 槽轮转速为 55.67 r/min, 槽数为 20 时, 排种器对荞麦种子的排种性能最优; 排种器排量与槽轮转速呈线性关系, 在 24.25~69.5 r/min 的转速范围内, 排种速度由 1.8 g/s 线性增加到 5.6 g/s, 排量稳定在 4.74 g/r 左右. 排种器填充性能台架试验表明, 各凹槽中荞麦种子平均填充数量为 6.6 颗, 随着转速增加, 填充均匀性变差, 变异系数由 13.32% 上升至 15.97%; 不同转速下的单周圆颗粒总数, 即排种器每旋转一周的排种量为 130~140 颗, 平均排种量为 133 颗, 变异系数为 3.42%, 排量较为稳定.

(3) 四行荞麦精量播种机排种性能田间试验表明, 排种器槽轮工作长度为 5 mm、10 mm、15 mm 和 20 mm 时, 排种器平均排量为 1.25 g/r、2.62 g/r、3.79 g/r 和 5.15 g/r, 各行排种量一致性变异系数均小于 3.9%, 总排量稳定性变异系数为 1.03%、0.81%、0.72% 和 0.77%, 均小于 1.3%, 种子破损率为 0. 排种器排量随槽轮工作长度增大线性增加, 且排量较为稳定.

(4) 播深、覆土情况及播种均匀性田间试验表明, 各行覆土率为 92%~100%, 总覆土率为 96.4%; 覆土厚度范围为 1.9~3.7 cm, 平均覆土厚度为 2.3 cm, 覆土厚度合格率为 84%; 播深为 5.8~8.6 cm, 平均播深为 7.1 cm, 播深合格率为 100%; 最大播种量为 9.15 g/m<sup>2</sup>, 播种均匀性变异系数为 9%. 以上性能指标均满足国家标准要求.

## 参考文献:

[1] ZHU F. Chemical Composition and Health Effects of Tartary Buckwheat [J]. Food Chemistry, 2016, 203: 231-245.

[2] 方彦杰, 张绪成, 于显枫, 等. 旱地全膜覆土穴播荞麦田土壤水热及产量效应研究 [J]. 作物学报, 2019, 45(7): 1070-1079.

[3] 张学军, 陈勇, 史增录, 等. 双仓转盘式棉花竖直圆盘穴播排种器设计与试验 [J]. 农业工程学报, 2021, 37(19):

27-36.

[4] 梁玉玥, 郑侃, 杜俊, 等. 稻麦兼用排种器振动供种装置性能试验 [J]. 沈阳农业大学学报, 2021, 52(6): 708-717.

[5] 李明生, 叶进, 李登, 等. 基于离散单元法的荞麦播种机排种器设计与试验 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(4): 78-85.

[6] 梅林森, 赵帮泰, 郭曦, 等. 高寒山区荞麦机械化播种装备及技术研究 [J]. 四川农业科技, 2019(2): 37-39.

[7] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.

[8] CHEN Z P, WASSGREN C, VEIKLE E, et al. Determination of Material and Interaction Properties of Maize and Wheat Kernels for DEM Simulation [J]. Biosystems Engineering, 2020, 195: 208-226.

[9] 刘凡一, 张舰, 李博, 等. 基于堆积试验的小麦离散元参数分析及标定 [J]. 农业工程学报, 2016, 32(12): 247-253.

[10] 张胜伟, 张端雨, 陈天佑, 等. 绿豆种子离散元仿真参数标定与排种试验 [J]. 农业机械学报, 2022, 53(3): 71-79.

[11] CUI T, ZHANG D X, YANG L, et al. Design and Experiment of Collocated-Copying and Semi-Low-Height Planting-Unit for Corn Precision Seeder [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(S2): 18-23.

[12] 刘晓鹏, 肖文立, 马磊, 等. 油菜联合直播机组合式船型开沟器设计与开沟质量试验 [J]. 农业机械学报, 2017, 48(11): 79-87.

[13] 黄明, 王朝辉, 罗来超, 等. 垄覆沟播及施肥位置优化对旱地小麦氮磷钾吸收利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(5): 1158-1168.

[14] 于兴瑞, 耿端阳, 杜瑞成, 等. 气力输送式小麦免耕施肥播种机设计与试验 [J]. 农业机械学报, 2018, 49(S1): 141-148.

[15] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 农业机械 生产试验方法: GB/T 5667-2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

[16] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 谷物条播机 试验方法: GB/T 9478-2005 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.

责任编辑 孙文静