

DOI: 10.13432/j.cnki.jgsau.2023.05.027

2BF-4轻筒型玉米精量播种机的设计与试验

韩丹丹¹, 黄与霞¹, 黄金路¹, 徐友¹, 张永生², 张黎骅¹

(1. 四川农业大学机电学院, 四川 雅安 625014; 2. 河北农哈哈机械集团有限公司, 河北 石家庄 052500)

摘要:【目的】针对西南丘陵山地玉米精量播种的滞后现状。【方法】设计了一种适用于西南丘陵山地的集施肥开沟播种于一体的4行轻筒型玉米精量播种机,该播种机单体上增加压实轮,限制种子在种沟内的弹跳;将仿形机构设计为后置式仿形机构,能有效对大坡度地面进行贴地仿形作业;该播种机采用勺轮式精量排种器,在排种器出口处设计导种机构,改善勺轮式排种器排种均匀性差、作业质量不稳定等问题。【结果】对带导种机构的勺轮式排种器进行离散元仿真,结果表明在不同作业速度条件下,其变异系数均低于20%;对该排种器进行台架试验,并与原排种器工作性能对比,粒距变异系数比原排种器低3%以上,改善效果明显。采用该排种器研制了2BF-4轻筒型玉米精量播种机,经田间试验,当播种机作业速度为3~6 km/h时,播种机合格率均高于80%、变异系数均低于30%。

【结论】试验表明,该播种机适用于西南丘陵山地玉米精量播种。

关键词:丘陵山地;轻筒型;玉米;勺轮式;播种机

中图分类号: S223.3+6

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1003-4315(2023)05-0236-10



Design and testing of the lightweight and simple 2BF-4 maize precision seeder

HAN Dandan¹, HUANG Yuxia¹, HUANG Jinlu¹, XU You¹, ZHANG Yongsheng², ZHANG Lihua¹

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China; 2. Hebei Nonghaha Agricultural Machinery Group Co., Ltd, Shijiazhuang 052500, China)

Abstract:【Objective】The backwardness of precision corn planting in the hilly and mountainous areas of southwest China. 【Method】A 4-row lightweight corn precision planter that integrates fertilization, ditching and planting is designed to adapt to the southwestern region. A compacting wheel is added to the single unit of the seeder to limit the bounce of seeds in the seed trench; the profiling mechanism is designed as a rear-mounted profiling mechanism, which can effectively carry out profiling operations on relatively steep slopes; the machine adopts a spoon-wheel precision seed metering device, and a seed guide mechanism is designed at the entrance of the seed metering device to improve the seed metering problems such as high missed seed rate, poor single-seed performance and seeding stability. 【Result】By performing discrete element simulation on the seed metering device, the result shows that all the coefficients of variation were less than 20% under different speeds. In the bench test of the seed metering device, compared with the original

第一作者: 韩丹丹, 讲师, 博士, 研究方向为粮油作物精量播种技术与装备的研究。E-mail: handd1988@126.com

通信作者: 张黎骅, 博士, 教授, 研究方向为粮油作物生产全程机械化技术与装备的研究。E-mail: zhanglihua69@126.com

基金项目: 国家玉米产业体系专项(CARS-02-29); 四川省科技厅重点研发项目(2021YFG0063)。

收稿日期: 2021-12-23; 修回日期: 2022-04-08

seed metering device. the coefficient of variation of the drop distance was less than 3%. which showed its good improvement. The 2BF-4 lightweight corn precision planter was developed by using a seed metering device. Through field tests. the average rate was more than 80% and the coefficient of variation was less than 30% when the operating speed was set at 3~6 km/h. 【Conclusion】 The planter was suitable for precision corn planting in hilly areas of southwestern China.

Key words: hilly areas; lightweight and simple type; corn; spoon-wheel type; planter

2020年我国玉米播种面积约4 126.4万 hm^2 ,占全国粮食作物播种面积的35%,已超水稻和小麦,总产量约2.61亿t,单位面积玉米产量约6 315 kg/hm^2 ^[1]。西南丘陵山地是我国三大玉米主产区之一^[2-3],2019年玉米播种面积约占全国总玉米播种面积11%,总产量约占全国9%,然而单位面积产量约为5 250 kg/hm^2 ,低于全国单位面积产量^[1]。

精量播种相比于传统播种具有明显优势。目前西南丘陵山地的机械化水平与平原地区差距较大,区域发展不平衡问题日益突出^[4-5]。因此,提高西南丘陵山地的玉米生产机械化水平十分必要。针对大型农业机械在西南丘陵山地无法正常运作,小型农机发展相对缓慢,适宜西南丘陵山地地形且作业性能良好、结构简单、操作方便的玉米播种机较少的问题,邓莹等针对南方山地玉米种植区设计一种由电机驱动、能调节株距满足玉米不同种植密度要求的手扶式玉米精量播种机,该播种机结构简单,采用铲式穴播器,能满足精量播种的要求^[6];曹慧鹏针对2ZBF-2型自走式小型电动玉米播种机的结构、工作原理及主要零部件的设计进行阐述,该机通过更换不同排种器,可实现多种农作物的播种,为丘陵山地农机化的发展提供了一种理想的作业机具^[7];徐良等针对丘陵山地玉米种植模式,应用勺式精密排种器和单体仿形机构,研制了2BFQ-2型山地小型玉米播种机,实现了精确播量、稳定耕深和均匀投种,可一次完成开沟、施肥、播种、覆土、镇压等作业^[8]。现存播种机在播种时,由于土壤阻力不同、地形起伏变化以及在地表覆盖大量茎秆和残茬等原因,导致播种粒距均匀性较差,播种质量不高,严重影响玉米的产量^[9-10]。

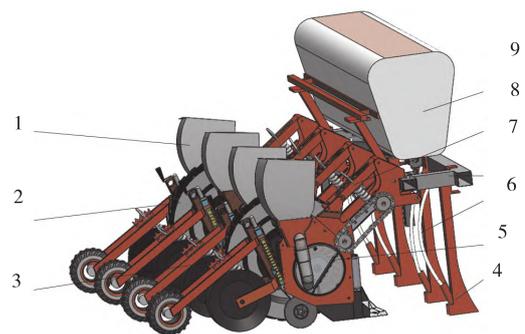
目前,由于地理环境、经济等因素的影响,西南丘陵山地玉米的生产方式还很落后,玉米的机械化生产水平相对较低,成本高^[11-13]。西南丘陵山地地块面积小且分散,播种方面适用的轻筒型农机具较

少,生产效率和种植效益较低,影响了农民种粮的积极性,且西南丘陵山地机械化进程发展较慢,是当前制约西南丘陵山地玉米产业发展的主要因素^[14-15]。因此,针对西南丘陵山地的区域特点,设计一种结构简单、质量较轻、播种精度高且质量好的播种机显得尤为必要。

1 播种机的结构设计及工作原理

1.1 整机结构设计

设计了1种2BF-4型玉米精量播种机,其整体结构如图1所示,主要由播种单体、肥箱、种箱、地轮、施肥开沟器、机架等关键部件组成。各部分连接关系如下:机架后梁装有驱动地轮和播种单体,中部为4个玉米播种单体,播种单体之间左右对称安装两驱动地轮;驱动地轮内附单向轴承,与排肥器相连;齿轮和株距调节总成啮合,通过改变传动比调节株距。机架正上方配装有肥箱,施肥开沟器位于播种机机



1: 种箱;2:地轮;3:限深调节机构;4:施肥开沟器;5:播种单体;6:排肥管;7:机架;8:平行四连杆仿形机构;9:肥箱。

1: Seed box; 2: Land wheel; 3: Depth adjustment mechanism; 4: Fertilization furrow opener; 5: A single unit of the planter; 6: Fertilizer tube; 7: Frame; 8: Parallelogram rod-linkage profiling mechanism; 9: Fertilizer box.

图1 2BF-4型玉米精量播种机结构示意图

Figure 1 Schematic diagram of the 2BF-4 maize precision seeder

架前端。

1.2 工作原理

该播种机能够适用于西南丘陵山地地形,且集施肥、开沟、精量播种、覆土、镇压于一体。播种机与拖拉机采用三点悬挂方式连接,作业时由拖拉机提供动力,地轮驱动,排肥器和排种器由链轮驱动,肥料均匀地从排肥器通过施肥开沟器落入肥沟;种子从排种器通过导向型导种机构落入种沟,压密轮推动土壤将种子包覆,最后进行覆土和镇压作业。该播种机体积小,需要配套的拖拉机动力较小,满足“轻简型”中的轻;结构简单,排种性能较好,对种子形状要求不高,满足“轻简型”中的简,适用于西南丘陵山地玉米的精量播种。其主要技术参数如表1所示。

表1 机具主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of the seeder

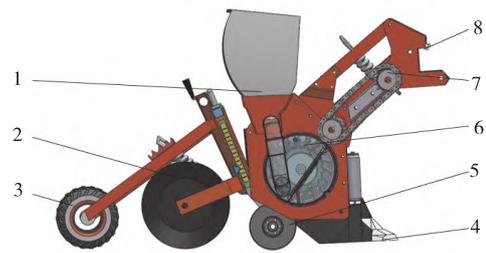
指标 Index	参数 Parameters
外形尺寸 Dimensions	1 600 mm×2 130 mm×1 180 mm
配套动力 Auxiliary power	18.3~36.7 kW
机具重量 Machine weight	<450 kg

2 关键部件的结构设计

2.1 播种单体的设计

播种单体主要由播种开沟器、种箱、勺轮式排种器、压密轮、覆土轮、镇压轮等部件组成,如图2所示。

播种单体中部为勺轮式排种器和种箱,西南丘陵山地主要为粘性土壤,为减小播种机工作阻力以及土壤和开沟器间的黏连,选择锐角开沟器,其入土能力强,动土率低,施肥开沟器与播种开沟器水平间隔10 cm;种子经导向导种机构落入种沟后,为减小种子在种沟内的弹跳,紧接其后安装有压密轮,压密轮具有弹性,可与地面紧密接触,种子从导种机构排种后的运动轨迹与压密轮在地面交接处重合,从而限制种子在种沟内的弹跳,提高播种的粒距均匀性,如图3所示。

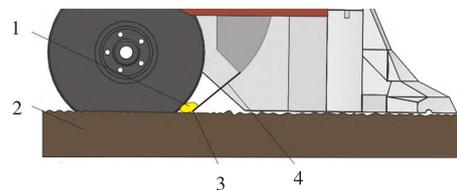


1: 进种口;2: 覆土轮;3: 镇压轮;4: 播种开沟器;5: 压密轮;6: 勺轮式排种器;7: 链轮;8: 机架连接处。

1: Seed entrance; 2: Closer wheel; 3: Tamping wheel; 4: Seeding furrow opener; 5: Tight Compaction wheel; 6: Spoon wheel type seed meter; 7: Sprocket 8. Frame connection.

图2 播种单体结构示意图

Figure 2 Schematic diagram of seeding planting unit



1: 玉米种子;2: 土壤;3: 压密轮与土壤交接处;4: 玉米排出路线。

1: Corn seed; 2: Soil; 3: The junction of compaction wheel and soil; 4: The route of discharged corn.

图3 压密轮与种子配合示意图

Figure 3 Schematic diagram of the combination of compaction wheel and seed

2.2 仿形机构的设计

播深稳定性、均匀性与准确性直接影响种子的发芽出苗,目前针对玉米播深稳定性的研究主要集中在仿形机构,依靠仿形机构将玉米精准投放在种沟内,平行四连杆仿形机构根据限深轮与开沟器的位置不同可分为前位仿形、同位仿形和后位仿形3种^[16],本文播种机针对西南丘陵山地地形实际问题,采用后位平行四连杆仿形机构,后位仿形机构的限深轮位于开沟器后方,即不会对土壤造成超前碾压,又可作为玉米播种覆土后镇压土壤用。在丘陵地区常被使用的后位式仿形机构有嵌入式和后置式2种,该播种机将仿形机构设计为后置式仿形机构,将播种单体完全固定在四杆机构后侧,如图4所示。能够有效对大坡度地面进行贴地仿形作业。

设开沟器与土壤的摩擦系数为 f_a ,限深轮与土壤得摩擦系数为 f_b ,可得:

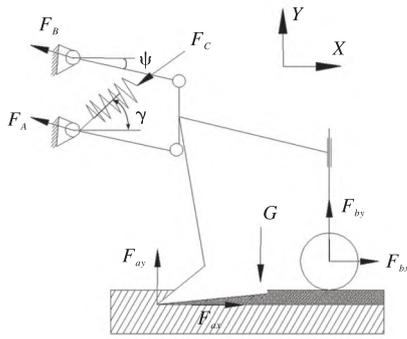


图4 后置式仿形结构示意图

Figure 4 Schematic diagram of tail simulation structure

$$F_{ax} = f_a F_{ay} \quad (1)$$

$$F_{bx} = f_b F_{by} \quad (2)$$

代入公式(1)和公式(2),由平衡条件可得后置

式后位平行四连杆仿形机构的受力:

$$F_A \cos \psi + F_B \cos \psi - f_a F_{ay} - f_b F_{by} + F_C \cos \gamma = 0 \quad (3)$$

$$F_A \sin \psi + F_B \sin \psi + F_{ay} + F_{by} - G - F_C \sin \gamma = 0 \quad (4)$$

化简可得:

$$F_{by} = \frac{G + F_C (\sin \gamma + \cos \gamma \tan \psi) - F_{ay} (1 + f_a \tan \psi)}{1 + f_b \tan \psi} \quad (5)$$

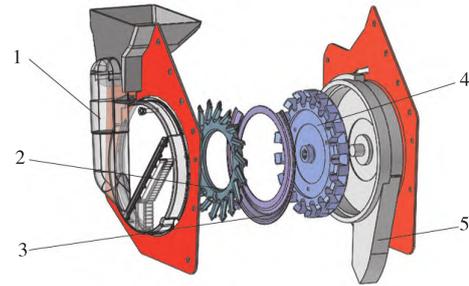
式中: F_A 、 F_B 分别为平行四连杆机构上下端受力; F_{ax} 、 F_{ay} 分别为开沟器的受力分解; F_{bx} 、 F_{by} 分别为限深轮的受力分解; G 为播种单体的质量; F_C 为仿形弹簧的拉力; ψ 为上下仿形杆与水平面的牵引夹角($^\circ$); γ 为仿形弹簧与水平面的夹角($^\circ$)。

2.3 排种器导种机构的设计及原理

排种器是精密播种机的核心部件,其结构直接影响播种机的工作质量^[17-20]。勺轮式排种器属于机械式排种器,因其结构简单、播种质量较优,在西南地区应用广泛。为防止播种机在田间作业时,玉米种子从导种口落入种沟后产生弹跳,导致种子在种沟内分布不均匀,影响播种的粒距均匀性,本文在勺轮式排种器出口处设计一个导向导种机构,实现零速投种,如图5所示。

近年来,许多学者对导种管开展了研究。贺俊林等通过改变导种管形状能改变种子下落的运动轨迹,从而减小种子的弹跳^[21];陈学庚等利用二次投种方法将种子准确输送到种沟,提高播种均匀性^[22-23]。为使种子在整个导种过程中有较均匀的加速过程和稳定的抛种速度,本文将导种机构设计为直线段和圆弧段组合的形式。

理想导种机构的设计需遵循种子运行平稳、顺



1:外壳;2:排种勺轮;3:隔板;4:导种叶轮;5:带导种机构的腔壳。

1: Shell 2. Seed metering spoon wheel; 3: Division plate; 4: Seed-guiding impeller; 5: Cavity shell with seed-guiding mechanism.

图5 带导种结构的勺轮式排种器

Figure 5 Scoop-wheel seed metering device with seed guide structure

利通过的原则,即在导种过程中不影响种子排出顺序和间隔且不产生弹跳,根据“零速投种”要求,种子从排种器排出后应按照一定路径均匀稳定、不断地改变运动速度的方向和大小,在种子完全脱离导种机构时,种子运动速度的水平分量应与播种速度大小相等、方向相反^[24-26]。种子在导种结构直线段间仅有切向运动,种子受到摩擦力和支撑力,不产生圆周力,减少径向跳动;种子到达导种机构圆弧段时其速度由垂直转为水平方向,抵消播种机作用速度,使种子在种沟内减少跳动且分布均匀。

结合“零速投种”原理,对种子在导种机构的运动状态进行分析,得出种子运动形态与导种机构参数之间的关系。

玉米种子在直线段AB受到3个力的作用,分别为种子自身重力 G 、种子与导种机构的摩擦力 f_1 和种子受到导种机构的支持力 N_1 。图6为玉米种子在导种机构直线段AB的受力分析。其中

$$G = mg \quad (6)$$

$$f_1 = \mu N_1 \quad (7)$$

$$F = ma = mgs \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha \quad (8)$$

式中: m 为玉米种子质量; g ; μ 为接触摩擦系数; g 为重力加速度, m/s^2 ; a 为种子在直线段的加速度, m/s^2 。

将种子排出排种器的位置记为初始位置,并沿着种子运动路径建立正向坐标系,种子在脱出排种器后具有一个初速度 v_A ,故种子在直线段做匀加速

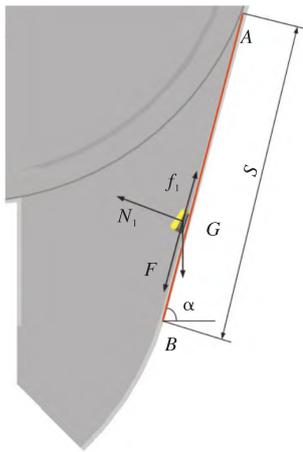


图6 直线段AB种子运动受力分析

Figure 6 Force analysis of seed movement in the straight section AB

直线运动的距离S为:

$$v_A = wr \tag{9}$$

$$S = v_A t + \frac{1}{2} a t^2 = wrt + \frac{1}{2} (g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha) t^2 \tag{10}$$

式中: w 为排种盘转动角速度, r/min ; r 为排种盘半径, mm ; α 为直线段与水平面的夹角, $^\circ$; t 为种子在直线段运动时间。

玉米种子在圆弧段BC受到4个力的作用,分别为:玉米种子的重力 G 、导种机构圆弧段对种子的支撑力 N_2 、玉米种子与导种机构圆弧段的摩擦力 f_2 和种子受到的圆周力 F_1 。图7为玉米种子在导种机构圆弧段的受力分析图。此时种子在导种机构内做圆周运动:

$$F_1 = N_2 - mg \cos(\alpha - \beta) = \frac{mv^2}{R} \tag{11}$$

式中: R 为导种机构圆弧段的半径, mm ; v 为种子做圆周运动时的瞬时速度, m/s ; β 为玉米种子与圆弧段圆心连线和直线圆弧交点与圆心连线的夹角($^\circ$)。

为了得到种子完全脱离导种结构的瞬时速度,根据动能定理,对整个直线段和圆弧段导种过程进行分析,得出下列等式:

$$W_l + W_z - W_f = \frac{1}{2} m v_c^2 - \frac{1}{2} m v_A^2 \tag{12}$$

$$W_l = mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) S \tag{13}$$

$$W_z = mgL \tag{14}$$

$$W_f = \mu N_2 \beta R \tag{15}$$

$$l = R[\cos(\alpha - \beta) - \cos \alpha] \tag{16}$$

式中: W_l 为种子在直线阶段运动所做功, J ; W_z 为圆弧段种子重力做功, J ; W_f 为圆弧段种子受到的摩擦

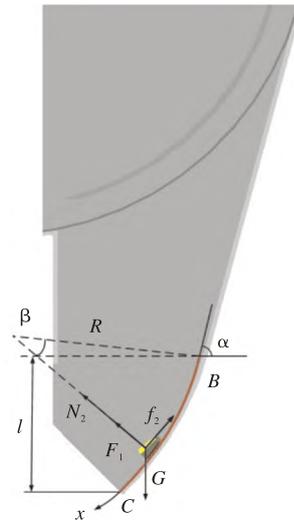


图7 圆弧段BC种子运动受力分析

Figure 7 Force analysis of seed movement in the arc segment BC

力做功, J ; L 为圆弧段的竖直落差高度, mm 。

由于种子在圆弧段做圆周运动受到的圆周力很小,为方便后续计算,取种子在圆弧段受到的支持力 N_2 :

$$N_2 = mg \cos(\alpha - \beta) \tag{17}$$

结合式(12)~(17),整理后得到玉米种子脱离导种机构的速度 v_c 为:

$$v_c = \sqrt{2gST + 2gRP - 2\mu g \cos(\alpha - \beta) \beta R + \omega^2 r^2} \tag{18}$$

式中:

$$P = \cos(\alpha - \beta) - \cos \alpha \tag{19}$$

$$T = \sin \alpha - \mu \cos \alpha \tag{20}$$

为了使玉米种子抛出时的水平分速度 $v_c \sin(90^\circ - \alpha - \beta)$ 等于播种机前进速度,由式(18)可知,影响抛出速度的因素为:直线段长度 S 、直线段与水平方向夹角 α 、玉米种子与导种结构接触摩擦系数 μ 、圆弧段半径 R 、圆弧段弧度 β 、排种盘转动角速度 ω 、排种盘半径 r 。其中,主要影响 v_c 的参数为直线段设计参数 α 、 S 与圆弧段设计参数 R 、 β 。因此对于整个导种机构的设计简化为以上4个参数,为使玉米种子有较短导种时间,故种子进入导种机构后需要较大合力, α 值应取得较大,本文取 75° ,为使种子在圆弧段时有较大的竖直分速度, β 值应小于 45° ,本文取 35° ,根据导种机构设计的离地高度可以得到圆弧段的竖直落差高度 l 不小于 6.5 cm ,从而得到 R 的取值范围为 $R > 12.8 \text{ cm}$,本文取 13 cm ,最后根据“零速投种”的速度要求,得出 S 为 15 cm 。

3 带导种机构的匀轮式排种器排种性能试验

3.1 仿真试验

3.1.1 仿真模型的建立 仿真试验采用西南丘陵山地应用的仲玉3号玉米种子为建模对象,随机选取500粒种子测量其三轴尺寸。根据统计结果在Solidworks中建立玉米种子三维模型,通过球面填充方法,得到如图8所示的玉米种子离散元仿真模型。

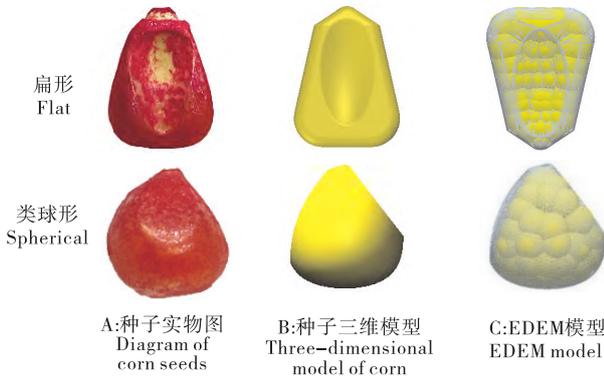


图8 玉米种子三维模型

Figure 8 Three-dimensional model of corn seeds

在三维绘图软件Solidworks中根据1:1比例建立带导种机构的匀轮式排种器三维模型,并导入离散元仿真软件EDEM中。在种箱上方创建虚拟颗粒工厂,以此模拟实际作业时种子从种箱进入排种器的过程,如图9所示。

3.1.2 仿真参数的设定 为模拟实际作业过程,先对排种器进行充种,充种时间设定为1s,通过对仲玉

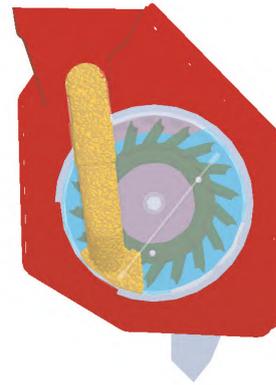


图9 排种器三维模型

Figure 9 Three-dimensional model of the seed metering device

3号玉米种子随机抽取500粒进行测量,得出圆粒种子占比26%,扁粒种子占比74%,为保证仿真时不同种子类型分布的均匀性,仿真试验时,设置圆粒种子生成速率为780粒/s,扁粒种子生成速率为2220粒/s,充种时排种盘处于静止状态,充种结束后,排种匀轮和导种叶轮同时旋转,为测试带导种机构匀轮式排种器的排种稳定性,模拟种子在排种器内的运动过程,建立长度为5m的种床带,种床带模拟拖拉机的工作速度,进行直线运动,排种盘由铝合金制成、传送带为橡胶材料,几何模型与玉米种子材料参数和接触参数参考前人研究成果^[27-29],如表2所示。

将传送带前进速度设置为3、4、5、6、7、8 km/h,试验设计的理论株距为20 cm。通过公式(21)计算出排种器的相应转速:

表2 物理特性参数

Table 2 Physical characteristic parameters

材料 Material	玉米种子 Corn kernels	铝合金 Aluminum alloy	橡胶材料 Rubber material
泊松比 Poisson's ratio	0.4	0.24	0.47
剪切模量/Pa Shear modulus	1.37e+08	2.7e+10	2.9e+09
密度/(g·cm ⁻³) Density	1.197	2.700	1.350
碰撞恢复系数/与玉米 Collision recovery factor / with corn	0.182	0.729	0.000 1
静摩擦系数/与玉米 Static friction coefficient / with corn	0.2	0.342	10
动摩擦系数/与玉米 Dynamic friction coefficient/with corn	0.078 2	0.051 5	10

种子与橡胶相互间力学特性参数是为方便固定种子落点设定,非真实值。

The mechanical characteristic parameters between the seed and the rubber are set for the convenience of fixing the drop point of the seed, not the true value.

$$n = \frac{60v}{SZ} \quad (21)$$

式中： n 为排种器转速， r/min ； v 为播种机前进速度， m/s ； S 为株距， m ； Z 为排种盘型孔数。

得到排种器转速分别为 13.8、18.5、23.2、27.8、32.4、37 r/min 。

3.1.3 仿真过程及结果 为量化所设计的带导种机构排种器的导种稳定性，选取变异系数为评价指标。其计算公式为：

$$V(\%) = \frac{SD}{MN} \times 100\% \quad (22)$$

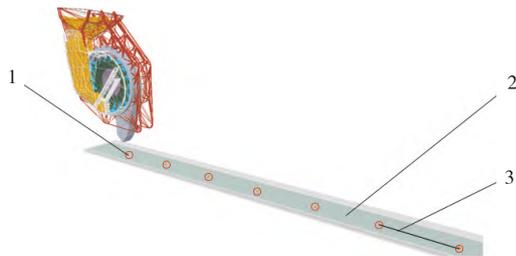
式中： V 为变异系数， SD 为粒距标准偏差， MN 为粒距平均值， mm 。

在以上工况下，每组仿真试验重复 3 次，通过 EDEM 软件的 ruler 工具测定种子粒距，如图 10 所示，将所测得粒距带入式(22)计算变异系数，试验结果如表 3 所示。

表 3 样排种器不同工作速度下的变异系数

Table 3 Coefficient of variation at different forward speeds

工作速度/($km \cdot h^{-1}$) Working speed	3	4	5	6	7	8
变异系数/% Coefficient of variation	9.5	9.7	10.6	12.4	13.5	16.8



1:玉米种子;2:油带;3:粒距。
1: Corn seeds; 2: Oil belt; 3: Grain spacing.

图 10 仿真过程

Figure 10 Simulation process

3.2 台架试验

在 JPS-12 排种器性能检测试验台上分别进行带导种结构和不带导种结构的匀轮式排种器的工作性能台架，台架及其排种过程种子分布情况如图 11 所示，将种床带作业速度设置为 3~8 km/h ，选定丘陵山地常用的玉米品种仲玉 3 号为试验材料，理论株距为 20 cm 。



A: 带导种结构排种器
Seed metering device with seed-guiding mechanism
B: 无导种结构排种器
Seed metering device without seed-guiding mechanism

图 11 台架试验

Figure 11 Bench test

以合格率、重播率、漏播率、变异系数为评价指标开展台架试验。每组试验重复 3 次，每次试验样本为 251 粒种子，按照《GB/T 6973-200 单粒(精密)播种机试验方法》^[30]进行结果统计。播种合格率 Q 、重播率 M 、漏播率 L 计算公式如下：

其中，合格率为：

$$Q(\%) = \frac{n_1}{N} \times 100\% \quad (23)$$

重播率为：

$$M(\%) = \frac{n_2}{N} \times 100\% \quad (24)$$

漏播率为：

$$L(\%) = \frac{n_3}{N} \times 100\% \quad (25)$$

式中： Q 、 M 和 L 分别为合格率、重播率和漏播率， n_1 、 n_2 、 n_3 、 N 分别为种子合格数、重播数、漏播数和总数。

试验结果如图 12 所示。

从图 12 台架试验结果可知，在相同工况下，带导种机构和无导种机构的匀轮式排种器在播种机作业速度为 3~8 km/h 的时候其播种性能变化规律一致，其中，合格率随着作业速度的增加逐渐降低，变异系数、重播率、漏播率随着作业速度的增加逐渐增加，带导种机构和无导种机构的排种器合格率基本相同，但带导种机构的变异系数明显优于无导种机构的排种器，且每个速度情况下变异系数均降低了 3% 以上，在工作速度为 8 km/h 时，变异系数依然小于 30%，因此，带导种机构的排种器具有较优的导种均匀性与播种稳定性。

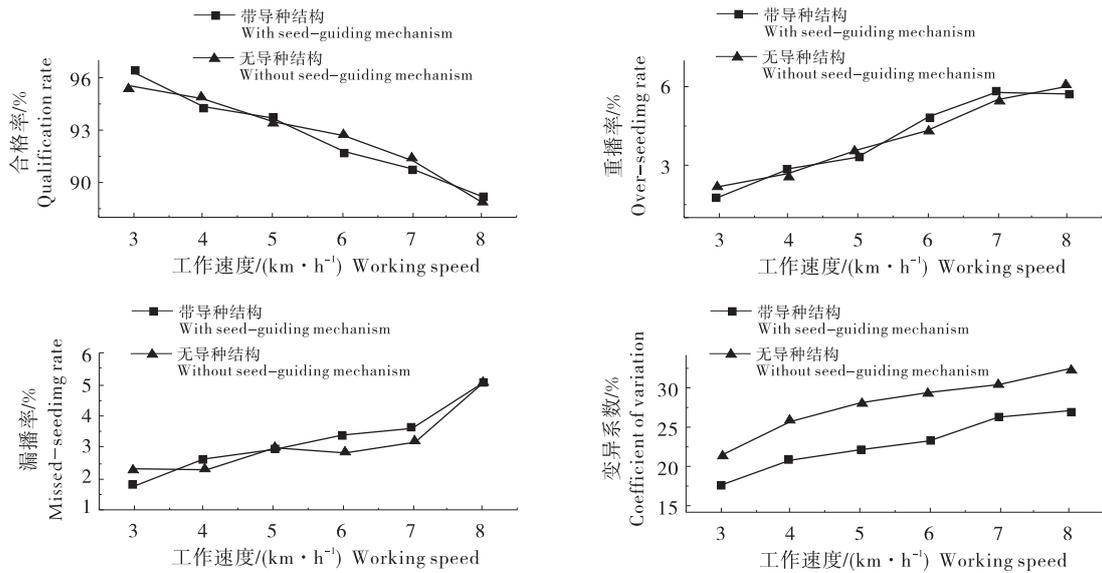


图12 台架试验结果

Figure 12 Bench test results

4 田间试验

4.1 试验条件

2021年6月,试验位于南充市南部县,选用四川地区使用较多的品种仲玉3号,全生育期118.5d,第一叶鞘颜色紫、尖端形状为圆形到匙形。拖拉机为东方红704,作业速度为3~6 km/h,玉米理论株距为20 cm,播种深度为6~8 cm,施肥深度10~12 cm,种、肥开沟器水平距离保持10 cm。播种试验如图13-A所示。



A: 播种机田间作业
Field operation of the planter

B: 数据采集
Data acquisition

图13 田间试验

Figure 13 Field test

7月出齐苗、高度为50 cm左右时,在每个播区内随机选取250粒以上连续的玉米苗,依次测量其株距,检测合格率、重播率、漏播率、变异系数4项指标。试验过程如图13-B所示。

4.2 试验结果及分析

根据图14可知,田间试验播种机在工作速度为3 km/h时,合格率高达86%,变异系数低于30%,合格率随着工作速度的增加逐渐降低,变异系数、重播率、漏播率逐渐增加,当工作速度为6 km/h时,其合格率依然保持在80%上,变异系数均低于30%,符合国家标准《JB/T 10293-2013 单粒(精密)播种机技术条件》^[31]中对精密播种机的播种要求。

从图15得出,在各工作速度条件下,合格粒距的平均值均在(20±1) cm范围内,播种效果较好。

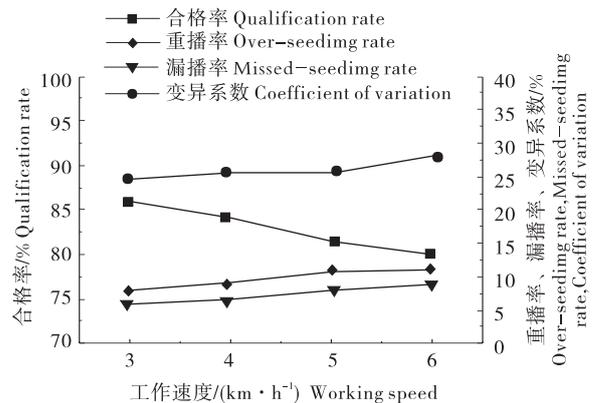


图14 田间试验结果

Figure 14 Field test results

试验地是围绕山地通过宜机化改造而成,地面平均坡度达到了13.5°,播种时,挡播种机需要依照地形转弯时,外侧单体粒距已大于理论粒距,本播种机4个播种单体通过2个地轮共同驱动,可在其中一个

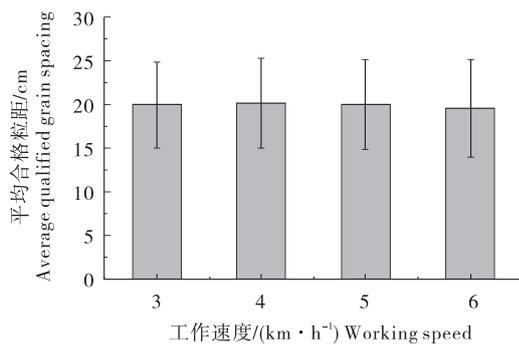


图 15 平均合格粒距

Figure 15 Average qualified grain distance

地轮打滑时由另一个地轮带动4个排种器工作。同时,由于西南丘陵地区多雨,导致播种后表层土壤雨水板结变硬种子无法破土出苗,导致增大漏播率和变异系数。在此不利于普通播种机工作的播种条件下,该播种机合格率始终保持80%以上,变异系数均低于30%,结果表明,该播种机播种效果好,适用于西南丘陵山地。

5 结论

本文设计的轻简型玉米精量播种机,结构简单,集施肥、开沟、覆土、镇压于一体,可解决当前西南丘陵山地玉米精量播种速度低、单粒性差、漏播率高、作业质量不稳定等问题。

1) 该播种机仿形机构设计为后置式仿形机构,将播种单体完全固定在四杆机构后侧,能够有效在大坡度地面进行贴地仿形作业。

2) 该播种机,采用带导种机构的勺轮式排种器可实现零速投种,并在播种单体上增设压密轮,限制种子在种沟内的弹跳。

3) 仿真试验和台架试验均表明,带导向机构的排种器排种均匀,且在8 km/h时合格率依然能达到85%以上,变异系数低于30%。

4) 田间试验结果表明,该播种机播种效果较好,适用于西南丘陵地区得玉米精量播种。

参考文献

[1] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2020-2021.
[2] 李存玲,李拴曹,邬勃. 对我国玉米产业发展的思考[J]. 安徽农学通报,2017,23(19):31-33.

[3] 杨勤,岳丽杰,陈岩,等. 玉米种子形态对窝眼轮式精量排种器性能的影响[J]. 西南农业学报,2021,34(9):1847-1852.
[4] 任跃男. 丘陵山区宜机化改造助推农机化发展探讨[J]. 农业技术与装备,2021(8):42-44.
[5] 杨建华. 四川省农业机械化推进机制研究[D]. 成都:西南财经大学,2019.
[6] 邓莹,王林凤,蒋光兵,等. 手扶式玉米精量播种机的设计与试验[J]. 中国农机化学报,2016,37(7):23-28.
[7] 曹慧鹏. 2ZBF-2型自走式电动多功能小型播种机的设计与研制[J]. 当代农机,2016(10):66-67.
[8] 徐良,王艳晓,曾山,等. 2BFQ-2型山地小型玉米播种机的研制[J]. 农机化研究,2013,35(5):119-122.
[9] 张昆,衣淑娟. 玉米精量播种装置的研究进展[J]. 农机化研究,2018,40(7):257-262.
[10] 肖盛聪. 玉米播种机全自动控制系统优化[J]. 农机化研究,2021,43(7):131-135.
[11] 胡云,王小春,陈诚,等. 四川丘陵旱地玉米穴灌覆膜施肥播种机设计与参数优化[J]. 东北农业大学学报,2020,51(2):61-68.
[12] 范少玲. 中国玉米种植成本收益研究[D]. 泰安:山东农业大学,2014.
[13] 王萍,李瑶,夏文建,等. 我国南方红壤丘陵区农机农艺配套融合的问题及对策建议[J]. 江西农业学报,2015,27(3):108-112.
[14] 陈长林,闵启超,梁苏宁. 微型播种机在我国丘陵山地推广应用初探[J]. 中国农机化,2012,(2):81-83.
[15] 屈哲,余泳昌,何勋. 我国西南丘陵地区玉米收获机械化的研究探讨[J]. 现代农业装备,2013,(3):26-29.
[16] 盛凯. 播种机仿形机构仿形轮配置的研究[J]. 吉林工学院学报(自然科学版),1995,(4):21-27.
[17] 李洪昌,高芳,赵湛,等. 国内外精密排种器研究现状与发展趋势[J]. 中国农机化学报,2014,35(2):12-16.
[18] 丁力,杨丽,张东兴,等. 气吸式玉米排种器吸附姿态对投种性能的影响分析[J]. 农业机械学报,2021,52(7):40-50.
[19] 陈福德. 垂直勺轮式玉米精密排种器排种性能试验研究[J]. 黑龙江科学,2019,10(22):31-33.
[20] 姜有忠,侯晓晓,赵永满,等. 气吹投种的气吸滚筒式精量排种器设计与试验[J]. 甘肃农业大学学报,2019,54(2):211-218.

- [21] 贺俊林,杨涛,裘祖荣. 精密播种机导种管曲线的设计研究:2BQYF-6A硬茬精密播种机导种管的设计研究[J]. 山西农业大学学报,2000(4):389-391.
- [22] 陈学庚,钟陆明. 气吸式排种器带式导种装置的设计与试验[J]. 农业工程学报,2012,28(22):8-15.
- [23] 赵淑红,陈君执,王加一,等. 精量播种机V型凹槽拨轮式导种部件设计与试验[J]. 农业机械学报,2018,49(6):146-158.
- [24] 廖宜涛,李成良,廖庆喜,等. 播种机导种技术与装置研究进展分析[J]. 农业机械学报,2020,51(12):1-14.
- [25] 杨文彩,杜一帆,宋志鹏,等. 2BQ-28型三七精密播种机导种管的改进设计[J]. 河南科学,2017,35(5):750-754.
- [26] 吕金庆,杨颖,尚琴琴,等. 气吸式马铃薯排种器正压吹种零速投种性能优化试验[J]. 农业工程学报,2016,32(20):40-48.
- [27] 张春岭,陈黎卿,吴荣. 基于离散元法的勺轮式排种器性能仿真分析[J]. 安徽农业大学学报,2016,43(5):848-852.
- [28] 崔涛,刘佳,杨丽,等. 基于高速摄像的玉米种子滚动摩擦特性试验与仿真[J]. 农业工程学报,2013,29(15):34-41.
- [29] 雷小龙,杨文浩,杨龙君,等. 油菜精量穴播集中排种装置设计与试验[J]. 农业机械学报,2020,51(2):54-64.
- [30] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 单粒(精密)播种机试验方法 GB/T 6973-2005[S]. 北京:中国标准出版社,2005.
- [31] 中华人民共和国工业和信息化部. 单粒(精密)播种机技术条件 JB/T 10293-2013[S]. 北京:机械工业出版社,2014.

(责任编辑 李辛)

(上接第235页)

- [21] Ren X, Wang J, Li Y, et al. Computational and enzymatic analyses unveil the catalytic mechanism of thermostable trehalose synthase and suggest strategies for improved bioconversion[J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 2019, 67(29):8177-8185.
- [22] Filipkowski P, Pietrow O, Panek A, et al. Properties of recombinant trehalose synthase from *Deinococcus radiodurans* expressed in *Escherichia coli* [J]. Acta Biochimica Polonica, 2012, 59(3):425-431.
- [23] Zhu Y, Wei D, Zhang J, et al. Overexpression and characterization of a thermostable trehalose synthase from *Meiothermus ruber* [J]. Extremophiles, 2010, 14(1):1-8.
- [24] Wang Y, Zhang J, Wang W, et al. Effects of the N-terminal and C-terminal domains of *Meiothermus ruber* CBS-01 trehalose synthase on thermostability and activity [J]. Extremophiles, 2012, 16(3):377-385.
- [25] Wolf A, Krmer R, Morbach S. Three pathways for trehalose metabolism in *Corynebacterium glutamicum* ATCC13032 and their significance in response to osmotic stress [J]. Molecular Microbiology, 2003, 49(4):1119-1134.

(责任编辑 赵晓倩)