

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.01.010

三角链半杯勺式丘陵山区马铃薯精密播种机设计与试验

段宏兵^{1,2} 陈志鹏¹ 宋波涛² 余参参¹ 徐涛¹

(1. 华中农业大学工学院, 武汉 430070; 2. 农业农村部马铃薯生物学与生物技术重点实验室, 武汉 430070)

摘要: 针对中国丘陵山区地形复杂、马铃薯机械化水平偏低、种植规模较小等问题,设计了一种可实现施肥、播种、开沟起垄、整形镇压一体化作业的三角链半杯勺式马铃薯精密播种机。将传统的链勺式马铃薯播种机的“上下”2个链轮的传动改为3个链轮的“三角形排列”的传动模式,增加了水平清种区,依靠重力清种,减少种薯的损伤,以及实现单粒精播的要求;将勺式取种装置改为半杯状取种装置,有效增加了取种数量,提高了取种的可靠性;通过分析计算确定了排肥系统、靴式开沟器、排种系统的工作参数,对于丘陵山区土地粘性大造成的起垄高度低、起垄不平整等问题,设计了一套开沟起垄、整形镇压装置。田间试验结果表明,当作业速度1.9~2.0 km/h时,粒距合格指数83.26%,重播指数8.36%,漏播指数8.38%,变异系数22.31%,垄高、垄底宽、垄面宽和垄距的稳定系数均在97%以上,性能指标符合国家标准要求。

关键词: 马铃薯; 播种机; 三角链半杯勺式; 丘陵山区

中图分类号: S223.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2019)01-0096-09

Design and Experiment of Triangular Chain Half Cup Spoon-shaped Potato Precision Planter in Hilly Mountainous Areas

DUAN Hongbing^{1,2} CHEN Zhipeng¹ SONG Botao² YU Cancan¹ XU Tao¹

(1. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

2. Key Laboratory of Potato Biotechnology, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430070, China)

Abstract: Aiming at the problems of complex topography, low level of potato mechanization and small planting scale in hilly mountainous areas of China, a triangular chain half cup spoon-shaped potato precision planter was designed, which can realize the integration of fertilization, sowing, ditching and ridging, shaping, soil-covering and soil-compacting. The transmission mode of the “up and low” two sprocket of the traditional chain spoon potato planter was changed to the “triangular arrangement” of three sprockets, which increased the horizontal clearance area, relied on the gravity clear species, reduced the damage of seed potato, and realized the requirement of single-grain precision sowing. Changing the spoon-type device into a half-cup seed-taking device effectively increased the number of seed taken and improved the reliability of the seed taking. The working parameters of the fertilizer discharging system, the boot-type opener and the seeding system were determined by the analysis and calculation. A set of ditching and ridging, shaping, soil-covering and soil-compacting device was designed to solve the problem of low ridge height and uneven ridge formation caused by large land viscosity in hilly mountainous areas. The field test results showed that when the working speed was 1.9~2.0 km/h, the qualified grain distance index was 83.26%, the rebroadcasting index was 8.36%, and the missed-airing index was 8.38%, the coefficient of variation was 22.31%, and the stability coefficient of the ridge height, ridge bottom width, ridge width and ridge distance were all above 97%. Performance index met national standards.

Key words: potato; planter; triangle chain half-cup spoon-shaped type; hilly mountainous areas

收稿日期: 2018-10-15 修回日期: 2018-11-14

基金项目: 湖北省科技创新重大项目(2016ABA092)和国家现代农业产业技术体系项目(CARS-9-P07)

作者简介: 段宏兵(1969—),男,副研究员,博士,主要从事马铃薯种植机械化技术与装备研究,E-mail: duanhb@mail.hzau.edu.cn

0 引言

近年来,国内外马铃薯机械化播种技术水平逐步提升。国外以德国 Grimme 和美国 Double L 等马铃薯种植机械制造公司为代表,主要生产大中型马铃薯播种施肥联合作业装备,采取半悬挂式或牵引式,均可一次性完成开沟、施肥、施药、播种和起垄覆土等作业;此类播种机大量采用自动化控制、液压系统供种、播种电子监测等先进技术,智能化和精量化程度高^[1-4]。但国外马铃薯的种植土壤条件、降水气候等均与国内存在明显差异,且国外马铃薯种植机械的体积大、价格昂贵,不符合我国国情,难以在我国丘陵山区马铃薯产区应用。戴飞等^[5]设计了一种全面覆土式马铃薯播种机,田间试验结果表明该机性能稳定,试验指标均符合国家和行业标准要求。吕金庆等^[6]设计了一种双行马铃薯种植机,该播种机配备勺式排种器,在东北地区进行了推广应用。中机美诺科技股份有限公司开发的 1240A 型马铃薯播种机配套动力 100 kW,能一次性完成开沟施肥、播种、覆土等功能,减少作业机具进地次数,减轻土壤压实程度,提高了作业效率和排种播种精度。国内这些机型主要针对北方大面积栽培农艺要求研制,不适用于我国南方丘陵山区的土壤特性和自然环境。

目前绝大多数马铃薯播种机都以链勺式排种器为主^[7-12],为降低漏播现象,一般都增加了人工补种座进行人工补种,增加了用户的劳动强度^[13-14]。

传统的链勺式马铃薯播种机采用“上下”链轮结构,为提高单粒播种的准确性,取种勺结构尺寸较小,同时增加了主动或被动的振动装置,使得链勺式排种器结构复杂。

一般丘陵山区土壤粘性大,开沟起垄后会出现起垄高度低、起垄不平整、土壤松散度高等现象,松散的土壤使土壤与种薯接触不紧密,影响种子发芽生长,降低了产量。

针对以上问题并结合南方丘陵山区的马铃薯种植农艺要求^[15-16],本文设计一种对垄型进行整形镇压的三角链半杯勺式马铃薯精密播种机,并开展田间试验加以验证。

1 整机结构与工作原理

1.1 整机结构

三角链半杯勺式马铃薯精密播种机主要由排肥系统、排种系统、开沟起垄装置、整形镇压装置等部件组成,结构如图 1 所示。

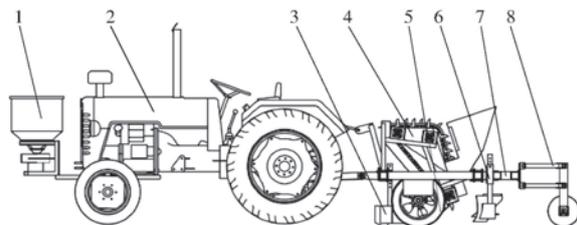


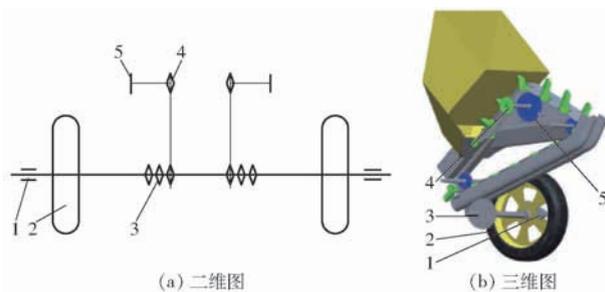
图 1 三角链半杯勺式马铃薯精密播种机结构简图

Fig. 1 Structure diagram of triangular chain half-cup spoon-shaped potato precision planter

1. 排肥系统 2. 拖拉机 3. 靴式开沟器 4. 排种系统 5. 地轮系统 6. 开沟起垄装置 7. 总机架 8. 整形镇压装置

1.2 工作原理

三角链半杯勺式马铃薯精密播种机传动系统结构如图 2 所示。该机通过后三点悬挂方式与拖拉机联接。拖拉机牵引机具在已整理好的待播地实施播种作业,前置排肥系统再将肥料撒到田地;地轮随着拖拉机前行转动,两地轮之间的传动轴将动力传送给与其配合的内六角杆上三联链轮,三联链轮通过链条带动三角排种链主动轮,并带动取种勺运动,从而完成取种、清种、导种过程,并将种薯排放到靴式开沟器开出的种沟;后置开沟起垄装置和整形镇压装置完成对种薯的开畦沟、起垄、整形和镇压。通过调整三联链轮与三角排种链主动轮的传动比实现株距的调整。



(a) 二维图

(b) 三维图

图 2 传动系统结构图

Fig. 2 Structure diagrams of transmission system

1. 立式轴承 2. 地轮 3. 三联链轮 4. 链轮 5. 三角排种链主动轮

1.3 技术要求

三角链半杯勺式马铃薯精密播种机适用于单垄单行的马铃薯种植模式,种植模式尺寸和播种后马铃薯排列方式如图 3 所示,整机工作幅宽 1 500 mm,垄顶总宽 210 mm,垄底宽 510 mm。铧式开沟犁的开沟深度 y 约 120 mm,行距 700 mm。土垄与地面方向夹角 $\delta \approx 57^\circ$ 。综合考虑整机结构与质量,提高播种效率和稳定性,半杯勺采取双排交错布置。农艺表明,单垄单行种植条件,马铃薯株距范围为 150 ~ 300 mm^[17-19]。

1.4 主要技术参数

整机主要技术参数如表 1 所示。

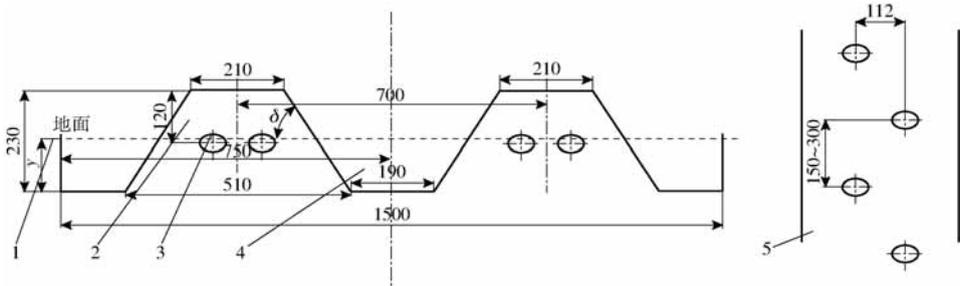


图3 三角链半杯勺式马铃薯精密播种机种植垄型

Fig. 3 Planting ridge shape of triangular chain half-cup spoon-shaped potato precision planter

1. 地面 2. 大垄 3. 种薯 4. 沟 5. 种薯排列形式

表1 主要技术参数

Tab.1 Main working parameters

参数	数值/形式
前置排肥系统尺寸(长×宽×高)/ (mm×mm×mm)	500×460×800
后置整机尺寸(长×宽×高)/ (mm×mm×mm)	2 055×1 600×970
施肥部件布置形式	前置
配套动力/kW	≥20
肥箱容量/kg	120
施肥幅度/m	1~2.5
施肥量/(kg·hm ⁻²)	150~2 250
挂接方式	后三点悬挂
播种行数	2
株距/mm	210/230/260(可调)
播种深度/mm	120(可调)
起垄高度/mm	230(可调)

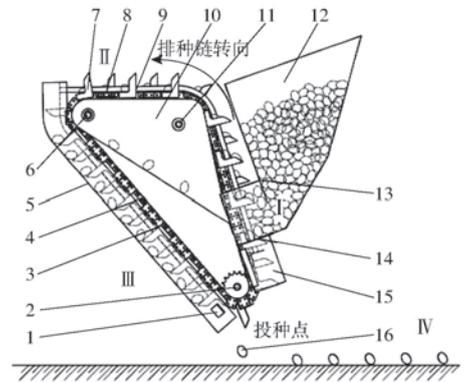


图4 排种器结构与工作原理图

Fig. 4 Diagram of seed meter structure and working principle

1. 连接板 2. 第一从动轮 3. 排种链条支撑架 4. 排种链
5. 导种滑道 6. 第二从动轮 7. 半杯勺 8. 回收板 9. 隔板
10. 二次滑道 11. 主动链轮 12. 种箱 13. 柔性限流板挡板
14. 柔性板 15. 种薯滑道 16. 种薯 I. 取种区 II. 清种区
III. 导种区 IV. 地面

2 排种系统结构与排种过程分析

2.1 排种系统结构与工作原理

三角链半杯勺式排种器结构如图4所示,其排种原理为:地轮转动传递动力到主动链轮,主动链轮通过链条带动两个从动链轮转动,在链条上设有呈交错排列的半杯勺和回收板,半杯勺在转动过程中会穿过柔性板进入到取种区I,依次舀取一个或多个种薯;当半杯勺运行至主动链轮上方进入到清种区II,半杯勺内多余的种薯在重力和排种链的振动下,沿着两旁的回收板落入二次滑道中,最终沿着二次滑道下沿回到种箱;通过清种区后,半杯勺内的单粒种薯下落至导种区III,在导种滑道和前一个半杯勺背部的支撑下向下运动,当到达投种点时,种薯失去支撑力,并在重力的作用下完成投种。

2.2 排种系统工作过程分析

如图4所示,排种系统按照对种薯的作用过程分为取种区I、清种区II和导种区III3部分,半杯勺依次通过3个区域,从而完成取种、清种和导种过程,最终实现投种。

2.2.1 取种过程分析

半杯勺经过种箱,从中舀取种子。半杯勺的取种长度与宽度决定了舀取种薯的数量。半杯勺理想取种状态是1粒种薯(种薯1)的长度方向与半杯勺中心轴线方向平行,另1粒种薯(种薯2)的厚度方向与半杯勺中心轴线方向平行,如图5a所示;半杯勺直径方向只装入1粒种薯,如图5b所示。

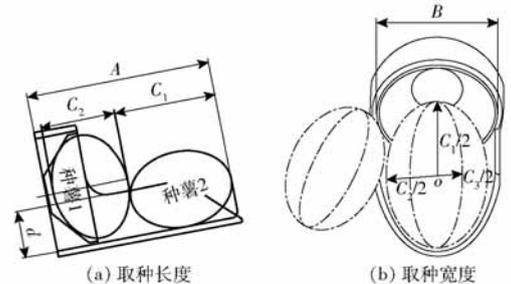


图5 半杯勺取种过程示意图

Fig. 5 Schematic of half-cup spoon taking seed process

由图5可知,在理想状态下半杯勺取种长度A应大于或等于种薯1的厚度C₂和种薯2的长度C₁之和。半杯勺取种宽度方向上要求只拾取一个种薯,多余种薯能顺利滑落,即半杯勺取种宽度不大于

种薯宽度。由文献[20-21]可知,单个种薯质量在 30~50 g,长度、宽度、厚度范围分别在 45~55 mm、40~45 mm、35~40 mm,因此半杯勺取种长度 A 取 90~95 mm,取种宽度 B 取 40~45 mm。

2.2.2 清种过程分析

半杯勺携带一个或多个种薯绕主动链轮旋转,半杯勺由倾斜状态变为水平状态,种薯 2 在半杯勺

斗的支撑下始终保持稳定状态,直至到达携种区。而种薯 2 与种薯 1 接触面较小,始终处于不稳定的状态,在重力 G 和由旋转方向改变带来的惯性力 F_1 的作用下,种薯 2 从半杯勺滑落,进入二次滑道,返回种箱。如图 6 所示,同时为保证种薯 2 能够稳定置于半杯勺斗内,半杯勺厚度 d 应小于种薯宽度的一半,半杯勺深度 d_1 略大于种薯厚度的一半。

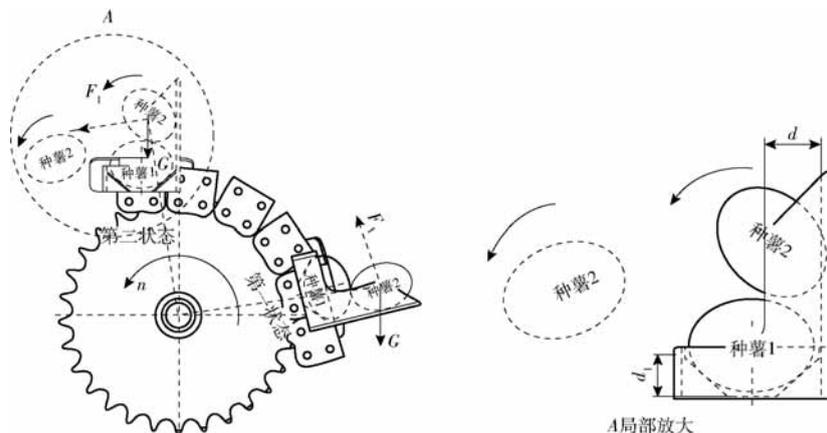


图 6 半杯勺清种过程示意图

Fig. 6 Schematic of half-cup spoon cleaning process

2.2.3 导种过程和投种过程分析

半杯勺携带 1 粒种薯绕第二从动轮旋转,半杯勺由水平状态转变为向下倾斜状态,种薯从半杯勺

斗脱离,并滚落至前一个半杯勺背部,如图 7a 所示。在重力 G 和前一个半杯勺的支撑作用下以匀速 V_1 到达投种口,从而完成整个播种过程。如图 7b 所示。

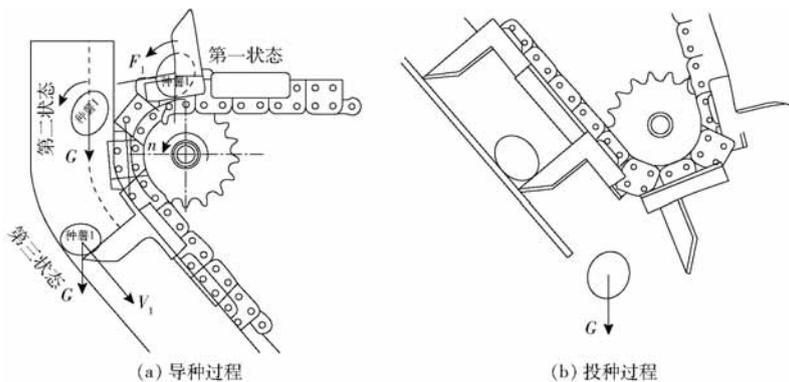


图 7 导种过程和投种过程示意图

Fig. 7 Schematic of seed delivering process and seeding process

3 关键工作部件设计

3.1 排种系统

3.1.1 半杯勺

在杨锴等^[22]设计的半杯勺基础上,依照切块种薯三轴尺寸和杨锴的试验结果,对其进行了优化。缩减半杯勺整体高度,半杯勺斗小端与半杯勺底部相齐,大端低于半杯勺连接圆环 2~3 mm。半杯勺的结构与尺寸保证取种时能取到 2 或 3 粒种薯;在清种区下部种薯与连接圆环紧密接触,处于稳定状态,而上部多余种薯在重力等作用下跌落,实现单粒精播的要求,如图 8 所示。在半杯勺的上部粘附一

层厚度为 0.5 mm 的橡胶衬套,以减少半杯勺的棱角对种薯的划伤。

3.1.2 二次滑道

当半杯勺携种薯至清种区时,如勺内有超过 2 粒及以上的种薯时,会由于质心力矩不平衡向下滚落,由回收板接住,然后滚落至两旁的二次滑道中最终回到种箱。为防止种薯无法滑动无法回到种箱而造成的种薯堆积,二次滑道与种箱底板之间的夹角 β 的余角应大于种薯在该二次滑道所用材料的滑动摩擦角,经测试播种时选用的种薯含水率在 75%~85% 时,种薯切块面的静滑动摩擦角最大为 34.2° ^[23],因此 β 取 38° 。为了防止种薯较多时发生

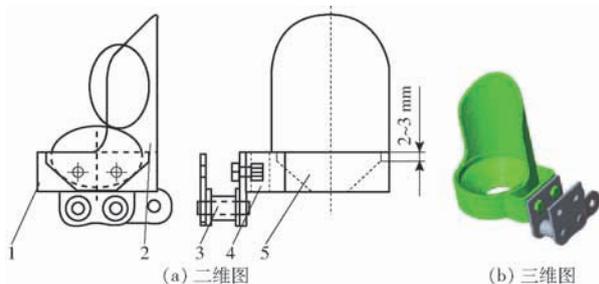
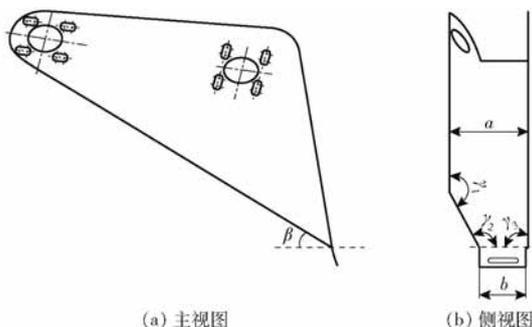


图8 半杯勺结构图

Fig. 8 Schematics of half-cup spoon structure

1. 半杯勺 2. 橡胶衬套 3. 12A 侧链板 4. U 型侧板 5. 半杯勺斗

阻塞,下开口尺寸要求大于3粒种薯并非排列尺寸,样机设计下开口 b 为 100 mm,试验表明二次滑道的结构和尺寸能够满足设计要求。二次滑道板由 1.5 mm 钢板折弯成型,将角度 γ_1 、 γ_2 、 γ_3 分别设置成 $\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 = 360^\circ$,这样保证钢板平行便于安装,其结构如图9所示。



(a) 主视图

(b) 侧视图

图9 二次滑道结构示意图

Fig. 9 Schematics of secondary slide

3.1.3 柔性板

种箱中的种薯直接与运动中的半杯勺和种薯滑道发生接触,半杯勺前一个阶段投种完毕后通过种薯滑道进入种箱取种,在取种过程中,种薯在种薯滑道里受到半杯勺的撞击而导致伤薯率较高。为减少此现象,设计了一种柔性板,安装在种薯滑道和种箱底部之间,如图10所示。柔性板选用弹性较好的丁基橡胶板制成。与半杯勺中心对应位置开细长的矩形槽,在半杯勺通过时,柔性板变形并与半杯勺紧密接触,通过后迅速封闭,防止种薯下落到种薯滑道。为避免传动链条对柔性板的碰撞和摩擦,在柔性板中间位置开设方口。

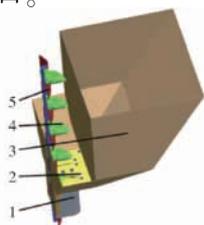


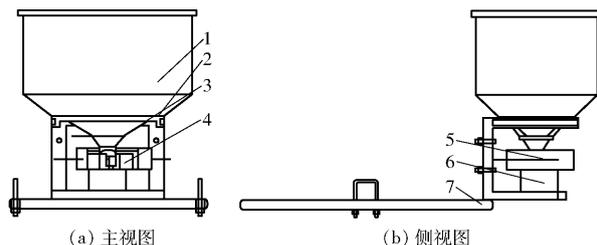
图10 种箱总成

Fig. 10 Seed box assembly

1. 种薯滑道 2. 柔性板 3. 种箱 4. 半杯勺 5. 回收板

3.2 排肥系统

考虑拖拉机的负荷平衡分布和纵向操纵稳定性,将排肥系统前置,如图11所示。排肥系统由一个肥料箱和与其对应的施肥盘总成、驱动装置总成、调节装置总成等部件组成。排肥系统用U型螺栓固定在拖拉机前桥上。驱动装置总成由排种系统上电机和拖拉机内电源组成。调节装置总成由电机调速器、漏孔面积调节器和撒播宽度调节器组成,依靠调节装置总成来调节施肥速度和施肥幅度。



(a) 主视图

(b) 侧视图

图11 排肥系统

Fig. 11 Fertilizer system

1. 肥料箱 2. 网栅格 3. 调节施肥宽度板 4. 施肥盘总成
5. 施肥幅度调节器 6. 驱动装置总成 7. 机架

3.3 靴式开沟器

针对丘陵山区马铃薯的栽培模式,其播种深度(100~150 mm)^[16]的控制是非常重要的因素,如图1所示,马铃薯播种机的播种深度主要通过三点悬挂架挂机位置、地轮高度、靴式开沟器入土深度共同控制。其中,靴式开沟器对播种深度一致性至关重要^[5]。设计的靴式开沟器由前刀刃、沟侧土壤分流板、沟侧翼板、立柱和支撑方管组成,如图12所示。

前刀刃的作用是使开沟器具有较好的入土性能,因此需保证前刀刃对土壤具有滑切作用,即满足

$$\alpha_1 > \frac{\pi}{2} + \varphi_1 \quad (1)$$

式中 α_1 ——前刀刃入土角, ($^\circ$)

φ_1 ——前刀刃与土壤间摩擦角, ($^\circ$)

其中 φ_1 为 $14^\circ \sim 38^\circ$,所以取 α_1 为 150° 。前刀刃的高度 h_1 取 210 mm。为保证开沟器的开沟深度,侧翼形成“V”形种沟,开沟器宽度 b_1 略大于种薯滑道宽度,取 200 mm;为减小工作阻力,使刃口将土壤剪开,使沟侧土壤分流板向后滑移,需满足

$$\beta_1 < \pi - 2\varphi_1 \quad (2)$$

式中 β_1 ——两沟侧土壤分流板的夹角, ($^\circ$)

因此取 β_1 为 76° ^[24]。

3.4 开沟起垄装置

根据种薯单垄单行的种植特性^[24],结合传统铧式犁的犁体曲面设计方法,设计了一种开沟起垄犁,如图13所示,开沟起垄装置主要由卡盒、单翼式开

时,整形镇压轮也随之上下运动,仿形纵向方管上下运动,同时仿形限位卡也发生转动,仿形横杆相对套筒转动,当仿形纵向方管上下运动达到仿形的最大量时,仿形定位卡会限制仿形纵向方管运动。通过使用平行四杆仿形,可以使播种机的重心前移,结构紧凑。

3.5.2 整形镇压装置结构参数确定

在稳定的工作条件下,根据垄型的尺寸来设计镇压轮的结构尺寸;根据所要求的仿形量来确定平行四杆机构的结构尺寸。马铃薯播种机的仿形机构根据地形土壤条件而定,通常情况下,对于起垄后整形镇压,上下仿形量各为40~50 mm,从图16中可知,上下仿形机构总仿形量 H 为

$$H = H_1 + H_2 = S(\sin(\sigma_1 + \sigma) + \sin(\sigma_2 - \sigma)) \quad (3)$$

式中 H ——总仿形量,mm

H_1, H_2 ——上、下仿形量,mm

σ ——牵引角, ($^\circ$)

σ_1, σ_2 ——上、下仿形角, ($^\circ$)

S ——仿形横杆长度,mm

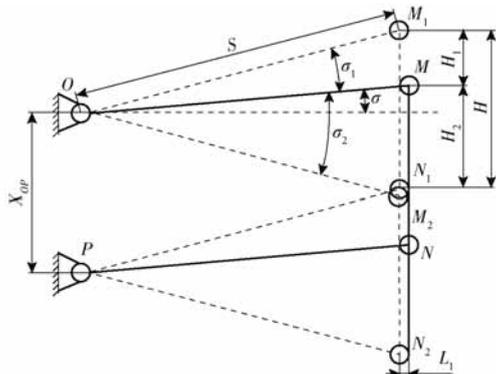


图16 平行四杆在 xy 平面上的参数

Fig. 16 Parallel four-bar parameters on xy plane

由式(3)可知,若所需的仿形量相同,平行四杆的上下拉杆越短时,牵引角 σ 变化区域越大,反之则相反,为使镇压轮稳定工作,需牵引角 σ 的值变化区域越小越好,但这样上下拉杆长度会增加,导致机具重心后移,播种机的三点悬挂所受力变大,播种机纵向稳定性不利,为此需确定拉杆长度和仿形角的最优参数。

现有播种机的上下仿形摆动角为 $6^\circ \sim 22^\circ$,根据方管连接板的尺寸选择 X_{op} 为200 mm,当取开始位置时 $\sigma_1 = 0^\circ$,由于上、下仿形量相等,计算一侧的仿形量即可,仿形横杆的长度 S 计算式为

$$S = \frac{H_1}{\sin\sigma + \sin(\sigma_1 + \sigma_0)} \quad (4)$$

式中, H_1 取50 mm; σ_1 取 $7^\circ \sim 8^\circ$ 。

经计算 S 为359~410 mm,上下仿形量是由仿

形限位卡确定,因此仿形限位卡与仿形方管之间的距离 L_1 为

$$L_1 = S - S\cos(\sigma_1 + \sigma) \quad (5)$$

取 $S = 400$ mm, $\sigma_1 + \sigma = 7.18^\circ$,得 $L_1 = 3.14$ mm。

4 田间性能试验

4.1 试验条件与材料

2018年6—8月,在农业农村部马铃薯生物学与生物技术重点实验室试验田内进行了三角链半杯勺式马铃薯精密播种机的田间作业性能试验。试验地长150 m,宽90 m,试验地土壤为黄棕壤,平均土壤坚实度为2570 kPa。试验前先对播种机进行调试,将开沟起垄装置的开沟深度调节成120 mm。选用30~50 g的“华恩一号”作为试验种薯并将其加入种箱,种薯的平均含水率为77.8%。

4.2 试验方法

使用约翰迪尔奔野300型拖拉机为动力,通过后三点悬挂牵引三角链半杯勺式马铃薯精密播种机,该机标定功率22.1 kW。按照GB/T 25417—2010《马铃薯种植机技术条件》、NY/T 1415—2007《马铃薯种植机质量评价技术规范》和JB/T 51017—1999《中耕作物精密播种机产品质量分等》对播种机进行性能测试。播种机的前进速度调整到1.9~2.0 km/h,株距调整为230 mm时进行试验。同一条件下试验3次。播种试验以粒距合格指数、重播指数、漏播指数和合格粒距变异系数为评定指标,取3次的平均值;起垄试验以垄面宽度、垄沟宽度、垄高和垄距为评定指标,取3次的平均值。三角链半杯勺式马铃薯精密播种机田间试验如图17所示。



(a) 试验过程



(b) 播种效果

图17 田间试验

Fig. 17 Photos of field trials

4.3 试验结果与分析

表2和表3为播种和起垄的田间试验结果,由表2和表3可知,马铃薯播种机的播种和起垄的田间试验指标均达到了国家标准要求,在试验过程中发现,整机的各个部件运作平稳可靠,能一次性完成施肥、开沟、播种、开沟起垄、整形镇压等作业。

表 2 田间播种试验结果

Tab. 2 Test results of field seeding %

试验指标	标准值	试验结果
粒距合格指数	≥78.0	83.26
重播指数	≤20.0	8.36
漏播指数	≤10.0	8.38
合格粒距变异系数	≤33.0	22.31

表 3 田间起垄试验结果

Tab. 3 Test results of ridge in field

参数	垄面宽度	垄底宽度	垄高	垄距
均值/mm	205.5	516.7	219.6	705.3
标准差/mm	4.45	6.83	4.17	5.24
变异系数/%	2.17	1.32	1.90	0.74
稳定系数/%	97.83	98.68	98.10	99.26

5 结论

(1) 设计了一种三角链半杯勺式马铃薯精密播种机, 该机主要由排肥系统、靴式开沟器、排种系统、地轮、开沟起垄装置、机架、整形镇压装置组成, 可一次性完成施肥、开沟、播种、开沟起垄、整形镇压等作业。

(2) 与传统的链勺式马铃薯播种机相比, 该播种机主要做了如下改进: 排种器部分采用 1 个主动轮、2 个从动轮的形式使得整个排种链呈“三角形”排布, 增加了水平清种区, 使多余种薯在清种区依靠自身重力完成清种, 降低了漏播指数和重播指数; 半杯勺采用管状结构, 结构尺寸加大, 增加了取种的可靠性和取种数量, 尤其是对形状不规则的切块薯效果更好; 增加了镇压装置, 对土壤实现仿形镇压, 使得种薯与土壤密实接触, 加快了种薯的生长, 有利于马铃薯的高产。

(3) 田间试验结果表明, 三角链半杯式精密马铃薯播种机的粒距合格指数为 83.26%, 重播指数为 8.36%, 漏播指数为 8.38%, 合格粒距变异系数为 22.31%, 垄高、垄底宽、垄面宽和垄距的稳定系数均在 97% 以上, 该机性能稳定、作业效果较好、各项指标均符合马铃薯播种的相关要求。试验在农业农村部马铃薯生物学与生物技术重点实验室试验田里进行, 试验田的土壤条件和大多数南方丘陵山区相类似, 为黄棕壤土质, 试验结果表明该机对黄棕壤的适应性较好。

参 考 文 献

- [1] 吕金庆, 田忠恩, 杨颖, 等. 马铃薯机械发展现状、存在问题及发展趋势[J]. 农机化研究, 2015, 37(12): 258-263. LÜ Jinqing, TIAN Zhongen, YANG Ying, et al. The development situation, existing problems and development trend of potato machinery[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(12): 258-263. (in Chinese)
- [2] 韩宏宇, 徐俊, 杨华, 等. 马铃薯播种机机械式取种技术研究[J]. 农机化研究, 2017, 39(10): 104-107, 118. HAN Hongyu, XU Jun, YANG Hua, et al. The research of mechanical seed extraction based on potato seeder [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2017, 39(10): 104-107, 118. (in Chinese)
- [3] 刘全威. 马铃薯播种机播种监测与漏播补偿系统的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2013. LIU Quanwei. Development of automatic monitor and loss reseeding compensation system for the potato seeder [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- [4] SINGH R C, SINGH G, SARASWAT D C. Optimisation of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseed[J]. Biosystems Engineering, 2005, 92(4): 429-438.
- [5] 戴飞, 辛尚龙, 赵武云, 等. 全膜面覆土式马铃薯播种机设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(3): 76-83, 56. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20170309&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.03.009. DAI Fei, XIN Shanglong, ZHAO Wuyun, et al. Design and experiment of potato planter combined machine for covering soil on the top of full film surface[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(3): 76-83, 56. (in Chinese)
- [6] 吕金庆, 杨颖, 李紫辉, 等. 勺勺式马铃薯播种机排种器的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(16): 17-25. LÜ Jinqing, YANG Ying, LI Zihui, et al. Design and experiment of cup-belt type potato seed-metering device[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(16): 17-25. (in Chinese)
- [7] 宋言明, 王芬娥. 国内外马铃薯机械的发展概况[J]. 农机化研究, 2008, 30(9): 224-227. SONG Yanming, WANG Fene. The general development of potato machinery at home and abroad[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, 30(9): 224-227. (in Chinese)
- [8] 吕金庆, 王英博, 李紫辉, 等. 加装导流板的勺勺式马铃薯播种机排种器性能分析与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(9): 19-28. LÜ Jinqing, WANG Yingbo, LI Zihui, et al. Perform analysis and experiment of cup-belt type potato seed-metering device with flow deflector [J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(9): 19-28. (in Chinese)
- [9] BUITENWERG H, HOOGMOED W B, LERINK P, et al. Assessment of the behaviour of potatoes in a cup-belt planter[J]. Biosystems Engineering, 2006, 95(1): 35-41.
- [10] 王希英, 唐汉, 王金武, 等. 双列交错勺带式马铃薯精量排种器优化设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(11): 82-90. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20161111&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.11.011. WANG Xiyang, TANG Han, WANG Jinwu, et al. Optimized design and experiment on double-row cross spoon-belt potato

- precision seed metering device[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(11): 82-90. (in Chinese)
- [11] ASAF Z, RUBINSTEIN D, SHMULEVICH I. Determination of discrete element model parameters required for soil tillage[J]. Soil & Tillage Research, 2007, 92(1-2): 227-242.
- [12] GULATI S, SINGH M. Design and development of a manually drawn cup type potato planter[J]. Journal of Indian Potato Association, 2003, 30(1-2): 61-62.
- [13] 杜宏伟, 尚书旗, 杨然兵, 等. 我国马铃薯机械化播种排种技术研究与分析[J]. 农机化研究, 2011, 33(2): 214-217, 221. DU Hongwei, SHANG Shuqi, YANG Ranbing, et al. Research and analysis on mechanized potato seed sowing techniques[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011, 33(2): 214-217, 221. (in Chinese)
- [14] ARZU Y, ADNAN D. Optimisation of the seed spacing uniformity performance of a vacuum-type precision seeder using response surface methodology[J]. Biosystems Engineering, 2007, 97(3): 347-356.
- [15] 徐跃进. 浙江省丘陵山区农业机械化发展研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017. XU Yuejin. Study on agricultural mechanization development in hilly and mountain areas of Zhejiang Province[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017. (in Chinese)
- [16] 徐晓军. 丘陵山区马铃薯高产栽培新技术要点[J]. 南方农业, 2018(17): 25-26.
- [17] 辛尚龙, 戴飞, 石林榕, 等. 单垄双行马铃薯施肥覆膜播种机工作参数优化[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(5): 282-287. XIN Shanglong, DAI Fei, SHI Linrong, et al. Optimization of working parameters of potato planter with fertilizer and mulching[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(5): 282-287. (in Chinese)
- [18] 石林榕, 杨小平, 赵武云, 等. 抛扬式膜际覆土马铃薯播种联合作业机设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(6): 129-137. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180615&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.06.015. SHI Linrong, YANG Xiaoping, ZHAO Wuyun, et al. Design and test of potato combine seeder with throwing and covering soil on film edge[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(6): 129-137. (in Chinese)
- [19] 孙伟, 刘小龙, 张华, 等. 马铃薯施肥播种起垄全膜覆盖种行覆土一体机设计[J]. 农业工程学报, 2017, 33(20): 14-22. SUN Wei, LIU Xiaolong, ZHANG Hua, et al. Design of potato casingsoil planter in all-in-one machine combined with fertilizing, sowing, ridging, complete film mulching and planting line covering[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(20): 14-22. (in Chinese)
- [20] 李明. 气力杯勺式马铃薯排种器的设计与试验研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017. LI Ming. Design and research of pneumatic metering device with cup spoon type for potato[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017. (in Chinese)
- [21] 王泽明. 勺勺式马铃薯播种机排种器的设计与试验研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015. WANG Zeming. Design and experimental of metering device of cup-belt type potato planter[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2015. (in Chinese)
- [22] 杨锴, 段宏兵, 宋波涛, 等. 半杯勺式马铃薯排种器的设计与试验[J]. 华中农业大学学报, 2018, 37(2): 103-109. YANG Kai, DUAN Hongbing, SONG Botao, et al. Design and trial of half-cup type potato seed-metering device[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2018, 37(2): 103-109. (in Chinese)
- [23] 石林榕, 孙伟, 赵武云, 等. 马铃薯种薯机械排种离散元仿真模型参数确定及验证[J]. 农业工程学报, 2018, 34(6): 35-42. SHI Linrong, SUN Wei, ZHAO Wuyun, et al. Parameter determination and validation of discrete element model of seed potato mechanical seeding[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(6): 35-42. (in Chinese)
- [24] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册: 上册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [25] 张青松, 汲文峰, 廖宜涛, 等. 油菜直播机铧式开畦沟前犁曲面分析与阻力特性试验[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(2): 130-135. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20140222&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.02.022. ZHANG Qingsong, JI Wenfeng, LIAO Yitao, et al. Surface analysis and resistance characteristics experiment on ditch plow ahead of direct rapeseed seeder[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(2): 130-135. (in Chinese)
- [26] 杜铮, 万勇, 舒虹杰. 湖北地区马铃薯播种机主要部件设计[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(15): 3345-3348. DU Zheng, WAN Yong, SHU Hongjie. The design of potato ridging planter suitable for Hubei area[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2012, 51(15): 3345-3348. (in Chinese)
- [27] 马莉. 马铃薯旋耕起垄种植机起垄整形镇压装置的设计分析与性能试验[J]. 农业机械, 2017(10): 97-100.
- [28] 赵淑红, 蒋恩臣, 闫以勋, 等. 小麦播种机开沟器双向平行四杆仿形机构的设计及运动仿真[J]. 农业工程学报, 2013, 29(14): 26-32. ZHAO Shuhong, JIANG Enchen, YAN Yixun, et al. Design and motion simulation of opener with bidirectional parallelogram linkage profiling mechanism on wheat seeder[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(14): 26-32. (in Chinese)
- [29] 赵淑红, 刘宏俊, 谭贺文, 等. 丘陵地区双向仿形镇压装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(4): 82-89. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170410&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.04.010. ZHAO Shuhong, LIU Hongjun, TAN Hewen, et al. Design and experiment of bidirectional profiling press device for hilly area[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(4): 82-89. (in Chinese)
- [30] YANG Li, YAN Bingxin, YU Yiming, et al. Global overview of research progress and development of precision maize planters[J]. International Journal of Agricultural & Biological Engineering, 2016, 9(1): 9-26.