

半杯勺式马铃薯排种器的设计与试验

杨 锴¹ 段宏兵^{1,2} 宋波涛² 陈志鹏¹ 余参参¹ 黄 翔¹ 梅红成¹

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

摘要 排种器作为马铃薯机械化播种的关键部件, 其目前仍存在重漏指数高、作业效率低、劳动强度大且适应性差等问题, 针对以上问题, 本研究设计了一种排种链呈三角形布置、取种勺为半杯勺式的新型马铃薯排种器。结合农艺要求和理论分析, 对排种器的关键部件进行结构设计; 搭建了试验台架, 对排种器的排种性能进行试验, 以主动轮转速、清种角度、杯勺大小为试验因素, 排种性能为试验指标进行正交试验, 分析相关因素对排种性能的影响, 并得到合理的参数组合。结果表明, 主动轮转速为 37.5 r/min, 清种角度为 -5° , 杯勺选取大号杯勺时, 排种器合格指数为 93.74%, 重种指数为 3.99%, 漏种指数为 2.27%, 排种性能较好。

关键词 马铃薯; 排种器; 半杯勺; 排种性能

中图分类号 S 223.2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2018)02-0103-07

2016 年, 国家农业部正式发布了《关于推进马铃薯产业开发的指导意见》, 将马铃薯作为主粮产品进行产业化开发, 预计到 2020 年中国马铃薯种植面积将达到 660 万 hm^2 。目前, 中国马铃薯种植面积与总产量居世界第一, 但单产水平与发达国家相比仍有一定差距。马铃薯机械化生产是制约马铃薯生产规模的主要因素之一, 而马铃薯种植是马铃薯生产的重要环节, 其直接影响马铃薯的产量与品质。作为播种机的核心部件之一, 排种器的性能与播种机的作业水平密切相关。因此, 设计一种有效可靠且适应性强的马铃薯排种器, 有利于马铃薯播种机械化水平的提高^[1-4]。

马铃薯排种器主要有针刺式、板阀式、取种转盘式、勺链式等结构形式, 其中针刺式排种器对种薯损伤较大, 造成生产率低, 且刺针易弯曲变形。板阀式排种器播种精度和效率较高但只适用于整薯播种, 对种薯形状大小有一定要求。取种转盘式排种器需要人工放种, 劳动强度较大。勺链式排种器的株距可调, 适应性较强, 目前应用范围较广^[5-11]。勺链式排种器有一个装有勺的升运带(链), 种勺中开有一个长形缺口, 升运带(链)运转时, 种勺在取种区由下向上运动, 将薯块舀入勺中随升运带(链)向上运动。当种勺到达顶部转折向下运动时, 薯块因重力从勺中滚出落在前面相邻种勺的背部, 然后薯块随

这个种勺下降。当种勺到达最低处再次转折向上运动时, 薯块即落入种沟。使用勺链式排种器时, 主要存在着空勺漏播、需要人工补种、劳动强度较大等问题^[9-11], 为解决该问题, 目前的主要思路和方案为加装漏播检测和补偿系统, 主要由传感器、补种模块和报警模块组成, 但该系统较为复杂, 成本较高。

本研究设计了一种适用于切块薯和小整薯的半杯勺式马铃薯排种器。通过对排种器关键部件的结构设计和相关分析, 使其排种链呈“三角形”布置, 杯勺在取种区取种时更充分, 降低了漏种率, 杯勺内多余的种薯在清种区可以依靠重力自行清种, 并搭建室内试验台架完成了性能试验和试验结果的分析处理, 得到最优参数组合, 通过试验验证该参数组合下的排种器性能, 为勺链式排种器的进一步改良提供参考。

1 材料与方 法

1.1 排种器结构与工作原理

1) 排种器整体结构。半杯勺式马铃薯排种器整体结构如图 1 所示。主要由机架、排种链、主动轮、从动轮、半杯勺、导种板、回收板、种箱、柔性限流板等构成。排种链由 1 个主动链轮和 2 个从动链轮带动, 形成“三角形”结构, 杯勺和回收板左右交替安装在排种链两侧, 种箱一侧的排种链与水平面呈一定

收稿日期: 2017-10-12

基金项目: 湖北省科技创新重大项目(2016ABA092)

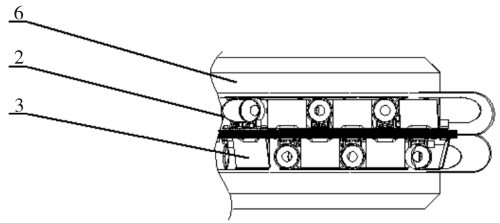
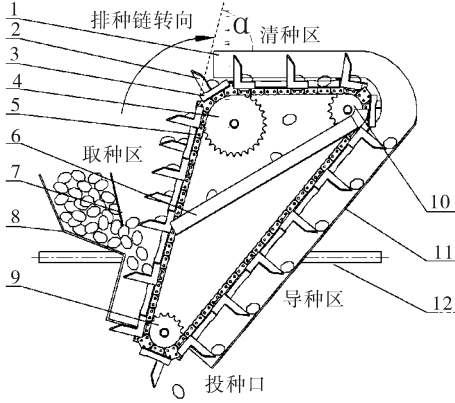
杨 锴, 硕士研究生, 研究方向: 现代农业装备设计与测控, E-mail: 1194625622@qq.com

通信作者: 段宏兵, 博士, 副研究员, 研究方向: 马铃薯种植机械化技术与装备, E-mail: duanhb@mail.hzau.edu.cn

的夹角 α 。

2)工作原理。半杯勺式马铃薯排种器工作过程为:种薯在重力作用下流动到种箱下端的取种区,种箱内的柔性限流板能有效防止取种区种薯过多造成的堆积。主动轮带动排种链转动,排种链上的杯勺

从种箱由下向上穿过,杯勺依次舀取 1 个或多个种薯。当杯勺运行至主动轮上方的清种区时,杯勺内多余的种薯在重力和排种链的振动下滚落至回收板上,然后通过两旁的滑道回到种箱。通过清种区后进入导种区,杯勺内的单粒种薯在重力的作用下



1.隔种板 Seed separation board; 2.半杯勺 Half-cup; 3.回收板 Recycle board; 4.主动轮 Driving wheel; 5.排种链 Chain; 6.滑道 Slide rail; 7.柔性限流板 Limiting board; 8.种箱 Seed case; 9.第二从动轮 Second driven wheel; 10.第一从动轮 First driven wheel; 11.导种板 Seed delivery board; 12.机架 Frame.

图 1 排种器结构及其工作原理图

Fig.1 Structural diagram and operating principle of seed-metering device

落至前一杯勺的背部,在导种板和前一杯勺背部的支撑下继续向下运动,当到达投种口时,种薯失去支持力,并在重力的作用下完成投种。

取种时,杯勺 1 次舀取 2 粒种薯,2 粒种薯的理想状态是 1 个种薯(种薯 1)长度方向与杯勺中心轴线方向平行,另 1 个种薯(种薯 2)厚度方向与杯勺中心轴线方向平行,因此,影响定量取种的主要因素为种薯的长度和厚度,则杯勺取种长度 l 应满足以下条件: $l = a + c$ (a 、 c 分别为种薯的长度和厚度),如图 3 所示。

1.2 关键部件设计

1)半杯勺结构设计及布置。半杯勺的结构如图 2 所示。其中杯勺由焊管局部切割而成,为减少伤种率,杯勺制成后打磨光滑,并在杯勺内和边缘处黏附薄橡胶皮。杯勺斗是由薄钢板制成上下相通的碗状结构,焊接在杯勺中,“碗口”与杯勺内边沿平齐,其作用是使与之接触的种薯能保持稳定状态而不漏下。U 型侧板焊接在杯勺上,并通过螺栓将杯勺联接在链条侧板上。

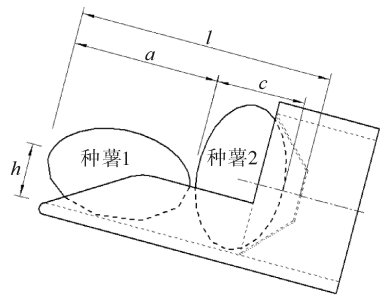
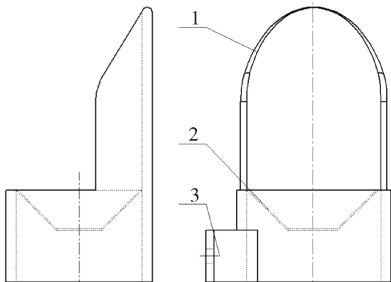


图 3 半杯勺取种示意图

Fig.3 Schematic diagram of seed-picking

清种时,种薯 1 在重力的作用下翻滚、跌落,种薯 2 在重力的作用下与杯勺斗保持接触,从而实现单粒精播的要求。如图 4 所示,影响清种效果的主要因素为杯勺两侧高度和杯勺斗深度,为保证种薯 1 顺利翻滚跌落,而种薯 2 能稳定置于杯勺斗内,杯勺两侧高度 h 应小于种薯厚度 c 的一半, h 取 18



1.半杯勺 Half-cup; 2.杯勺斗 Cup bucket; 3.U 型侧板 U type side plate.

图 2 半杯勺结构

Fig.2 Structure diagram of half-cup

mm, 杯勺斗深度 h_s 应略大于种薯厚度, h_s 取 20 mm。

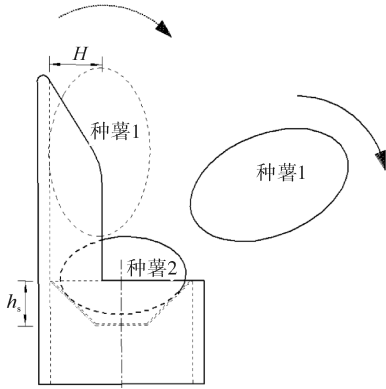


图 4 半杯勺清种示意图

Fig.4 Schematic diagram of seed-clearing

不考虑其他因素的影响,单位时间内排种器排出的种薯数量与种沟内种薯数量相等,则有如下等式

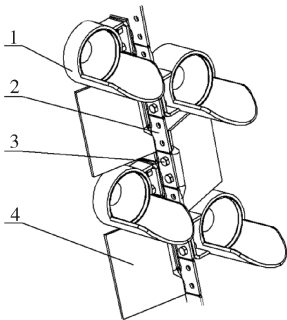
$$\frac{V_1 \cdot t}{L_1} = \frac{V_2 \cdot t}{L_2}$$

整理得

$$L_2 = \frac{V_2 \cdot L_1}{V_1} \quad (1)$$

式(1)中: V_1 为拖拉机前进速度, m/s; V_2 为排种链线速度, m/s; L_1 为株距, mm; L_2 为排种链上相邻两杯勺间距, mm; t 为单位时间段, s。

马铃薯株距范围为 150~300 mm, 选定拖拉机前进速度 1.5 m/s。研究表明, 在保证播种质量的前提下, 排种链线速度不应超过 0.55 m/s^[12-16]。带入式(1)中得到排种链上相邻 2 个杯勺的最大间距为 110 mm, 综合考虑整机大小和质量, 提高播种效率和稳定性, 半杯勺采取双排交错布置, 遂选取 12A 双侧直板链条, 相邻两杯勺中心间隔 4 个链节, 即 76.2 mm, 半杯勺总数为 28 个, 其布置如图 5 所示。



1.半杯勺 Half-cup; 2.排种链 Chain; 3.螺栓 Bolt; 4.回收板 Re-cycle board.

图 5 半杯勺及回收板布置

Fig.5 Distribution pattern of half-cup and recycle board

2)回收板设计。当杯勺携带种薯运行至清种区时,若 1 个杯勺内有 2 粒或 2 粒以上的种薯,位于上方的种薯质心力矩不平衡,会向下滚落,由回收板接住,然后滚落至两旁的滑道最终回到种箱。回收板的安装位置如图 5 所示。为防止种薯在回收板上无法滑动造成重种,因此,回收板与排种链直板夹角 β 的余角应大于种薯在该回收板所用材料上的滑动摩擦角,经测得播种时选用的种薯含水率在 75%~85%之间,在该含水率范围内,种薯切面的静滑动摩擦角最大,为 34.2°,取 35°,则 β 为 55°。回收板由 1.5 mm 钢板折弯成型,其中一面用螺栓与链条直板紧固,均匀布置在两相邻杯勺之间,为防止种薯从杯勺与回收板之间的空隙掉落,因此,回收板的长度取 80 mm,其结构如图 6 所示。

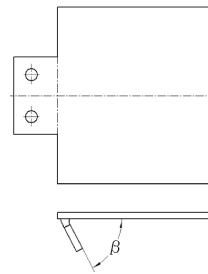


图 6 回收板结构

Fig.6 Structure of recycle board

3)主动轮设计。当杯勺携带种薯离开取种区刚进入清种区时,此时若种薯受到的向心力不足以维持种薯做圆周运动,就会发生种薯飘起的现象,造成漏种。种薯所受的向心力与主动轮的半径和线速度有关,因此,对此处的种薯进行受力分析,来确定主动轮的半径,种薯受力如图 7 所示。

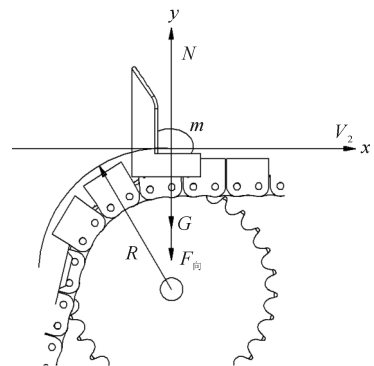


图 7 种薯受力分析图

Fig.7 Force analysis of the potato seed
此时种薯做匀速圆周运动满足公式(2)

$$G - N = \frac{mV_2^2}{R} \quad (2)$$

其中:

$$G = mg \quad (3)$$

为保证种薯在此处不会飘起,则需要满足以下不等式

$$G - N \geq \frac{mV_2^2}{R} \quad (4)$$

当 $N=0$ 时, R 有最小值,整理得

$$R \geq \frac{V_2^2}{g} \quad (5)$$

式(2)~(5)中, G 为种薯所受的重力, N ; N 为种薯所受的支持力, N ; R 为回转半径, mm; M 为种薯的质量, kg; V_2 为此时的线速度, m/s; g 为重力加速度, m/s^2 。此处两相邻杯勺间距 $L_2 = 76.2$ mm, 根据公式(1)计算得到排种链最大线速度 $V_{2max} = 0.762$ m/s, 取 $g = 9.8$ m/s^2 , 得出 $R \geq 0.059$ m, 适当增加主动轮半径可以使得排种器运转更平稳, 减少漏种, 综合考虑, 选取 12A 齿数为 28 齿的链轮作为主动轮, 其回转半径为 0.105 m。

2 结果与分析

2.1 取种性能试验

因为该排种器取种区排种链与水平面呈一定的角度 α , 为了明确主动轮转速和该角度对排种器取种性能的影响, 进行全面试验, 试验指标为漏取率(即经取种区到清种区的空杯勺个数占通过的总杯勺数的比例)。以荷兰 15 号马铃薯为试验品种, 质量 50 g 以下的种薯可直接使用, 超过 50 g 的种薯做切块处理, 每千克种薯 25 块左右, 其中切块薯所占比例超过 70%, 其平均含水率为 79.2%, 净度 > 99%, 种薯切块后用草木灰拌种, 拌种后放置在地面上 24 h 后使用。试验因素水平如表 1 所示。常用种薯及切块薯的长 a 、宽 b 、厚 c 分别为 47~55、43~50、31~40 mm^[17-19], 考虑到杯勺直径与种薯宽度 b 相关, 因此, 设计了 3 种直径的杯勺, 分别为 54 mm(大)、49 mm(中)、44 mm(小), 试验所用杯勺为大号杯勺, 待排种器运转稳定后, 通过视频拍摄连续记录 200 个杯勺的取种情况, 每组实验重复 3 次。试验结果如表 2 所示, 方差结果如表 3。由表 3 可知, 主动轮转速对漏取率影响极显著($P < 0.01$), 而取种区排种器倾角和交互作用对试验结果的影响不显著($P > 0.1$)。当排种器主动轮转速为 30 r/min, 取种区排种器倾角为 75° (A_3B_2)和 70° (A_3B_3)时, 漏取率最低, 主要原因是主动轮转速较低, 杯勺与马铃薯接触时间较长, 降低了漏取率。由表 3 可知, 取种

区排种链倾角 α 对漏取率影响不显著, 但对整机大小有一定的影响, 倾角越小, 整机长度越长, 且倾角过小会出现种薯被夹带的现象, 综合考虑, α 取 75° 。

表 1 全面试验因素水平表

因素水平 Levels	A 主动轮转速/(r/min) Rotation speed of driving wheel	B 取种区 排种链倾角/(°) Angle of chain
1	40	80
2	35	75
3	30	70

表 2 漏取率试验数据

因素水平 Factor and levels		漏取率/% Missing rate
A	B	
1(40)	1(80)	2.33
	2(75)	2.67
	3(70)	2.33
2(35)	1	2.00
	2	1.67
	3	1.33
3(30)	1	1.00
	2	0.67
	3	0.67

注: A 为主动轮转速, B 为取种区排种链倾角。Note: A is the rotation speed of driving wheel, B is the angle of chain.

表 3 漏取率方差分析

方差来源 Source	F 值 F-value	P 值 P-value	显著性 Significance
A	10.562 5	0.000 9	$P < 0.01$
B	0.437 5	0.652 3	$P > 0.05$
A×B	0.250 0	0.905 9	$P > 0.05$

2.2 正交试验

搭建室内试验台架(图 8)。排种器固定在机架上方, 投种口下方安装有对射式光栅传感器, 用于检



1.排种器 Seed-metering device; 2.三相交流减速电机 Three-phase AC motor; 3.易驱变频器 Frequency converter; 4.检测系统 Detecting system; 5.对射式光栅传感器 Grating sensor.

图 8 排种器台架试验

Fig.8 Metering device test bench

测投种时相邻 2 个种薯之间的时间间隔,传感器与农业装备多参数测控系统相连,该系统检测程序由华中农业大学工学院自制,其参照了《GB/T 6973—2005 单粒(精密)播种机试验方法》,该系统稳定可靠^[22-25]。以荷兰 15 号马铃薯为试验品种,并做切块处理,其物理特性如前文所述。以主动轮转速,杯勺大小和清种角度为试验因素,合格指数、重种指数和漏种指数为试验指标,进行正交试验。

目前马铃薯播种机行走速度一般不超过 1.5 m/s,取理论株距 20 cm,则对应主动轮转速为 64.3

r/min。通过前期预实验发现,当主动轮转速超过 45 r/min 时,种薯跳动严重,合格指数较低。因此,选取的行走速度分别为 0.750、0.875、1.000 m/s,对应排种器主动轮转速的 3 个水平分别为 42.9、37.5、32.1 r/min;规定第一从动轮顶部高于主动轮顶部时,清种角度为正,低于主动轮时为负,处于同一水平线时为 0°,根据前期预实验结果,选取清种角度范围为 -5°~+5°,选取 3 个水平分别为 -5°、0°、+5°;杯勺型号分别为大、种、小 3 种。试验方案及结果如表 4 所示。

表 4 正交试验方案与结果

Table 4 Scheme and results of orthogonal test

试验编号 Test number	A 主动轮转速/ (r/min) Speed of driving wheel	C 杯勺型号 Size of cup	D 清种角度/(°) Clearing angle	误差 Error	合格指数/% Qualified index	重种指数/% Multiples index	漏种指数/% Misses index	综合加权评分值 Comprehensive weighted score
1	1(42.9)	1(大)	1(-5°)	1	84.62	8.35	7.03	38.8
2	1(42.9)	2(中)	2(0°)	2	61.28	15.94	22.78	109.2
3	1(42.9)	3(小)	3(+5°)	3	72.97	13.01	14.02	73.2
4	2(37.5)	1	2(0°)	3	88.37	10.33	1.30	24.7
5	2(37.5)	2	3(+5°)	1	86.95	7.43	5.62	31.9
6	2(37.5)	3	1(-5°)	2	84.91	5.70	9.39	40.2
7	3(32.1)	1	3(+5°)	2	80.56	17.62	1.82	44.1
8	3(32.1)	2	1(-5°)	3	81.73	4.34	13.93	51.9
9	3(32.1)	3	2(0°)	1	83.08	12.12	4.80	40.6

由表 5 可知,对于合格指数,各因素主次为 A>C>D。主动轮转速较低时,种薯在种箱内的搅动不充分,存在结拱现象,较高时种薯在杯勺内不够稳定,因此,A 取 2 水平。杯勺型号为大号时,取种更充分,因此,C 取 1 水平。清种角度为 -5°时,清种强度更大,清种更彻底,因此,D 取 1 水平。而种薯能稳定置于大号杯勺内,不会因为清种强度过大而造成漏种影响合格指数,即当工况为 A₂C₁D₁时,合格指数最大。

对于重种指数,各因素主次为 D>A>C。主动轮转速较低时,排种器振动较小,清种效果不佳,导致重种指数较高,转速较高时种薯通过清种区时间减少,导致重种指数较高,当 A 取 2 水平时重种指数最低。杯勺型号为大号时,存在杯勺 1 次取多粒种薯的现象,导致重种指数较高。当杯勺型号为小号时,种薯不能稳定置于杯勺内,在清种过程中会发生弹跳,从而提前进入导种通道内,导致重种指数较高,当 C 取 2 水平时重种指数最小。清种角度为

表 5 正交试验结果分析

Table 5 Analysis of orthogonal test results

试验指标 Performance indicators	试验因素 Experimental	F 值 F-value	K ₁	K ₂	K ₃	优水平 Optimal level	优组合 Optimal combination
合格指数 Qualified index	A	2.19	218.87	260.23	245.37	A ₂	A ₂ C ₁ D ₁
	C	0.72	253.55	229.96	240.96	C ₁	
	D	0.46	251.26	232.73	240.48	D ₁	
重种指数 Multiples index	A	1.20	37.3	23.46	34.08	A ₂	A ₂ C ₂ D ₁
	C	0.43	36.3	27.71	30.83	C ₂	
	D	2.99	18.39	38.39	38.06	D ₁	
漏种指数 Misses index	A	3.03	43.83	16.31	20.55	A ₂	A ₂ C ₁ D ₃
	C	3.59	10.15	42.33	28.21	C ₁	
	D	0.31	30.35	28.88	21.46	D ₃	

—5°时,清种强度最大,清种更彻底,重种指数最低,因此,D取1水平,即当工况为 $A_2C_2D_1$ 时,重种指数最小。

对于漏种指数,各因素主次为 $C>A>D$ 。主动轮转速较低时,种薯在种箱内的搅动不充分,存在结拱现象,取种不够充分导致漏种,较高时种薯不能稳定置于杯勺内,并与种箱内的种薯发生碰撞掉落导致漏种指数较高,当A取2水平时漏种指数最低。杯勺型号越小,取种越不充分,导致漏种指数越高,当C取1水平时漏种指数最低。当清种角度为+5°时,清种强度最小,漏种指数最低,因此,D取3水平,即当工况为 $A_2C_1D_3$ 时,漏种指数最小。

因为各指标下优组合不同,故需综合考虑,因此,采用综合加权评分法。根据经验和农业技术要求,认为漏种指数最为重要,赋予权重0.5,重种指数权重0.3,合格指数权重0.2,参照文献[26-27]方法,将合格指数的变化趋势跟重种指数和漏种指数统一,均为越小越好,计算得到各号试验的综合加权评分值,结果如表4所示。根据综合加权评分值,使用单指标试验分析评价方法进行分析,其结果如表6所示。

表6 综合加权评分值结果分析

Table 6 Analysis of comprehensive weighted score

分析项 Analysis item	A	C	D
K_1	73.7	35.8	43.6
K_2	32.3	64.3	58.2
K_3	45.5	51.3	49.7
优组合 Optimal combination	$A_2C_1D_1$		

由表6可知,该排种器最佳参数分别为主动轮转速37.5 r/min,大号杯勺,清种角度—5°,验证试验表明,此时合格指数为93.74%,重种指数为3.99%,漏种指数为2.27%。

3 讨论

对台架试验结果分析表明, α 在70°~80°范围内对漏取率影响不显著,但对整机尺寸有一定的影响,倾角越小,整机长度越长,且倾角过小会出现种薯被夹带的现象,综合考虑, α 取75°。正交试验结果分析表明,最优工况组合为:主动轮转速37.5 r/min、大号杯勺、清种角度为—5°,此时排种器合格指数为93.74%,重种指数为3.99%,漏种指数为2.27%,性能稳定可靠,满足马铃薯播种要求。

与传统排种器相比,该排种器杯勺加工简单,安装拆卸方便,并采用双排交错排列的方式安装在排

种链上,由于采用2个从动轮的形式,使得整个排种链呈“三角形”,位于取种区的种薯可以稳定置于杯勺内,取种性能稳定;位于清种区多余的种薯可以依靠重力清种,清种时间较长,清种效果良好,简化了结构,减小了整体尺寸。排种链、半杯勺、回收板和种箱是该排种器的关键部件,四者能否良好配合和种箱形状直接影响到取种时的伤种率,在后续的研究中,应进一步优化种箱形状,从而使得种箱内的种薯能更好地流动,减少种薯之间的挤压损伤;同时优化四者之间的配合关系,减少种薯表皮破损及芽的损伤。

参 考 文 献

- [1] 佚名.关于推进马铃薯产业开发的指导意见[J].农机质量与监督,2016(3):14-16.
- [2] 佚名.我国决定将马铃薯作为主粮进行产业开发[J].四川农业科技,2016(3):26.
- [3] 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.
- [4] 刘文政,何进,李学强,等.马铃薯播种机具研究进展[J].农机化研究,2018,40(4):7-13.
- [5] 周桂霞,张国庆,张义峰,等.2CM-2型马铃薯播种机的设计[J].黑龙江八一农垦大学学报,2004,16(3):53-56.
- [6] 高明全,张旭东,刘维佳,等.2CM-2型马铃薯播种机关键部件的设计[J].沈阳农业大学学报,2012,43(2):237-240.
- [7] 李成松,冯玉磊,坎杂,等.单行悬挂式马铃薯施肥种植机的研制[J].江苏农业科学,2013,41(6):369-371.
- [8] 王殿忠.马铃薯播种机排薯器设计[J].农业科技与装备,2014(4):31-33.
- [9] 杜宏伟,尚书旗,杨然兵,等.我国马铃薯机械化播种技术研究与分析[J].农机化研究,2011,33(2):214-217.
- [10] BUITENWERF H, HOOGMOED W B, LERINK P, et al. Assessment of the behaviour of potatoes in cup-belt planter[J]. Biosystems engineering, 2006, 95(1):35-41.
- [11] GULATI S, SINGH M. Design and development of a manually drawn cup type potato planter[J]. Indian potato assoc, 2003, 30(1/2):61-62.
- [12] 谢敬波.脱毒微型马铃薯排种器设计与试验研究[D].武汉:华中农业大学,2012.
- [13] 刘卫平.黑龙江省马铃薯脱毒种薯繁育发展现状与对策研究[D].北京:中国农业科学院,2013.
- [14] 李明金,许春林,李连豪,等.2CM-4型马铃薯播种施肥联合作业机的研制[J].黑龙江八一农垦大学学报,2012,24(1):14-16.
- [15] 杨金砖,吕金庆,李晓明,等.2CMF-4型悬挂式马铃薯种植机的研究[J].农机化研究,2010,32(1):127-130.
- [16] 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.
- [17] 刘全威,吴建民,王蒂,等.马铃薯播种机的研究现状及进展[J].农机化研究,2013,35(6):238-241.
- [18] 杨钦寿.马铃薯种植机升运种子装置存在的问题浅析[J].机械

- 工业标准化与质量, 2014(9): 35-37.
- [19] 同志山. 哈尔滨近郊早熟马铃薯高效种植技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2006.
- [20] 刘曙光, 尚书旗, 杨然兵, 等. 小区播种机充种装置工作性能试验[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(3): 156-163.
- [21] 王凤, 刘峰, 管洪波, 等. 吉林省中部地区马铃薯中棚种植试验[J]. 中国马铃薯, 2013, 27(2): 76-79.
- [22] 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. 种植机械马铃薯种植机试验方法: GB/T 6242—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [23] 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, 2006.
- [24] 丁幼春, 王雪玲, 廖庆喜, 等. 基于时间间隔的多路精量排种器性能检测系统设计与试验(英文)[J]. 农业工程学报, 2016, 32(7): 11-18.
- [25] 丁幼春, 王雪玲, 廖庆喜, 等. 基于时变窗口的油菜精量排种器漏播实时检测方法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(24): 11-21.
- [26] 陶菊春, 吴建民. 综合加权评分法的综合权重确定新探[J]. 系统工程理论与实践, 2001(8): 43-48.
- [27] 吴建民. 综合加权评分法的研究[J]. 农业机械学报, 1993, 24(2): 66-70.

Design and trial of half-cup type potato seed-metering device

YANG Kai¹ DUAN Hongbing^{1,2} SONG Botao² CHEN Zhipeng¹
YU Cancan¹ HUANG Xiang¹ MEI Hongcheng¹

1. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;
2. Key Laboratory of Potato Biology and Biotechnology, Ministry of Agriculture,
Wuhan 430070, China

Abstract Metering device as key components of potato mechanization planting has problems including the high multiple index and missing index, heavy manual labor intensity, poor universality and other problems. A new type potato seed-metering device with triangular chain and half-cup was designed. The main structure, working principle and related parameters of the device was introduced in detail. An orthogonal experiment was carried out to understand factors including the driving wheel speed, the inclination of the seed-clearing device and the size of cup affect the performance of the seed-metering device. The parameters were optimized and verified. The results showed that the best performance was obtained when the revolving speed of the driving pulley was 37.5 r/min, the inclination of the seed-clearing device was -5° with the biggest size of cup. The qualified index, the multiple index and the missing index is 93.74%, 3.99%, and 2.27%, respectively. The performance of metering device under the condition can meet working performance requirements of the potato seeder. It will provide a theoretical and technical reference for studying and designing seed-metering device of potato seeder.

Keywords potato; potato seed-metering device; half-cup; seeding performance

(责任编辑: 陆文昌)