

4U-1400 马铃薯联合收获机分离输送装置的参数分析与试验

陆祥辉¹ 王昕² 张文杰¹ 史明明³ 魏宏安^{1*}

(1. 甘肃农业大学 工学院, 兰州 730070;

2. 兰州园艺学校, 兰州 730060;

3. 浙江大学 生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310000)

摘要 针对国内马铃薯联合收获机纵向尺寸较大、田间作业掉头不灵活、通过性及稳定性较差的问题,对4U-1400马铃薯联合收获机分离输送装置进行参数分析。主要对该分离输送装置进行理论分析与仿真,并通过田间试验进行验证。田间试验过程发现,当二级土薯分离输送装置刮板高度 ≥ 60 mm,输送速度为0.8~1.0 m/s,倾斜角度 $\leq 36^\circ$ 时,薯块输送较平稳,不易伤薯且土薯分离效果较好。该分离输送装置集土薯分离功能和大倾角薯块输送功能于一体,整机结构紧凑。该收获机薯块装袋作业适应于土质疏松、无板结的旱地(覆膜)种植马铃薯的收获;当土壤湿度较大、结块严重时,亦可将薯块集中堆放(液压操纵)或条铺于地面。

关键词 马铃薯;分离;输送;仿真

中图分类号 S 225.7+1

文章编号 1007-4333(2015)06-0269-08

文献标志码 A

Parameter analysis and experiment for separation conveyor of 4U-1400 type potato harvester

LU Xiang-hui¹, WANG Xin², ZHANG Wen-jie¹, SHI Ming-ming³, WEI Hong-an^{1*}

(1. College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. Lanzhou garden school, Lanzhou 730060, China;

3. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310000, China)

Abstract In view of the problems existing in the present domestic potato combine harvester such as the longitudinal size too large, harvester turn not flexible with field operation, the poor performance of passing and stability, Parameter analysis of separating and conveying device of 4U-1400 potato combine harvester was performed. Our study was mainly focused on the theoretical analysis and simulation of the secondary soil potato separation conveyor components and the validation of the simulation results through field harvest tests. The results show that when the height of scraper device is 60 mm or more than 60 mm, conveyor speed is 0.8–1.0 m/s, and the angle of inclination is 36° or less than 36° , the potato can be conveyed stably, at the same time, the conveyor has a low potato injury rate and a better soil separation. The separating-conveying device put the soil potato separation function and large angle tuber conveying function in one set, which make the machine more compact structure. The harvester is suitable for loose soil without harden dry land (tectorial membrane). In addition, when the land has a high soil moisture or is severely hardened, the harvester still can collect potato to one spot (hydraulic control) or a line.

Key words potato; separation; convey; simulation

随着马铃薯种植面积的增大及劳动力成本的提高,马铃薯机收水平严重影响着马铃薯产业的发展。土薯分离输送装置是马铃薯收获机设计的关键,直

接影响整机纵向尺寸以及收获机的伤薯率和含杂率等指标。当前,国外马铃薯收获机土薯分离输送装置主要有栅杆式、蜗杆式和棘轮式等^[1-4],一般采用

收稿日期: 2014-12-24

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD06B03)

第一作者: 陆祥辉, 硕士研究生, E-mail: luxh3273@sina.com

通讯作者: 魏宏安, 教授, 主要从事农业工程技术与装备研究, E-mail: weiha@gsau.edu.cn

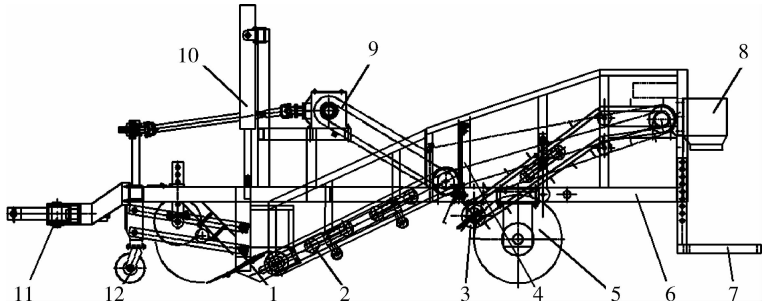
一种或几种土豆分离输送装置,使整机结构复杂,体积庞大,不适应国内田间马铃薯种植的收获要求,且价格昂贵;另外涡杆式和棘轮式土豆分离输送装置易伤薯,且土豆分离效果差。国内马铃薯收获机土豆分离输送装置多数采用栅杆式^[5-7],针对马铃薯挖掘机,其效果较好,但马铃薯挖掘机收获效率较低;对于马铃薯联合收获机,栅杆式分离输送装置导致整机纵向尺寸过大,使整机田间作业掉头不灵活,通过性和稳定性差。

本研究涉及的4U-1400型马铃薯联合收获机采用栅杆刮板式分离输送装置,该分离输送装置在降低薯块含杂率和伤薯率的同时,缩短了整机纵向结构尺寸,改善了整机的通过性和稳定性,提高了收获机的收获效率。本研究拟应用理论力学分析建模

和虚拟样机技术软件Solidworks-Motion相结合法对栅杆刮板式分离输送装置进行分析,获取最优参数,并通过田间试验验证其结果,以期为4U-1400型马铃薯联合收获机二级土豆分离输送装置的设计提供依据。

1 整机结构及功能

4U-1400型马铃薯联合收获机主要由牵引装置、挖掘装置、一级土豆分离装置、二级土豆分离装置、茎秆分离装置、装袋装置、行走装置、液压系统及传动系统等构成(图1)。该收获机主要有以下功能:挖掘功能、土豆分离输送功能、茎秆分离功能、装袋功能。另外,根据土壤状况,通过更换少量随机配件,可实现薯块堆放或条铺功能。



1. 挖掘部件;2. 一级土豆分离装置;3. 二级土豆分离装置;4. 茎秆分离装置;5. 地轮;6. 机架;7. 站台;8. 装袋装置;9. 传动系统;10. 液压油缸;11. 牵引装置;12. 停机支撑轮。
1. Excavating components;2. First class soil-potato separating device;3. Second class soil-potato separating device;4. Stalk separating device;5. Wheel;6. Rack;7. Platform;8. Bagging devices;9. Drive system;10. Hydrocylinder;11. Pulling device;12. Downtime return roller.

图1 4U-1400 马铃薯联合收获机结构示意图

Fig.1 Structure diagram of 4U-1400 type potato combine harvester

2 主要结构参数分析

2.1 二级分离输送装置结构及原理

二级土豆分离输送装置主要由栅杆刮板式分离输送带、主从动轮、支撑轮等构成(图2)。该分离输送装置兼有分离土壤、薯块及倾斜输送薯块的功能,可在分离土壤的同时,实现薯块较大倾角的输送。

2.2 主要参数分析

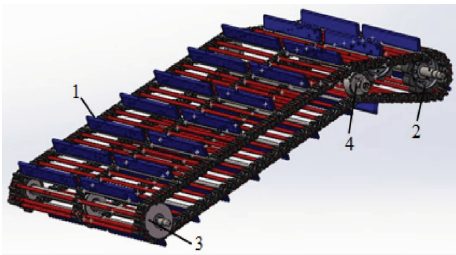
影响栅杆刮板式分离输送装置工作性能的主要因素有输送面倾斜角度、刮板高度、输送速度、振动频率及振幅。

2.2.1 倾斜角度

二级土豆分离输送装置倾角大小取决于薯块输送量、薯块提升高度、薯块水平输送距离等多种因

素,可由式(1)确定:

$$Q = Bhv\varphi\mu\kappa \tag{1}$$



1. 栅杆刮板式分离输送带;2. 主动轮;
3. 从动轮;4. 支撑轮。
1. Scraper conveyor belt of barrier separation;
2. Driver wheel;3. Passive wheel;4. Supporting wheel.

图2 分离输送装置

Fig.2 Separating and conveying device

式中： Q 为最大输送量， kg/h ，该机设计值为 $28\,000\,\text{kg/h}$ ； B 和 h 分别为刮板的宽度和高度， mm ； v 为刮板提升速度， m/s ； ρ 为物料密度， kg/m^3 ； ψ 为物料充满系数； κ 为分离输送装置倾斜系数，分离输送装置倾斜系数与升运倾斜角的关系见表 1^[8]。由式(1)得：

$$\kappa = \frac{Q}{Bh\rho v\psi}$$

(2)

表 1 分离输送装置倾斜系数 κ 与升运倾斜角 θ 的关系

Table 1 Relationship of separating conveying device inclined coefficient and lifting tilt angle

κ	$\theta/(^{\circ})$	κ	$\theta/(^{\circ})$
0.85	10	0.30	60
0.65	20	0.25	75
0.50	30	0.15	90
0.40	45		

根据国内外试验，为减小对薯块的损伤，同时避免壅土，土薯分离输送栅杆带的线速度应等于或略高于机组的行进速度，杆带速度取 $1.15\sim 1.85\,\text{m/s}$ 分离效果最好^[9]，一级土薯分离杆带速度设计值为 $1.35\,\text{m/s}$ ，考虑到进入二级土薯分离装置的土壤较少，且较低的速度能够防止薯块从刮板上翻跃，因此综合考虑取速度 $v=0.8\sim 1.2\,\text{m/s}$ ；充满系数取 $\psi=0.6\sim 0.7$ ^[10]，根据试验测得马铃薯密度 $\rho=1.0\sim 1.2\,\text{g/cm}^3$ ，由此可计算出升运倾斜角 θ 。

2.2.2 刮板高度

由于薯块在较大角度栅杆式倾斜输送面上容易下滚，为此在栅杆的基础上等距离设置刮板，刮板高度主要取决于输送量、薯块大小等因素，本研究取薯块最大半径为 $50\,\text{mm}$ 。

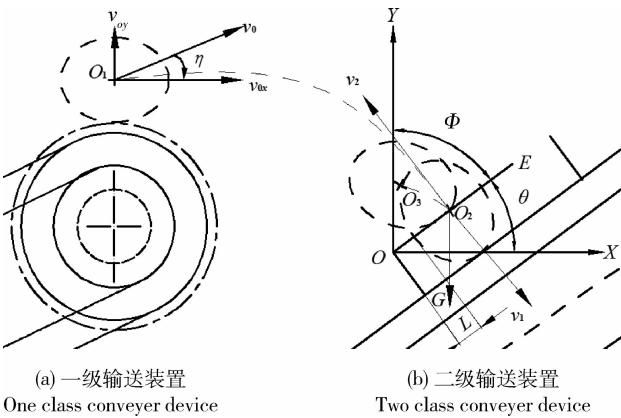
运用运动学和动力学的方法分析薯块运动情况，确定刮板高度(图 3)。

收获机作业时，薯块从一级土薯分离装置进入二级土薯分离装置时，薯块做具有一定初始速度的抛物线运动(图 3)， v_1 在 X 方向没变化(忽略空气阻力)，在 Y 方向做加速度为 g 的加速度运动，即：

$$v_1 = \sqrt{(v_0 \cos \eta)^2 + (v_0 \sin \eta - 1/2gt_1^2)^2}$$

(3)

式中： t_1 为抛物运动时间， s 。薯块质心处于 O_2 点



O_1, O_2, O_3 分别为薯块各个运动阶段质心所处位置； v_0 为薯块的初始速度， v_1, v_2 分别为薯块与栅杆碰撞前、后薯块的速度， m/s ； v_{0x}, v_{0y} 分别为 v_0 在 X 和 Y 方向的速度， m/s ； η 为一级土薯分离装置倾角， $(^{\circ})$ ； θ, ϕ 分别为输送面与 X 轴和 Y 轴的夹角， $(^{\circ})$ ； OE 为平行于输送面的辅助线； G 为薯块重力， N ； L 为薯块与刮板的距离， mm ，随动态坐标系变化；下同。

O_1, O_2, O_3 are the location of centroid for each movement phase, respectively; v_0 is initial velocity, v_1, v_2 is respectively speed of potato before potato collision with barrier and speed of potato after potato collision with barrier, m/s ; v_{0x}, v_{0y} is respectively velocity in x and y direction of v_0 , m/s ; η is the angle of the secondary soil potato separation conveyor components, $(^{\circ})$; θ, ϕ are the angle for conveying surface and X axis, the angle for conveying surface and Y axis, respectively, $(^{\circ})$; OE is the auxiliary line to parallel the conveying surface; G is the gravity of potato, N ; L is the distance of potatoe and scraper, changing with moving coordinate, mm ; the same as below.

图 3 薯块运动模型示意图

Fig. 3 A model for the potato movement

时，薯块与栅杆发生碰撞，设 m_1, m_2 分别为薯块与栅杆的质量， kg ； v_3, v_4 分别为栅杆与薯块碰撞前后栅杆的速度， m/s 。根据动量守恒定律得：

$$m_1 v_1 + m_2 v_3 = m_1 v_2 + m_2 v_4$$

(4)

v_2 由碰撞恢复系数 e 得到，公式为：

$$e = \frac{v_4 - v_2}{v_1 - v_3}$$

(5)

式中， e 值采用建立栅杆组合装置测试平台的方法获得^[11]。

薯块碰撞栅杆的方向与垂直于栅杆输送表面方向的夹角很小，可忽略，故取 $v_1=0$ 。薯块与栅杆的碰撞属于非弹性碰撞，由于栅杆装配在橡胶皮带上，所以发生碰撞时，栅杆对薯块的冲击有一定的缓冲作用，碰撞结束后，栅杆产生一个与薯块速度方向相反，且数值较小的速度 v_2 。

O 点随动态坐标系沿二级土薯分离输送面向上

移动,且薯块受重力 G 影响,由此薯块质心从 O_2 点到 O_3 点的运动过程可近似看做薯块质心绕刮板端点 O 做摆线运动。

根据质点系的动量矩定理有^[12]:

$$\sum_{i=1}^n \frac{d}{dt} M_0(m_i v_i) = \sum_{i=1}^n M_0(F_i^{(i)}) + \sum_{i=1}^n M_0(F_i^{(e)})$$

(6)

式中: $F_i^{(i)}$ 、 $F_i^{(e)}$ 分别为内力和外力,N。由于内力总是大小相等,方向相反,所以:

$$\sum_{i=1}^n M_0(F_i^{(i)}) = 0$$

(7)

故式(6)为:

$$\sum_{i=1}^n \frac{d}{dt} M_0(m_i v_i) = \sum_{i=1}^n M_0(F_i^{(e)})$$

(8)

根据刚体绕定轴转动微分方程得:

$$J_z \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = \sum M_z(F)$$

(9)

式中: φ 为薯块质心绕 O 点旋转的角度,(°); $\varphi \geq \varphi$ 表明薯块能够翻越刮板, $\varphi < \varphi$ 表明薯块不能翻越刮板。薯块对 Z 轴的转动惯量为:

$$J_z = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$$

(10)

式中: r 近似为刮板高度 h 与距离 L 之和,mm; Z 轴在图 3 中可看做 O 点。由式(8)、(9)、(10)可得:

$$\frac{d(mv_2 r)}{dt} = mr^2 \frac{d^2 \varphi}{dt^2}$$

(11)

假定速度 v_2 未知,则式(11)可写为:

$$mr \frac{dv_2}{dt} = mr^2 \frac{d^2 \varphi}{dt^2}$$

(12)

又 $\frac{dv_2}{dt} = a$,故式(12)整理后得:

$$\varphi = \frac{v_2 t}{2r}$$

(13)

式中 t 可通过虚拟试验测得。

假定碰撞后栅杆的速度 $v_4 = 0$,由于 v_4 的实际值 $>$ 假定值,根据式(5)可知, v_2 的实际值 $<$ 假定值。所以,以下讨论分假定和实际 2 种情况。

假定情况:若取 $\varphi = \varphi$ (φ 值为薯块不能翻越刮板的临界值),由式(13)可知, r 值为最小,即刮板高度最小。

实际情况:由于 v_2 的实际值 $<$ 假定值,所以 r 的实际值 $<$ 假定值。

综上所述,由理论分析得出的 r 值满足刮板高度的设计要求。

3 虚拟仿真试验

3.1 建模与仿真

运用 solidworks 软件对二级土薯分离输送装置进行三维建模^[13-15],建模依据主要考虑 2 方面,一是模型主要针对分离输送装置输送动态薯块,主要功能为输送。二是为了便于仿真,模型摒弃土薯分离功能、水平输送功能和影响较小的环境因素,考虑到薯块运动仿真无需进行土薯分离功能的建立,将栅杆改为连接板代替,输送带动力源采用路径配合马达,忽略模型中的螺钉螺母及输送带运动所产生的摩擦,运动过程中静止的部件融合为一体。

利用冲击模型实现薯块与输送装置的碰撞接触^[16-17]。Solidworks 中接触力的表达式为^[18]:

$$F_{\text{contact}} = k'(x_0 - x)^{e'} - cv'$$

(14)

式中: k' 为接触刚度,N/mm; e' 为弹力指数; c 为阻尼系数; v' 为穿透度,mm。为了准确定义刚度,在 Solidworks Simulation 有限元软件中创建一个接触配置,在冲击的方向上任意添加作用力并求解位移,便可以从力的大小和位移中获得刚度,薯块与输送装置碰撞冲击模型参数见表 2^[19]。

表 2 薯块与输送装置碰撞冲击模型参数
Table 2 Parameter setting of impact model of tuber and conveying device

参数设置 Parameter setting	数值 Numerical value
刚度/(N/mm) Stiffness	3 329
指数 Index	1.5
最大阻尼/(N/(mm/s)) Max damp	2.8
穿透度/mm Penetration	0.1

为尽可能接近实际工作状况,在 Solidworks 软件中将薯块近似为不规则椭圆形刚体,模型体系系统运动初始位置添加 2 个不同位置的薯块,且在两薯间添加实体接触,整体模型处于同一重力场下,最大限度模拟现实作业环境。薯块在一级土薯分离装置上添加线性马达,速度为 1.35 m/s,二级土薯分离装置上添加路径配合马达。薯块运动模型见图 4。

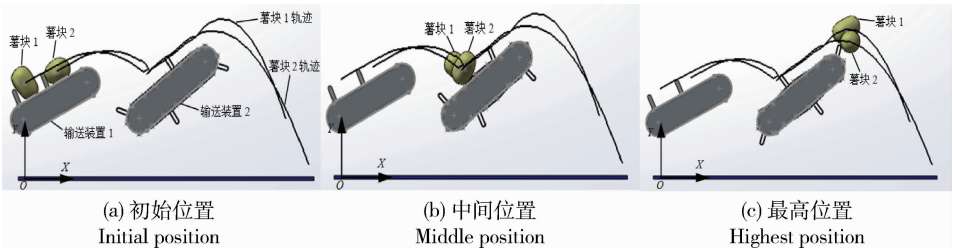


图 4 薯块运动模型

Fig. 4 Motion model of tuber

3.2 虚拟试验

3.2.1 试验指标

4U-1400 马铃薯联合收获机分离输送功能由一、二级土薯分离装置实现,虚拟仿真试验主要验证薯块从一级土薯分离装置到二级土薯分离装置运动过程。虚拟试验基于薯块线性速度、薯块线性位移、薯块翻越刮板次数 3 个指标来综合衡量各试验中薯块的运动平稳性。薯块在与二级土薯分离装置充分接触时开始记录薯块线性速度,并与此时的二级土薯分离输送带的线速度进行对比,两速度差的绝对值越小说明薯块在输送过程中运动越平稳(表 3)。同样,当薯块与刮板输送装置充分接触时开始记录

薯块在 y 方向上的位移变化量,薯块被输送到二级土薯分离装置最高点时的位移为位移最大值,对应记录被测位移变化的起始时间与终止时间, y 值位移变化量与相应时间变化量的比值记做斜率 k_1 ,同样的方法测得该组试验刮板式输送装置的斜率记做 k_2 , k_1 与 k_2 越接近表明输送薯块的过程越平稳(表 4)。由于试验因素不同造成试验工作状况不相同,因此薯块在每个试验中翻滚情况不同,该指标记录的是两薯块在输送过程中翻越刮板的次数,运用综合评分法,单个薯块总分为 50 分,翻越 1 次减 12.5 分,翻越次数 ≥ 4 次时总分为 0,两薯块得分之和为最终分值,分值越高说明薯块运动情况越平稳(表 5)。

表 3 薯块线性速度与输送带线性速度的关系

Table 3 Relationship between tuber linear velocity and the linear speed of conveyor belt

试验号 Test number	薯块线性速度/(m/s) Tuber linear speed							输送带线性速/ (m/s) Conveyor speed	速度差绝对值/(m/s) Speed difference absolute value
							平均值/(m/s) Average value		
	v_I	v_{II}	v_{III}	v_{IV}	v_V	v_{VI}			
1	0.96	0.72	1.03	0.70	0.94	0.60	0.82	0.80	0.02
2	1.12	1.00	1.20	0.86	1.24	0.80	1.03	1.00	0.03
3	1.15	1.07	1.48	1.22	1.04	0.85	1.13	1.20	0.07
4	1.65	1.30	1.80	1.15	1.73	1.50	1.52	1.00	0.52
5	1.38	0.84	1.55	1.32	2.20	0.80	1.34	1.20	0.14
6	0.94	0.74	0.50	1.05	0.71	0.77	0.78	0.80	0.02
7	—	—	—	—	—	—	—	1.20	1.20
8	0.74	0.64	0.87	0.83	0.95	0.76	0.65	0.80	0.14
9	1.04	0.95	1.13	0.79	1.47	0.85	0.90	1.00	0.10

注: $v_I, v_{II}, \cdots, v_{VI}$ 表示 6 组薯块的线性速度, m/s.
Note: $v_I, v_{II}, \cdots, v_{VI}$ show six groups tuber linear velocity, m/s.

表 4 薯块线性位移斜率与输送带线性位移斜率的关系

Table 4 Relationship of the slope of linear displacement between tuber and the conveying belt

试验号 Test number	斜率差绝对值 Absolute value of slope difference		
	k_1	k_2	
1	394	432	38
2	535	532	3
3	568	658	90
4	557	613	56
5	776	736	40
6	453	497	44
7	—	846	—
8	552	568	16
9	605	694	89

注： k_1 为薯块线性位移斜率，即薯块线性位移与薯块运动时间的比值； k_2 为输送带线性位移斜率，即输送带线性位移与输送带运动时间的比值。

Note: k_1 is the linear displacement slope of tuber; k_2 is the linear displacement slope of conveyor belt.

3.2.2 虚拟正交试验

为研究二级土薯分离输送装置倾斜角度、刮板高度、输送速度 3 因素对薯块输送平稳性的综合影响，进行 3 因素 3 水平正交试验^[20-21]。正交试验因素与水平见表 6。选用 $L_9(3^4)$ 试验方案(表 7)，并对试验结果进行处理及分析(表 8)，确定该装置的最优组合方案。

表 5 薯块翻越次数及评分

Table 5 Crossing number and score of tuber

试验号 Test number	薯块翻越次数 Crossing number of tuber		综合评分 Composite score
	薯块 1 Tuber 1	薯块 2 Tuber 2	
1	0	0	100.0
2	0	1	87.5
3	0	0	100.0
4	0	2	75.0
5	1	1	75.0
6	0	1	87.5
7	7	7	0.0
8	0	0	100.0
9	0	1	87.5

表 6 正交试验因素与水平

Table 6 Orthogonal test factors and levels

水平 Level	因素 Factor		
	A, 输送面 倾角/(°) Conveying surface inclination	B, 刮板 高度/mm Scraper height	C, 输送 速度/(m/s) Conveyor speed
1	36	40	0.8
2	42	50	1.0
3	50	60	1.2

表 7 薯块输送过程试验方案及结果

Table 7 Test scheme and test result of tuber conveying process

试验组 Test group	因素 Factor			指标试验结果 Test results of every index		
	A	B	C	速度差绝对值(m/s) Absolute value of linear speed difference	斜率差绝对值 Absolute value of slope difference	综合评分 ^① Comprehensive score
1	1	1	1	0.02	38	100.0
2	1	2	2	0.03	3	87.5
3	1	3	3	0.07	90	100.0
4	2	1	2	0.52	56	75.0
5	2	2	3	0.14	40	75.0
6	2	3	1	0.02	44	87.5
7	3	1	3	1.20	846	0.0
8	3	2	1	0.14	16	100.0
9	3	3	2	0.10	89	87.5

注：①根据薯块翻越次数的综合评分，下表同。

Note: ①, Comprehensive score of according to tuber crossing number, the same as in the following table.

表 8 薯块输送过程试验结果分析

Table 8 Analysis of the test result of tuber conveying process

试验结果 Test results	因素 Factor	K_1	K_2	K_3	κ_1	κ_2	κ_3	极差 Range	优化方案 Optimal solution
速度差绝对值 Absolute value of linear speed difference	A	0.12	0.68	1.44	0.04	0.23	0.48	0.44	A_1
	B	1.74	0.32	0.17	0.58	0.11	0.06	0.52	B_3
	C	0.16	0.65	1.41	0.05	0.22	0.47	0.42	C_1
斜率差绝对值 Absolute value of slope difference	A	131	140	951	43.7	46.7	317.0	237.3	A_1
	B	940	59	223	313.3	19.7	74.3	293.6	B_2
	C	98	148	976	32.7	49.3	325.3	292.6	C_1
综合评分 Comprehensive score of crossing number	A	287.5	237.5	187.5	95.8	79.2	62.5	33.3	A_1
	B	175.0	262.5	275.0	58.3	87.5	91.7	33.4	B_3
	C	287.5	250.0	175.0	95.8	83.3	58.3	37.5	C_1

注： K_i 列是表 7 中因素 A、B、C 的第 i 水平对应的各试验结果之和， $\kappa_i = K_i/3, i=1,2,3$ 。

Note: K_i column is the sum of each test results, which corresponds with the A、B、C factor in table 7 respectively, $\kappa_i = K_i/3 (i=1,2,3)$.

由表 8 可知,对速度差绝对值和翻越次数及评分而言,选取方案 $A_1B_3C_1$ 为好,但对斜率差绝对值而言,选取方案 $A_1B_2C_1$ 为好,综合考虑选取方案 $A_1B_3C_1$ 较好,即输送面倾斜角取 36° ,刮板高度取 50 mm,输送带速度取 0.8 m/s。

4 田间试验

4.1 试验条件

田间试验于 2013-10-9—10-16 在甘肃省定西市安定区香泉镇马铃薯田地进行。试验地为全覆膜垄播旱地,地势平坦,含水率约 20%。每个试验区长度约 200 m,宽度约 50 m。马铃薯品种有大西洋,新大坪等,马铃薯种植垄高 260 mm,行距 300 mm,垄宽 600 mm,结薯深度 150~280 mm。

田间试验主要设备有 4U-1400 型马铃薯联合收获机和约翰迪尔 JD-654 拖拉机。

4.2 试验结果与分析

4U-1400 马铃薯联合收获机在全覆膜垄播旱地条件下,二级土薯分离输送装置倾斜角度为 36° ,输送速度为 0.8 m/s,刮板高度为 60 mm 时,4U-1400 马铃薯联合收获机试验收获指标见表 9。

试验结果表明:4U-1400 马铃薯联合收获机试验得到的各项收获指标达到 NY/T 1130—2006《马铃薯收获机械》的规定和要求。

试验过程中发现,当二级土薯分离输送装置倾斜角度 $\leq 36^\circ$,输送速度为 0.8~1.0 m/s,刮板高度 ≥ 60 mm 时,薯块翻越刮板频率较低,且对薯块损伤小,对土壤的分离效果较好;倾斜角度 $> 36^\circ$,输送速度 > 1.0 m/s,刮板高度 < 60 mm 时,薯块翻越刮板频率明显增高且加剧薯块之间的碰撞,薯块的损伤率增高;输送速度 < 0.8 m/s 时,土壤分离效率降低。此外,该收获机对土质松软、无板结全覆膜旱地的马铃薯收获质量高,对湿度大、板结严重的旱地,装袋时混有较多未被分离干净的土块,只能集中堆放或条铺于地表。

表 9 4U-1400 马铃薯联合收获机试验收获指标^[22]

Table 9 Performance test results of 4U-1400 potato combine harvester		
参数 Parameter	试验结果 Test result	技术要求 Technical requirements
纯小时生产/(hm^2/h) Pure hour productivity	0.42	0.3~0.5
伤薯率/% Injury rate	1.8	≤ 2
破皮率/% Skin-broken rate	2.9	≤ 3
损失率/% Loss rate	0.8	≤ 4
含杂率/% Impurity rate	0.8	≤ 4

5 结 论

1)本研究运用运动学和动力学分析了 4U-1400 马铃薯联合收获机二级土薯分离输送装置的主要参数。采用 Solidworks 三维软件建模及仿真,得到了薯块的线性速度、线性位移及翻越次数 3 组数据,通过正交试验分析,得到二级土薯分离输送装置的优化方案为:输送面倾角 36°,刮板高度 60 mm,输送速度 0.8 m/s。

2)样机田间试验表明:4U-1400 马铃薯联合收获机二级土薯分离输送装置薯块输送平稳,薯块损伤小;对土质松软、无板结旱地(覆膜)的土薯分离效果好,袋装薯块含杂率低,对土壤湿度大或板结严重的田地,土薯分离效果较差,宜采用薯块集中堆放或条铺于地表的收获方式。

参 考 文 献

[1] 史明明,魏宏安,胡忠强,等.国内外马铃薯收获机械产品现状调查[J].农业机械,2013(7):100-105

[2] 王福义.马铃薯收获机械发展研究[J].农业科技与装备,2011(12):83-84

[3] Hosainpour A, Komarizade M H, Mahmoudi A, et al. High speed detection of potato and clod using an acoustic based intelligent system [J]. Expert Systems with Applications, 2011,38(10):12101-12106

[4] Mosalanejad H, Mobli H, Poursoltan A. The main parameters assessment of clod and stone separation from potato crop (inclined belt type) in potato harvester [J]. International Journal of Advanced Design and Manufacturing Technology, 2011,3(2):79-84

[5] 康璟,李涛,孙伟,等.马铃薯挖掘机输送分离部件参数优化与

试验分析[J].干旱地区农业研究,2013,31(6):257-262

[6] 魏宏安,张俊莲,杨小平,等.4UFD-1400 型马铃薯联合收获机改进设计与试验[J].农业工程学报,2014,30(3):12-17

[7] 杨小平,史明明,魏宏安,等.4UFD-1400 型马铃薯联合收获机功能原理的设计[J].中国农机化学报,2013,34(5):109-113

[8] 田荣钢.玉米收获机输送清选系统的研究设计[J].农机化研究,2012(6):93-96

[9] 魏宏安,王蒂,连文香,等.4UFD-1400 型马铃薯联合收获机的研制[J].农业工程学报,2013,29(1):11-17

[10] 刘守江,张艳来,苟明成. JL-II 型马铃薯切削去皮机的研制[J].农机化研究,1995(2):17-20

[11] 张小平.谈机械碰撞教学的改进[J].甘肃农业大学学报,1998,33(2):201-204

[12] 哈尔滨工业大学理论力学教研室.理论力学[M].北京:高等教育出版社,2002:234-247

[13] 胡建平,张建兵,何俊艺,等.移栽机行星轮转臂式栽植器运动分析与试验[J].农业机械学报,2013,44(10):57-61

[14] 王中莹,胡志超,彭宝良,等.基于 ADAMS 的甜菜收获机自动对行探测机构仿真[J].农业机械学报,2013,44(12):62-67

[15] 季顺中,李双,陈树人,等.基于 ADAMS 的高速插秧机三插臂分插机构运动仿真[J].农业机械学报,2010,41(增刊 1):82-85

[16] 杜妍辰,王树林.两颗粒弹塑性正碰撞的耗散模型[J].机械工程学报,2009,45(2):149-156

[17] 桑永英,张东兴,张梅梅.马铃薯碰撞损伤试验研究及有限元分析[J].中国农业大学学报,2008,13(1):81-84

[18] 陈超祥,胡其登. SolidWorks Motion 运动仿真教程[M].北京:机械工业出版社,2012:89-112

[19] 陈超祥,胡其登. SolidWorks Simulation 基础教程[M].北京:机械工业出版社,2012:116-118

[20] 南京农业大学.田间试验和统计方法[M].北京:农业出版社,1988:134-190

[21] 石林榕,孙伟,赵武云,等.振动挖掘铲减阻数值模拟及参数优化[J].中国农业大学学报,2014,19(2):181-188

[22] 农业部种植机械质量监督检验测试中心. NY/T 1130—2006 马铃薯收获机械[S].北京:中国标准出版社,2006

责任编辑:刘迎春