

马铃薯挖掘机输送分离部件参数优化与试验分析

康 璟¹, 李 涛¹, 孙 伟¹, 王 蒂¹, 张俊莲¹,
康天兰², 张锋伟¹, 吴建民^{1*}

(1. 甘肃农业大学工学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省经济作物技术推广总站, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 针对马铃薯挖掘机输送分离部件伤薯率高和土薯分离率低的问题, 采用正交试验对抖动轮振幅、升运链线速度与升运链倾角进行探讨研究。在利用试验结果的基础上做出方差分析, 得出影响输送分离部件工作性能的因素主次, 进一步优化组合部件参数, 设计出适应性强、工作可靠的马铃薯挖掘机。实验结果表明: 抖动轮振幅为 10 mm、升运链线速度为 $1.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、升运链倾角为 21° 时马铃薯挖掘机土壤分离效果良好, 伤薯率 $\leq 4\%$ 。

关键词: 马铃薯挖掘机; 抖动轮; 升运链; 参数优化

中图分类号: S225.7+1 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2013)06-0257-06

Parameters optimization and test analysis of delivery separate parts in potato digger

KANG Jing¹, LI Tao¹, SUN Wei¹, WANG-Di¹, ZHANG Jun-lian¹,
KANG Tian-lan², ZHANG Feng-wei¹, WU Jian-min^{1*}

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

2. Gansu Economic crops technology promotion station, Lanzhou, 730000, China)

Abstract: Aim at the problem of high injury potato and lower soil potato separation rate by the delivery separate components in potato digger, has discussed and researched the dithering wheel's amplitude, lifting chain's linear velocity and lifting chain's dip angle by adopting the orthogonal experiment. On the basis of the test results, the variance analysis was processed, has obtained the main and second factors effected the working performances of delivery separate components, further optimized and associated the component's parameters, and designed out the high adaptable and reliable potato digger. The experimental result shown that: The soil and potato separation effect was well and injury potato rate was less than 4%, when the dithering wheel's amplitude was 10 mm, the lifting chain's linear velocity was $1.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ and the lifting chain's dip angle was 21° .

Keywords: potato digger; dithering wheel; lifting chain; parameters optimization

马铃薯挖掘机输送分离部件的性能, 是影响块茎损伤率和土壤分离率的主要因素^[1]。目前, 有关马铃薯机械损伤的研究引起了国内外有关专家学者的高度关注^[2-4]。我国现有的小型马铃薯挖掘机由于空间结构尺寸制约, 存在土薯分离能力弱和伤薯率高等缺陷^[5]。马铃薯挖掘机作业时, 为保证输送顺畅, 升运链倾角应在适当范围内^[6]。另外, 如果不能准确控制抖动链振幅和升运链速度会造成输送堵塞、伤薯等问题。近年来我国科研人员对马铃薯收获机械高度重视, 研制出各种类型的马铃薯挖掘机, 但输送分离部件缺乏参数优化的试验分析^[7]。输送

分离部件作为马铃薯挖掘机的关键部件, 对整机工作性能有很大影响^[8]。本文分析了 4U-1200 型马铃薯挖掘机输送分离部件参数的确定, 通过优化组合, 设计出提高土薯分离、降低伤薯率的小型马铃薯挖掘机^[9]。

1 4U-1200 型马铃薯挖掘机结构与工作原理

1.1 总体结构

4U-1200 型马铃薯挖掘机主要由机架、挖掘部件、输送分离部件、传动部件、挡板、支撑行走轮及悬

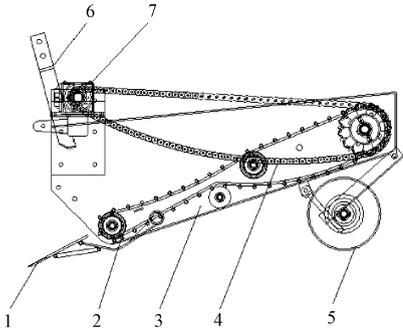
收稿日期: 2013-05-30

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD06B03); 甘肃省科技支撑项目(1102MKDM025)

作者简介: 康 璟(1988—), 女, 甘肃兰州人, 硕士研究生, 研究方向为农业工程技术与装备研究。E-mail: gkfc11001@163.com。

* 通信作者: 吴建民, 甘肃定西人, 教授, 博士生导师, 主要从事机械化保护性耕作及农业工程技术与装备研究。

挂架等构成。如图 1 所示。



1. 挖掘部件 Digging parts 2. 输送分离部件 Delivery separation parts
3. 机架 Frame 4. 传动链 Drive chain 5. 行走轮 Road wheel 6. 悬挂架 Suspension bracket 7. 减速器 Reducer

图 1 整机结构图

Fig.1 Structure of potato digger

该机可一次完成挖掘、输送分离、土壤压实、茎蔓清理等多项作业。机具外形尺寸 1 673 mm × 1 418 mm × 1 001 mm, 配套动力 22.1 kW, 挖掘深度 150 ~ 220 mm(可调), 单个挖掘铲宽度 100 mm, 该机型适用于西北旱作农业区的马铃薯挖掘^[10]。

1.2 工作原理

该马铃薯挖掘机在田间作业时与拖拉机悬挂机构相连接, 挖掘铲入土将薯块掘起, 薯块与土壤混合物被挖掘铲挖出后进入升运链前端一起沿升运链向后滑移。在升运链运动过程中, 由于抖动, 土块破碎散裂, 直径小于升运链杆条间隙的土块漏下, 进行了土薯分离。同时位于升运链上方的挡板将薯块堆积到一侧, 经抖动、输送至升运链末端, 薯块与残存土壤混合物落在压实后的土层上。通过调整升运链速度可改变抖动轮转速, 进而影响抖动频率。增大升运链的抖动频率可提高振幅、增强土薯分离能力并降低破损率^[11-14]。

2 输送分离部件

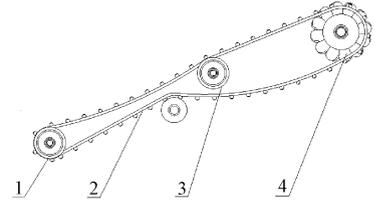
4U-1200 型马铃薯挖掘机的输送分离部件为抖动链式输送分离器, 它由抖动链、抖动轮及主、从动链轮组成, 如图 2 所示。升运链倾角、速度的确定, 可在保证运送顺畅的基础上增加抖落土壤的效果, 当速度过快或者过慢时, 会造成伤薯及雍堵现象, 降低工作效率, 因此需要在适当范围内^[15]。而抖动轮振幅反映升运链振动的强度, 直接影响着伤薯率和分离土壤的效果。这里三个因素都是可控制的主要因素, 需要找到最优组合设计出性能稳定、适应性好的马铃薯挖掘机^[16]。抖动轮的转速由输送链线速度与抖动链周长确定, 进而改变抖动频率与

振幅, 输送链线速度通过改变传动比调整。抖动轮转速、抖动频率分别按(1)式和(2)式计算。

$$n = 60v/L \quad (1)$$

$$f = Zn/60 \quad (2)$$

式中, v 为升运链线速度($m \cdot s^{-1}$); L 为抖动轮周长(m); n 为抖动轮转速(min); Z 为抖动轮头数^[17]。



1. 从动轮 Driven wheel 2. 升运链 Lifting chain 3. 抖动轮 Jitter wheel
4. 主动轮 Capstan

图 2 输送分离部件结构图

Fig.2 The structure of delivery separation component

3 正交试验

3.1 试验条件

4U-1200 型马铃薯挖掘样机制造完成后, 于 2012 年在甘肃定西通安驿镇进行了数次田间试验。试验地海拔高度为 1 942 m, 年均降雨量 380 mm, 年平均气温 7.5℃, 全年无霜期 142 d, 属于西北干旱地区^[18]。土壤类型以黄绵土为主, 耕作层 15 ~ 20 cm, 机具与东方红-300 型轮式拖拉机(22.1 kW)采用三点悬挂方式连接。

3.2 试验设计

3.2.1 实验目的 为提高 4U-1200 型马铃薯挖掘机工作性能进行田间样机试验, 得出输送分离部件最优组合参数, 能够有效改善伤薯率与土薯分离问题, 为后续工作提供参考。

3.2.2 试验指标 试验指标为伤薯率和土壤分离率, 它们的定义如下:

伤薯率: 薯块的损伤以能否贮存为标准, 凡不能贮存的为伤薯。在同一测定面积内伤薯与明薯重量的百分比称为伤薯率^[19]。

$$\text{总伤薯率} = \frac{\text{伤薯总重}}{\text{明薯重}} \times 100\%$$

土壤分离率: 指单位时间内输送分离抖掉的土壤占整个挖掘时喂入量的百分比。

$$\text{土壤分离率} = \frac{\text{抖掉土壤量}}{\text{喂入量}} \times 100\%$$

3.2.3 试验水平与试验因素 主要考察影响输送分离部件试验指标的可控制因素: 抖动轮振幅、升运链线速度与升运链倾角。为了满足试验要求, 分别选择了周长不等的三个抖动轮(各抖动轮装配尺寸

相同)与三种升运链倾角,不同的抖动轮振幅不同。通过改变传动装置的传动比调整链轮转速使升运链线速度发生变化。链轮速度与转速关系式^[20]:

$$V = \frac{znt}{60 \times 1000}$$

式中, z 为链轮齿数; n 为链轮转速($r \cdot \text{min}^{-1}$); t 为节距(mm)。试验因素水平表见表 1。

表 1 因素水平表

Table 1 Factors and testing levels

因素 Factors			
水平 Levels	A 抖动轮振幅 Dithering wheel's amplitude /mm	B 升运链线速度 Lifting chain's linear velocity /($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	C 升运链倾角 Lifting chain's dip angle /($^{\circ}$)
1	8	1.1	21
2	9	1.3	23
3	10	1.5	25

注:试验过程中拖拉机行走速度为 $2.17 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

Note: In the test process the tractor walking speed was $2.17 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

这里有 3 个因素,每个因素有 3 个水平,如果每个因素的每一种水平都互相搭配着进行全面试验,必须做试验 $3^3 = 27$ 次,把所有可能的搭配试验编号写出,得出具体实验方案表进行试验,列在表 2 中,用直观分析法对每个指标分别进行计算分

析^[21-23]。

为便于综合分析,将每个指标随因素水平变化情况表示出来,将各点用线段连接起来,如图 3 所示。

3.3 试验结果分析

表 2 计算分析得到两个不同方案 $A_3B_2C_1$ 和 $A_1B_3C_1$,由此可以确定升运链倾角 C 取第一水平。要找出共同方案需将表 2 和图 3 结合起来分析,可得到每一个因素对各指标的影响。抖动轮振幅(A 因素)对各指标的影响:对伤薯率来讲,抖动轮振幅的极差并不是最大,也就是说影响不是最主要,而对土壤分离效果来讲是影响最大的因素;升运链线速度(B 因素)对各指标的影响:对于两个指标都不是影响最大的因素,是较次要的因素;试验中,土壤分离率在 70% 以上,满足设计要求,为了保证伤薯率,需单独讨论。由离差平方和 S 看出,在伤薯率指标中 A 因素与 B 因素的交互作用值最大,因此把 A 和 B 的组合试验结果对照,如表 3 所示。

试验指标是伤薯率,应当越小越好。从表 3 中可以看出 A 取 3 水平、B 取 2 水平时,实验结果为 1.1 是最小值,由于存在边界值出现最优结果的问题,需进一步对试验数据进行方差分析,结果见表 4。

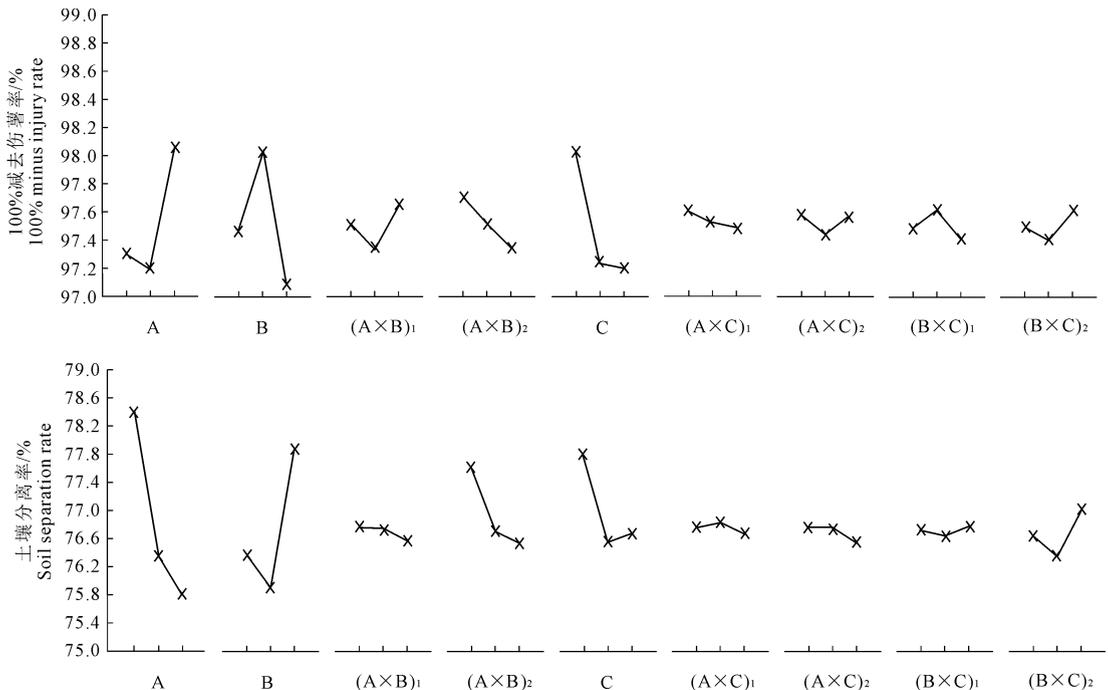


图 3 各指标变化情况

Fig.3 Change of the index

表 2 试验结果
Table 2 Testing results

试验号 Number	A	B	(A×B) ₁	(A×B) ₂	C	(A×C) ₁	(A×C) ₂	(B×C) ₁	(B×C) ₂	100%减伤 薯率/% 100% minus injury rate	土壤分 离率/% Soil separation rate
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	98.3	79.1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	96.8	77.7
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	97.1	77.3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	3	98.5	78.8
5	1	2	2	2	2	2	2	3	1	97.4	76.7
6	1	2	2	2	3	3	3	1	2	97.0	76.1
7	1	3	3	3	1	1	1	3	2	97.2	80.4
8	1	3	3	3	2	2	2	1	3	96.6	77.8
9	1	3	3	3	3	3	3	2	1	96.9	78.5
10	2	1	2	3	1	2	3	1	1	97.3	76.9
11	2	1	2	3	2	3	1	2	2	96.8	74.6
12	2	1	2	3	3	1	2	3	3	96.5	76.1
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	98.8	76.8
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	97.7	75.2
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	97.6	74.7
16	2	3	1	2	1	2	3	3	2	97.3	78.3
17	2	3	1	2	2	3	1	1	3	96.3	77.5
18	2	3	1	2	3	1	2	2	1	96.6	77.1
19	3	1	3	2	1	3	2	1	1	98.4	76.6
20	3	1	3	2	2	1	3	2	2	98.0	73.9
21	3	1	3	2	3	2	1	3	3	97.9	75.4
22	3	2	1	3	1	3	2	2	3	98.9	76.4
23	3	2	1	3	2	1	3	3	1	98.0	73.6
24	3	2	1	3	3	2	1	1	2	98.4	75.0
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	98.1	77.9
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	97.7	77.1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	97.1	76.3
试验结果 Test results	A	B	(A×B) ₁	(A×B) ₂	C	(A×C) ₁	(A×C) ₂	(B×C) ₁	(B×C) ₂	100%减伤薯 率的总和/% The sum of 100% minus injury rate	土壤分离 率的总和/% The sum of soil separation rate
K ₁	875.8	877.1	877.7	879.2	882.8	878.4	878.2	877.6	877.7	2633.2	2071.8
K ₂	874.9	882.3	876.4	877.4	875.3	877.6	876.9	878.4	877.2		
K ₃	882.5	873.8	879.1	876.6	875.1	877.2	878.1	877.2	878.3		
k ₁	97.31	97.46	97.52	97.69	98.09	97.60	97.58	97.51	97.52		
k ₂	97.21	98.03	97.38	97.49	97.26	97.51	97.43	97.60	97.47		
k ₃	98.06	97.09	97.68	97.40	97.23	97.47	97.57	97.47	97.59		
R	0.85	0.94	0.30	0.29	0.86	0.13	0.15	0.13	0.12		
S	3.8	4.05	0.37	0.36	4.25	0.05	0.08	0.05	0.04		
K ₁	702.4	687.6	692.0	692.1	701.2	690.8	692.3	690.8	690.0		
K ₂	687.2	683.3	690.5	690.4	684.1	690.9	691.0	690.1	688.6		
K ₃	682.2	700.9	689.3	689.3	686.5	690.1	688.5	690.9	693.2		
k ₁	78.04	76.40	76.89	77.57	77.91	76.76	76.92	76.76	76.67		
k ₂	76.36	75.92	76.72	76.71	76.01	76.77	76.78	76.68	76.51		
k ₃	75.80	77.88	76.59	76.59	76.28	76.68	76.50	76.77	77.02		
R	2.24	1.96	0.30	0.98	1.90	0.09	0.42	0.09	0.51		
S	24.6	18.7	0.41	0.44	19.1	0.04	0.83	0.04	1.24		

表 3 交互效应
Table 3 Mutual effect table

因素 B Factor B	因素 A Factor A		
	水平 1 Level 1	水平 2 Level 2	水平 3 Level 3
水平 1 Level 1	3.7	2.3	3.5
水平 2 Level 2	3.3	3.0	1.1
水平 3 Level 3	2.6	1.7	2.7

从表 4 中的 F 值与临界值比较得出,因素 A、B、C 对伤薯率与土壤分离率的影响都是高度显著的,只有交互作用 $A \times C$ 对伤薯率的影响是显著的,

表 4 试验数据的方差分析表
Table 4 Variance analysis on the test data

试验指标 Test index	方差来源 Source of variance	离差平方和 Sum of squares	自由度 DOF	平均离差平方和 The average sum of square	F 值 F value	临界值 Thresholds	显著性 Significance
100% 减伤薯率/ 100% minus injury rate	A	3.80	2	1.900	24.52		**
	B	4.05	2	2.025	26.13	$F_{0.05}(2,8) = 4.46$	**
	C	4.20	2	2.100	27.10	$F_{0.05}(4,8) = 3.84$	**
	$A \times B$	0.73	4	0.1825	2.35	$F_{0.01}(2,8) = 8.65$	
	$A \times C$	0.13	4	0.325	4.19	$F_{0.01}(4,8) = 7.01$	*
	$B \times C$	0.09	4	0.0225	0.29		
	误差 Error	0.62	8	0.0775			
	总和 Sum	13.62	26				
土壤分 离率/% Soil separation rate	A	24.60	2	12.30	33.24		**
	B	18.71	2	9.355	25.28	$F_{0.05}(2,8) = 4.46$	**
	C	19.05	2	9.525	25.74	$F_{0.05}(4,8) = 3.84$	**
	$A \times B$	0.850	4	0.213	0.580	$F_{0.01}(2,8) = 8.65$	
	$A \times C$	0.870	4	0.218	0.590	$F_{0.01}(4,8) = 7.01$	
	$B \times C$	1.280	4	0.320	0.860		
	误差 Error	2.96	8	0.37			
	总和 Sum	68.32	26				

4 结 论

1) 由表 2 中的极差 R 可以推断,影响伤薯率的因素主次顺序为升运链线速、升运链倾角、抖动轮振幅。进行全面试验后,结果表明使伤薯率最佳的组合参数为抖动轮振幅 10 mm、升运链线速 $1.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、升运链倾角 21° 。该试验条件下,伤薯率 $\leq 4\%$ 。

2) 由表 2 中的极差 R 可以推断,影响土壤分离率的因素主次顺序为抖动轮振幅、升运链线速、升运链倾角。进行全面试验后,结果表明使土壤分离率最佳的组合参数为抖动轮振幅 8 mm、升运链线速 $1.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、升运链倾角 21° 。该试验条件下,土壤分离率 $> 70\%$ 。

但 $A \times C$ 占两列,直观分析法很难判断,因此可把图 3 中各指标变化情况对照起来分析。100% 减伤薯率越大意味着伤薯率越小。从图 3 可以看出,对 100% 减伤薯率来讲,抖动轮振幅(因素 A)在第三水平时位于最高点,即伤薯率最小。同样地,升运链倾角(因素 C)在第一水平时 100% 减伤薯率最高。综上所述,平衡各指标重要性,得到较好的参数组合为 A_3 (抖动轮振幅取第三水平 10 mm)、 B_2 (升运链线速度取第二水平 $1.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)、 C_1 (升运链倾角取第一水平 21°)。

3) 输送分离部件性能影响整机的工作性能,部件各参数的优化设计可在提高土薯分离效果的同时降低伤薯率。进行正交试验设计后,将稳定工作下的数据整理划分,确定部件参数。数据分析表明,抖动轮振幅为 10 mm、升运链线速度为 $1.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、升运链倾角为 21° 时为最佳工作参数,马铃薯挖掘机的伤薯率 $\leq 4\%$ 。土壤分离率在 73% ~ 81%。

4) 输送分离部件在工作状态下运动时,整机运行平稳,提高了分离效率的同时可有效减少块茎损伤,试验表明,伤薯率和土壤分离率符合相关标准规定。

参 考 文 献:

[1] Chris Bishop, Bill Maunder. Potato mechanization and storage[M].

- England: Farming Press Limited, 1980.
- [2] Bentini M, Caprara C, Martelli R. Harvesting damage to potato tubers by analysis of impacts recorded with an instrumented sphere [J]. *Biosystems Engineering*, 2006, 94(1):75-85.
- [3] Poul E L. Prediction of susceptibility of potato tubers to internal bruising by using a pendulum-mounted accelerometer [J]. *Potato Research*, 1985, 28(3):285-294.
- [4] Brierley E R, Cobb A H. Biochemical aspects of bruising in stored tubers [J]. *Proceedings of the 13'th Triennial Conference of the European Association for Potato Research*, 1996:152-153.
- [5] 赵 硕,张东兴,冯伟伟. 破解马铃薯收获机薯土分离难题 [J]. *农机科技推广*, 2008, (4):34-35.
- [6] 刘 宝,张东兴,李 晶. MZPH-820 型单行马铃薯收获机设计 [J]. *农业机械学报*, 2009, 40(5):81-86.
- [7] 贾晶霞,张东兴,郝新明,等. 基于计算机模拟的马铃薯挖掘铲参数优化与试验分析 [J]. *中国农业大学学报*, 2005, 10(5):32-35.
- [8] 孟 维,孟 利. 小型马铃薯挖掘机的设计与试验研究 [J]. *北京农业*, 2012, (5):205.
- [9] 赵满全,赵士杰,余大庆,等. 组合分离式马铃薯挖掘机设计与研究 [J]. *农机化研究*, 2007, (4):69-72.
- [10] 刘俊峰,杨 欣,马跃进,等. 4U-1A 型马铃薯收获机的设计 [J]. *农业机械学报*, 2004, 35(2):181-186.
- [11] 吕金庆,李世柱,李国民,等. 马铃薯挖掘机升运器的设计研究 [J]. *农机化研究*, 2004(4):108-111.
- [12] 张 建,魏宏安. 4M-2 型马铃薯联合收获机薯土分离运动仿真 [J]. *甘肃农业大学学报*, 2009, 44(3):153-157.
- [13] 朱维才,崔 刚,李伟明,等. 马铃薯种植机械研究 [J]. *农业技术装备*, 2008, (8):26-27.
- [14] 桑永英,张东兴,贾晶霞,等. 马铃薯联合收获机输送臂系统的运动防撞仿真 [J]. *农业机械学报*, 2007, 38(11):52-55.
- [15] 桑永英,张东兴. 马铃薯联合收获机输送臂的建模与运动仿真 [J]. *农业机械学报*, 2007, 38(1):198-200.
- [16] 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.
- [17] 王福义. 4U-2 型马铃薯收获机被动式抖动轮结构形式探讨 [J]. *农业科技与装备*, 2011, (6):61-62.
- [18] 刘聚才. 甘肃马铃薯产业机械化发展的几点思考 [J]. *机械研究与应用*, 2007, 20(5):6-23.
- [19] 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, 1972.
- [20] 吴建民,李 辉,孙 伟,等. 拨指轮式马铃薯挖掘机设计与试验 [J]. *农业机械学报*, 2010, 41(12):76-79.
- [21] 杨世成,安宏宇. 马铃薯收获机设计试验研究 [J]. *农机化研究*, 2007, (11):161-163.
- [22] 陈 魁. *试验设计与分析* [M]. 北京:清华大学出版社, 1996, 399.
- [23] 吴建民,李 辉,孙 伟,等. 拨指轮式马铃薯挖掘机试验 [J]. *农业工程学报*, 2011, 27(7):173-177.

(上接第 251 页)

参 考 文 献:

- [1] 闫典明,康清华. 全膜覆土穴播技术的优势 [J]. *农业技术与装备*, 2011, (7):46-47.
- [2] 李 福. *农技推广实践与创新* [M]. 兰州:甘肃科学技术出版社, 2011.
- [3] 李宝筏. *农业机械学* [M]. 北京:中国农业出版社, 2003.
- [4] 史增录,赵武云,马海军,等. 全膜双垄沟播起垄施肥铺膜机的研制 [J]. *干旱地区农业研究*, 2012, 30(2):169-174.
- [5] 刘庆福,栾光辉. 垄上镇压式玉米精密播种机保墒抗旱播种试验 [J]. *农业机械学报*, 2007, 38(4):197-198.
- [6] 杨善东,杜瑞成. 多功能小麦覆膜穴播机的设计 [J]. *农机化研究*, 2007, (9):89-90.
- [7] 邵 博,白利杰,康清华. 小麦全膜覆土穴播技术的规程 [J]. *农业技术与装备*, 2011, (7):52-53.
- [8] 甘肃洮河拖拉机制造有限公司. 履带式定量土壤输送土块自动清理机构:中国, CN102656967A [P]. 2012-09-12.
- [9] 南京农业大学. *农业机械学* [M]. 北京:中国农业出版社, 1996.
- [10] 赵武云,刘艳妍,吴建民,等. *ADAMS 基础与应用实例教程* [M]. 北京:清华大学出版社, 2012.
- [11] 马 旭,马成林,张守勤. 地膜覆盖播种机成穴器的研究 [J]. *农业机械学报*, 1989, (4):20-27.
- [12] 张松根,王达保,吉华军,等. 拖拉机的合理选择和科学配置 [J]. *农业装备技术*, 2011, 37(2):56-57.
- [13] 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.
- [14] 陆 欣. *土壤肥科学* [M]. 北京:中国农业大学出版社, 2002.
- [15] 张家励,傅潍坊,马 虹. 土壤压实特性及其在农业生产中的应用 [J]. *农业工程学报*, 1995, 11(2):17-20.