

# 马铃薯挖掘与残膜回收联合作业机的研制与试验

李勇, 赵武云, 戴飞, 石林榕, 郭笑欢

(甘肃农业大学工学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:**为解决马铃薯收获后的残膜回收问题,研制了一种用于马铃薯挖掘和残膜回收的联合作业机。马铃薯挖掘机采用成熟机型 4U-83 型马铃薯收获机,残膜回收机采用曲柄滑块扒膜装置和圆筒式收膜与卸膜装置。通过计算确定了曲柄滑块扒膜装置和圆筒式收膜与卸膜装置的关键参数,改进了起膜铲的形状和参数,在降低伤薯率的同时提高了起膜和收膜的效果。田间试验表明:该机挖掘和输运流畅,分离效果显著,残膜能连续性地被卷膜筒卷起,卸膜方便可靠,伤薯率为 4.4%,明薯率为 96.4%,残膜回收率为 89.3%、脱膜率为 98.1%,均可达到技术规范设计要求。联合作业机与马铃薯收获机单独作业相比,明薯率和损伤率无明显差距。

**关键词:** 马铃薯;挖掘;地膜;回收;联合作业机

中图分类号: S223.5 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2016)01-0102-06

## Development and experiment of combined operation machine for potato harvesting and plastic film collecting

Li Yong, Zhao Wuyun, Dai Fei, Shi Linrong, Guo Xiaohuan

(School of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of collecting the residue of plastic film after potato harvesting, a combined machine was developed to dig potato and collect the residue of plastic film simultaneously. Based on the 4U-83 potato harvester, a crank-rocker mechanism was designed to strip the residue of plastic film and a cylinder device to collect and unload the residue of plastic film. The key parameters were calculated and determined for both of the devices. The shape and parameter of the shovel was improved to reduce the damage rate of potato and the efficiency of lifting and collecting the residue of plastic film. Field test showed that potato digger performed smoothly in digging and transporting with efficient separation. The plastic film can be rolled up continuously and reliably unloaded in convenient. The damage rate was 4.4% with the obvious rate of 96.4%. The recovery rate of the residual film was 89.3% with the film release rate of 98.1%. All of the parameters reached the requirements of technical specifications for design. The combined machine with digging and collecting functions achieved the same performance as the original potato harvester.

**Keywords:** potato; digging; plastic film; recovery; combined machine

随着地膜覆盖种植技术的推广,塑料薄膜的使用量迅速增加并逐年增长<sup>[1-3]</sup>。由于使用后的地膜难以完整回收,大部分残膜被翻入土壤,逐年累加,造成土地严重污染。有资料表明,连续 3 年没有清理残膜的马铃薯地块,产量下降 7%~13%。目前,残膜回收机具的推广应用并不尽如人意,究其原因,一是专用残膜回收机价格较高,二是有些残膜

回收机具本身存在缺陷,比如结构复杂、可靠性低或者调整使用不方便等,收膜和卸膜困难的问题尤为突出。甘肃省作为马铃薯种植大省,研制推广先进适用的残膜回收机械迫在眉睫<sup>[4-8]</sup>。现今残膜回收机具仍以收膜功能为主,使用效率和收膜的经济效益低,很难为农户所接受,为此,研发在残膜回收的同时完成马铃薯挖掘联合作业装备,能降低作

收稿日期: 2015-10-07

修回日期: 2015-12-18

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项经费项目(201503105); 甘肃省科技重大专项(143NKDJ018)

作者简介: 李勇(1987—),男,湖南郴州人,硕士研究生,主要从事农业工程技术与装备研究,871231374@qq.com; \*通信作者,赵武云,博士,教授,主要从事农业工程技术与装备研究, zhaowuy@gsau.edu.cn

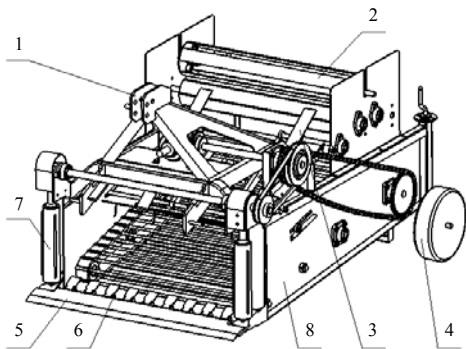
业费用、减少拖拉机的作业次数和减轻对土壤的压实，提高综合效益，有较好的推广应用前景<sup>[6-9]</sup>。

笔者针对现有马铃薯挖掘机作业时存在的残膜回收问题，设计了一种与现有成熟机型 4U-83 型马铃薯收获机相适应的残膜回收机，两者组合成一种适合西北旱作农业区垄作种植的马铃薯挖掘和残膜回收联合作业机，设计确定了残膜回收机的搂膜装置和起膜装置的关键参数，并进行了田间试验。该机具有挖掘和输运流畅、分离效果明显、明薯率高、伤薯率低、残膜回收率和脱膜率高等特点，明薯率和伤薯率较马铃薯挖掘机单独作业无明显差别，现将结果报道如下。

## 1 整机结构与工作原理

### 1.1 整机结构

马铃薯挖掘和残膜回收联合作业机由 2 部分组成，马铃薯挖掘机采用成熟机型 4U-83 型马铃薯收获机，主要由悬挂装置、挖掘装置、防缠绕装置、限深装置、输送装置、机架组成；残膜回收机主要由搂膜装置、卷膜装置构成，其结构如图 1 所示。



1 悬挂装置；2 卷膜装置；3 搂膜装置；4 限深装置；  
5 挖掘装置；6 输送装置；7 防缠绕装置；8 机架。

图 1 马铃薯挖掘与残膜回收联合作业机的结构

Fig.1 Structure of the machine combining digging potato with collecting plastic film residue

### 1.2 工作原理

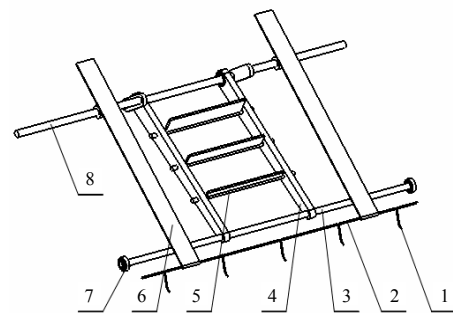
作业时，联合作业机在拖拉机的拖(驱)动下，马铃薯与土壤一起被挖掘铲铲起；随着机具的前行，马铃薯和土壤被推送至输送装置上；到达起膜铲处时，由于搂膜装置与输送装置存在一定高度差，且起膜铲间距足够大，土薯混合物从搂膜装置的下方继续推送上行，传动装置在运行中，因不断转动而有序抖动；输送装置上的马铃薯在随输送链

向上运动的同时，其上的泥块由于输送链的抖动而被不断清除；马铃薯运动至链高端后铺放在已收区地面上，同时地膜被起膜铲抬升至搂膜装置的固定板下端，当曲柄滑块机构的移动杆旋转至固定板上端时，地膜在移动杆的带动下被抬升，当曲柄滑块机构的移动杆旋转至固定板下端时，地膜停留在固定板上等待下一次的抬升，在地膜被抬升到卷膜装置过程中，地膜在固定板与移动杆之间一直作间歇抬升运动，直到被抬升到卷膜机构；当地膜到达主动滚筒时，在主动滚筒旋转作用下，地膜被卷入主动滚筒与卷膜筒之间，同时卷膜筒通过与主从动滚筒的摩擦力带动一起旋转，地膜被卷膜筒不断卷起；当地膜收集完以后，通过使卷膜筒的直径变小(直径的变化量大于地膜的变形量)，从而使整卷地膜能够顺利地被卸下。

## 2 残膜回收机主要部件设计及参数确定

### 2.1 搂膜装置

搂膜装置主要由起膜机构和扒膜机构组成，其中起膜机构由起膜铲和起膜铲轴组成，扒膜机构由移动轴、转动杆、固定板、曲柄轴组成，其结构如图 2 所示。



1 起膜铲；2 起膜铲轴；3 移动轴；4 活动杆；  
5 刮膜板；6 固定板；7 轴承；8 曲柄轴。

图 2 搂膜装置的结构

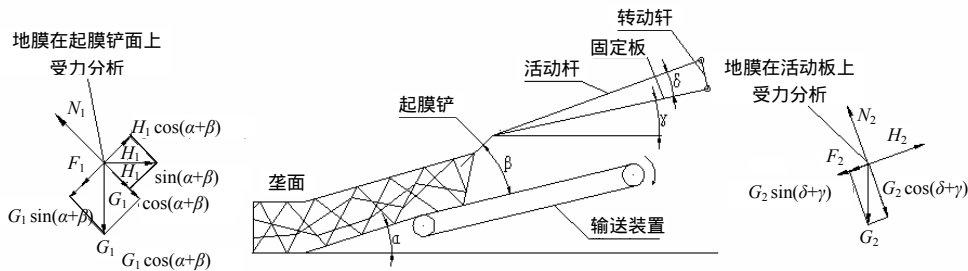
Fig.2 Structure of the hug membrane device

曲柄滑块机构上部的曲柄轴与卷膜机构连接，套在曲柄轴上的固定板与主动滚筒相切，曲柄机构中部的活动杆随着曲柄轴作圆周运动，带动地膜向上运动，曲柄机构下部移动轴在马铃薯挖掘机外侧轨道上作直线运动，固定板下部与起膜铲轴连接，而起膜铲轴固定在马铃薯挖掘机内侧板上。

2.1.1 起膜装置的设计

起膜装置的功能是使地膜与土薯混合物分离，将地膜抬升到固定板上。据试验，起膜铲与马铃薯挖掘机上输送装置表面的夹角  $\beta$  和起膜铲的长度  $L$  与马铃薯挖掘机作业速度有密切关系，在地膜性能一定的情况下，输送装置转速越快， $L$  越长， $\beta$  越

大，但输送装置转速范围是确定的，为了使地膜顺利到达固定板上， $L$  和  $\beta$  对捡拾机的工作性能至关重要。对起膜过程进行受力分析(图3)，结果表明，要使地膜沿搂膜装置上行到主动滚筒，必须满足平衡方程式：



$\alpha$  为挖掘装置的入土铲与地面的夹角； $\beta$  为起膜铲与输送装置表面的夹角； $\gamma$  为固定板与地面的夹角； $\delta$  为活动杆与固定板的最大夹角； $F_1$  为起膜铲面对地膜的摩擦力； $F_2$  为活动杆对地膜的摩擦力； $H_1$  为沿入土铲面移动掘起物所需的力； $H_2$  为活动杆面带动地膜向上移动所需的力； $G_1$ 、 $G_2$  分别为地膜在起膜铲面活动杆上的重力； $N_1$ 、 $N_2$  分别为起膜铲面，活动杆面对土薯掘起物的反作用力。

图3 地膜的受力分析

Fig.3 Analysis of forces acting on the film

$$\begin{cases} F_1 + G_1 \sin(\alpha + \beta) - H_1 \cos(\alpha + \beta) = 0 \\ G_1 \cos(\alpha + \beta) + H_1 \sin(\alpha + \beta) - N_1 = 0 \\ F_1 = \mu N_1 \\ \mu = \tan \varphi \end{cases} \quad (1)$$

综合上式得：

$$\beta = \arctan\left(\frac{H_1 - \mu G_1}{\mu H_1 + G_1}\right) - \alpha \quad (2)$$

$$H_1 = G_1 \tan(\alpha + \varphi) \quad (3)$$

$\beta$  越大，虽入土性能好，有利于捡拾深层地膜，但废膜上行困难和起膜铲工作阻力增大； $\beta$  过小，影响入土深度和起膜率<sup>[10]</sup>。由式(2)和式(3)有  $\alpha + \beta = 37.6^\circ$ ，取  $\alpha = 18^\circ$ ，则  $\beta$  的取值范围为  $0^\circ \sim 19.6^\circ$ 。最终考虑作业速度(1.5 km/h)及计算值，取  $\beta = 16^\circ$ 。

起膜铲的长度主要应保证其有足够的入土深度，能将及垄面以下 10 cm 内的废膜梳理出来<sup>[10-11]</sup>，同时还应保证曲柄机构的移动轴有足够的高度，以避免伤薯。结合起膜角综合考虑，取起膜铲的长度  $L = 180$  mm；为了使马铃薯顺利通过以及减少伤薯率，起膜铲材料采用直径为 6 mm 的塑料棒，间距为 250 mm。

2.1.2 扒膜装置的设计

扒膜装置的功能及设计 requirements 是：卷膜之前，将

起膜装置抬升到固定板上的地膜输送至残膜回收装置上；地膜被卷膜筒卷起后，刮除根茬和附着的土壤，保证后续地膜的顺利回收。

工作时，地膜被起膜装置抬升至固定板下端，曲柄轴旋转带动移动杆转动，当移动杆处于固定板下方时，地膜静止于固定板上，当移动杆处于固定板上方时，移动杆带动地膜向上运动，地膜间歇式向上运动到地膜回收装置上。分析地膜处于固定杆上和移动杆上是否会滑落，可确定固定板的倾斜角度和移动杆的最大倾斜角度。要使地膜沿搂膜装置上行到主动滚筒，必须满足平衡方程式：

$$\begin{cases} F_2 + G_2 \sin(\gamma + \delta) - H_2 = 0 \\ G_2 \cos(\gamma + \delta) - N_2 = 0 \\ F_2 = \mu N_2 \\ \mu = \tan \varphi \end{cases} \quad (4)$$

综合上式得：

$$\delta = \arccos\left(\frac{H_2}{G_2 \sqrt{\mu^2 + 1}}\right) - \gamma + \arccos\left(\frac{\mu}{\sqrt{\mu^2 + 1}}\right) \quad (5)$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{\mu}{\mu^2 + 1}\right) \quad (6)$$

固定板倾斜角  $\gamma$  的确定，以地膜不回翻滚落为条件，若  $\gamma$  值超过理论值，则地膜沿固定板回翻滚落。为了使马铃薯地膜不回翻滚落，粘附于地膜上

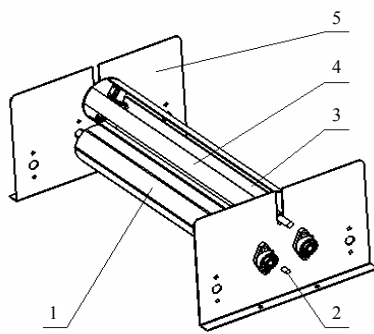
的土壤与固定板之间的摩擦角应小于理论值，而土壤对钢的摩擦角取  $30^\circ$ <sup>[12-13]</sup>，故  $\gamma$  应小于  $30^\circ$ 。结合试验综合考虑，取  $\gamma$  为  $20^\circ$ 。

倾斜角  $\delta$  的确定对扒膜与抛膜产生较大的影响， $\delta$  过大，拔膜时可能脱落，抛膜时动能太大，影响卷膜效果； $\delta$  过小，拔膜时地膜向上直线运动较慢，导致起膜铲处地膜堆积，影响起膜效果。由式(5)和式(6)得  $\gamma + \delta = 38.5^\circ$ ，由于  $\gamma = 20^\circ$ ，因此， $\delta$  的取值范围为  $0^\circ \sim 18^\circ$ ，结合田间试验综合考虑，取  $\delta$  为  $15^\circ$ 。

### 2.2 卷膜与卸膜装置

#### 2.2.1 结构及原理

圆筒式卷膜与卸膜装置主要由主动滚筒、从动滚筒、卷膜筒、侧板、连接杆组成，结构如图 4 所示。



1 主动滚筒；2 连接杆；3 从动滚筒；4 卷膜筒；5 侧板。

图 4 圆筒式卷膜与卸膜装置的结构

Fig.4 Structure of the cylinder type of collecting and unloading film device

主动滚筒与从动滚筒处于卷膜筒同一水平处，且与卷膜筒相切，由于栅条与主动滚筒相切，当地膜到达主动滚筒时，主动滚筒带动卷膜筒和地膜旋转，同时通过链带带动从动滚筒同向旋转，从动滚筒也带动卷膜筒旋转。

#### 2.2.2 卷膜筒的设计

卷膜筒主要由轴、固定轴端盖、活动轴端盖、活动卷膜板、连接板组成。卷膜时，卷膜筒直径最大，连接板处于轴径方向，通过卷膜筒与主从动滚筒的相互作用带动卷膜筒卷膜；脱膜时，卷膜筒直径最小，连接板处于轴线方向，在重力的作用下，整卷膜顺利地脱下。卷膜和脱膜结构如图 5 所示。

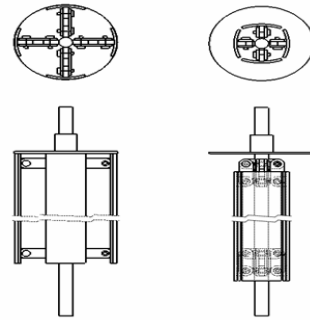


图 5 卷膜和卸膜状态

Fig.5 State of collecting and unloading plastic film residue

1) 卷膜筒转速的确定。卷膜筒的转速过高，会使地膜撕裂，不能保证卷膜的连续性；卷膜筒的转速过低，地膜堆积在卷膜筒与主动滚筒之间，引起卷膜不均匀，使得卷膜筒受力不均匀，左右不平衡，严重影响卷膜量和卷膜效果。经试验得知，卷膜筒外径的线速度与马铃薯的作业速度越接近，卷膜的连续性越好，地膜在卷膜筒缠绕的更均匀，脱膜更容易，因此，两者应相等。同时，考虑到卷膜方便、卷膜后由于地膜挤压而引起活动板凹陷现象以及内部销轴安装方便，故选型材空心管直径为 150 mm。卷膜筒的转速由  $n = \frac{v}{\pi d}$  确定， $n = 53 \text{ rad/s}$ 。

2) 卷膜筒中活动平行四边形机构尺寸的确定。平行四边形机构由固定在轴上的支撑点通过两端连接板与活动板连接而成<sup>[14-17]</sup>。卷膜过程中，活动板发生弹性弯曲变形，中间点的挠度最大，其受力如图 6 所示。

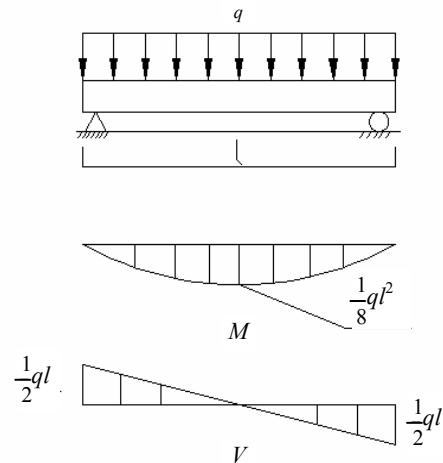


图 6 平行四边形机构受力分析

Fig.6 Stress analysis of parallelogram mechanism

查《机械设计手册》<sup>[13]</sup>, 整理得

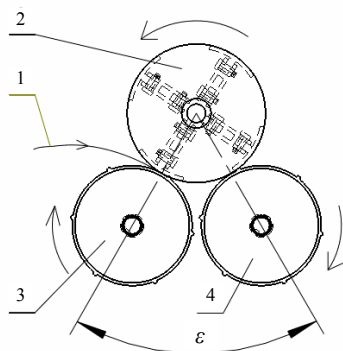
$$A_{\max} = \frac{5}{384} \frac{WL^4}{E \left( \frac{R^4 - r^4}{8} \right) \left( \frac{\pi\eta}{90^\circ} + \sin 2\eta \right)} \quad (7)$$

式中:  $A_{\max}$  为活动板中间点的最大挠度(mm);  $W$  为施加在活动板上的载荷(N);  $L$  为活动板长度(mm);  $E$  为活动板的弹性模量(Gpa);  $R$  为活动板的外径(mm);  $r$  为活动板的内径(mm);  $\eta$  为活动板弧长所对应的角度( $^\circ$ ).

由上式综合可知, 在其他参数一定的情况下, 活动板挠度随  $\eta$  的增大而变小 随  $\eta$  的减小而增大; 经试验证实,  $\eta$  越大, 挠度越小, 有利于脱膜, 但是卷膜筒在卷膜开始时越难卷起膜, 从而影响整个卷膜;  $\eta$  越小, 挠度越大, 弯曲变形越大, 地膜越难脱下。试验证明,  $\eta$  在  $17^\circ \sim 28^\circ$ , 整体性能较为合理, 考虑到加工、安装、结构等因素, 取  $\eta=22.5^\circ$ , 活动板弧长由  $S = \pi d \frac{\eta}{180^\circ}$  得  $S=58.88$  mm, 取整得  $S=60$  mm。

### 2.2.3 主从动滚筒的设计

主从动滚筒将扒膜机构抬升上来的地膜送入卷膜筒上, 通过与卷膜筒之间的摩擦力带动卷膜筒转动, 从而完成卷膜作业。由卷膜侧视分析图(图 7)可知, 由于卷膜筒上的活动板均匀间隔分布, 卷膜筒在圆周上存在空缺, 可能发生主从动滚筒与卷膜筒卡死现象, 为了避免此类现象, 必须选择合适的主从动滚筒与卷膜筒之间的夹角  $\varepsilon$  以及主从动滚筒直径。已知  $\theta=45^\circ$ , 当  $\varepsilon < 45^\circ$  时, 主从动滚筒总有一个与卷膜筒接触, 即可行; 主从动滚筒直径过大, 角度变大, 两者之间接触点较远, 导致地膜无法到达从动滚筒, 从而使卷膜筒无法卷起地膜; 主从动



1 地膜; 2 卷膜筒; 3 主动滚筒; 4 从动滚筒。

图 7 卷膜侧视分析图

Fig.7 Analysis diagram of rolling up plastic film residue

滚筒直径过小, 角度过小, 出现卡死现象。结合这两个影响因素、田间试验及加工工艺等综合考虑, 主从动滚筒直径都为 150 mm,  $\varepsilon=65^\circ$ 。

## 3 田间试验

### 3.1 试验条件

田间试验在甘肃省洮河拖拉机制造有限公司进行。试验田块地势平坦, 土壤为黄绵土, 土壤含水率为 16.2%~18.4%, 马铃薯品种为‘定薯 1 号’。马铃薯种植采用大垄双行覆膜方式。垄高 15~20 cm, 垄宽 60~70 cm; 行距 20~25 cm, 株距 25 cm; 地膜为黑膜, 幅宽 150 cm, 厚度 0.008 mm。

### 3.2 试验方法

依据 NY / T 648—2002《马铃薯收获机作业质量评价技术规范》<sup>[19]</sup>和 GB/T 25412—2010《残地膜回收机》<sup>[20-21]</sup>, 对马铃薯收获与残膜回收联合作业机进行试验。试验动力为东方红-300 型拖拉机, 功率 22.1 kW, 前进行驶的速度为 1.5 km/h<sup>[17-18]</sup>。

选取 2 块长度为 100 m、幅宽 0.6 m 的试验地, 分别作联合作业机和马铃薯挖掘机的对比试验。在试验地长度方向每隔 10 m 取 0.6 m×10 m 区域共 10 组进行试验, 记录相关数据, 结果取 10 次试验的平均值。联合作业机测试计算明薯率、伤薯率、残膜回收率和脱膜率, 马铃薯挖掘机测试计算明薯率和伤薯率。

### 3.3 试验结果

马铃薯挖掘与残膜回收联合作业机作业的明薯率为 96.4%, 伤薯率为 4.4%, 残膜回收率为 89.3%, 脱膜率为 98.1%; 马铃薯挖掘机单独作业的明薯率为 96.6%, 伤薯率为 4.38%。对比可知, 联合作业机和马铃薯挖掘机的明薯率和伤薯率接近, 且都满足马铃薯收获作业技术要求, 即残膜捡拾机构对马铃薯收获机构的工作性能影响甚微; 残膜回收率和脱膜率都满足残膜回收机作业质量评价技术规范。

联合作业机作业时, 牵引拖拉机行走流畅, 收获机运动机构运行稳定, 土薯分离顺畅, 浮薯效果明显, 未发生壅土现象; 地膜能连续被卷膜筒卷起; 卸膜方便可靠; 脱膜效果良好。联合作业机对田间风化的小片残膜回收时仍存在一定困难, 影响了残

膜回收率。

#### 参考文献:

- [1] 杨祁峰, 刘广才, 熊春蓉, 等. 旱地玉米全膜双垄沟播技术的水分高效利用机理研究[J]. 农业现代化研究, 2010, 31(1): 113-116.
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 2011 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.
- [3] 侯书林, 胡三媛, 孔建铭, 等. 国内残膜回收机研究的现状[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 186-190.
- [4] 刘广才, 杨祁峰, 段襁全, 等. 甘肃发展旱地全膜双垄沟播技术的主要模式[J]. 农业现代化研究, 2008, 29(5): 629-632.
- [5] 张振军. 早熟马铃薯半膜垄作栽培技术及增效机理[J]. 甘肃农业, 2010(11): 81-83.
- [6] Yang Jie, Zhao Wuyun, Dai Fei. Design and test of double row dibbling wheel precise seeder for membrane covering the whole of double furrow planting corn[J]. Advanced Materials Research, 2014, 377: 850-851.
- [7] 张东兴. 残膜回收机的设计[J]. 中国农业大学学报, 1999, 4(6): 41-43.
- [8] 赵海军, 史建新. 残膜回收工艺探讨[J]. 中国农机化, 2004, 16(6): 68-71.
- [9] 赵武云, 戴飞, 杨杰, 等. 玉米全膜双垄沟直插式精量穴播机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2013, 44(11): 91-97.
- [10] 石林榕, 吴建民, 赵武云, 等. 圆盘栅式马铃薯挖掘机的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(24): 15-21.
- [11] 王吉奎, 付威, 王卫兵, 等. SMS-1500 型秸秆粉碎与残膜回收机的设计[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 168-172.
- [12] 孙松林. 小型水稻联合收获机的性能分析与发展探讨[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 1995, 21(6): 603-606.
- [13] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册(上册)[K]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [14] 董丽梅, 吴建民. 鸭嘴式穴播器活动门凸轮——平面四杆式开启机构的研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2009, 44(6): 153-156.
- [15] 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.
- [16] W A 纳什. 材料力学[M]. 赵志岗译. 北京: 科学出版社, 2002.
- [17] 北京农业机械化学院. 农业机械学: 上册[M]. 北京: 农业出版社, 1981.
- [18] B/62008911—89 小四轮拖拉机配套播种铺膜机操作规程及作业质量验收标准[S].
- [19] NY/T648—2002 马铃薯收获机作业质量评价技术规范[S].
- [20] GB/T25412—2010 残地膜回收机作业质量评价技术规范[S].
- [21] GB13735—1992 聚乙烯吹塑农用地面覆盖薄膜[S].

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 吴志立