

链条导轨式地膜回收机的设计与试验

吕钊钦^{1,2}, 张磊¹, 张广玲¹, 刘树峰¹

(1. 山东农业大学机械与电子工程学院, 泰安 271018; 2. 山东省园艺机械与装备重点实验室, 泰安 271018)

摘要: 针对马铃薯等作物收获后的残膜所造成的“白色污染”难题, 改进现有残膜回收机存在的捡膜能力低、漏膜、膜土分离难、缠膜、卸膜不净等问题, 提出了一种链条导轨式地膜回收方案。链条上相邻两排错位排列的捡膜齿与起膜铲合理配置, 提高残膜捡拾率; 分列结构的地膜托板具有漏土功能, 较好实现膜土分离; 托板弹簧可实现捡膜齿与托板之间的间隙大小随捡膜输送量的多少而自动调整, 有效防止输送过程中的丢膜和堵塞现象, 保证残膜输送到集膜箱上方; 捡膜齿在环形导轨之间向后上方滑动到卸膜端时逐渐后缩至退出环形导轨而实现膜齿分离, 卸膜叶轮与卸膜导轨协调配合完成卸膜作业, 有效解决卸膜过程中不易脱膜和缠膜的难题; 起膜机构、捡膜机构和卸膜机构固联在固定架上, 通过角度调节杆来对固定架的角度进行调节实现松土起膜铲入土角度的要求。设计制作了捡膜、卸膜、集膜于一体的链条导轨式地膜回收机。试验结果表明: 机器能够一次完成松土起膜、残膜捡拾输送、卸膜和残膜收集作业, 马铃薯收获后的残膜捡拾回收率在92%以上。该设计较好解决了马铃薯地膜机械化回收难题, 并为其他作物地膜回收机械设计提供参考。

关键词: 农业机械; 农作物; 土壤; 地膜; 回收; 链条; 导轨; 托板

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.008

中图分类号: S223.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-18-0048-07

吕钊钦, 张磊, 张广玲, 刘树峰. 链条导轨式地膜回收机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(18): 48-54.

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.008 http://www.tcsae.org

Lü Zhaoqin, Zhang Lei, Zhang Guangling, Liu Shufeng. Design and test of chain guide rail-type plastic film collector[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(18): 48-54. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.008 http://www.tcsae.org

0 引言

地膜覆盖栽培技术的推广, 促进了农作物的增产和适作区的扩大, 在马铃薯、棉花等作物的生产种植中发挥了重要的作用^[1-2]。然而, 不重视残地膜回收造成了严重的土壤污染和环境污染。传统的人工收膜, 劳动强度大、生产率低, 收净率低, 因此, 推行机械化收膜已成为必然趋势^[3-7]。

国外地膜厚度大, 使用后仍然具有较高的韧性, 破损程度不高, 其收膜装置大部分采用松膜铲和卷膜滚联合作业, 回收后再加工利用^[8-11], 英国采用悬挂式机具进行收膜, 松土铲松土起膜后把地膜收卷到羊皮网或金属网上; 美国的地膜回收主要为 PLC 自动控制液压马达卷辊式, 对地膜的强度和韧性要求较高; 日本地膜厚、强度较大, 土壤疏松易揭膜, 普遍使用小型残地膜回收机械。目前国内地膜捡拾回收装置尚处在起步研发阶段, 从结构形式上来看, 主要有以下几种: 弹齿式收膜机械, 大多由地轮带动收膜弹齿工作, 残膜收净率较高, 该种机构很难实现残膜与杂草的有效分离^[12]。伸缩杆齿式收膜机

采用伸缩扒齿滚筒捡膜, 通过杆齿的伸缩来实现残膜的捡拾于卸膜^[13]。铲式起茬收膜机在起茬的同时将残膜一起铲起, 由输送带送入鼠笼式旋转滚筒中进行土茬分离, 收起的残膜与作物的根茬混在一起, 给残膜的再生利用带来一些困难^[14]。轮齿式收膜机依靠收膜轮与地面间的摩擦力来转动收膜, 适宜高粱和玉米等硬根茬类作物收获后的田间地膜回收, 在地膜破损不严重时收净率高, 且回收的残膜较为干净^[15-16]。密排弹齿残膜回收耙, 前后双排弹齿 100 根, 用于播种前残膜回收^[17]。气力式收膜机用于春播前整地后地表及耕层内残膜回收, 挑膜轮将残膜挑离地面至风机吸口处, 负压风流将膜吸入出风管道, 再吹入集膜网箱完成收膜, 但动力消耗大, 杂草与膜难以分离^[18-19]。

马铃薯的地膜回收多在秋收后进行, 马铃薯地膜回收主要存在以下难题: 收获之后残膜破损较为严重, 且许多残膜覆盖在土壤下, 捡膜过程中容易丢膜, 造成残膜漏捡, 漏膜现象严重, 残膜回收率低; 膜土分离难度大; 卸膜、脱膜困难。目前, 尚未有适合马铃薯残膜回收的机械。因此, 设计推广一种经济实用且适合马铃薯地膜回收机对实现残膜回收机械化、减少土地污染及保持马铃薯生产的可持续发展具有重要的意义。

1 总体结构与工作原理

1.1 田间地膜分布状况

目前, 依据农艺要求马铃薯播种后普遍在地膜上机

收稿日期: 2015-03-18 修订日期: 2015-08-03

基金项目: 山东省现代农业技术体系创新团队岗位专家资助项目 (SDAIT-10-011-10); 国家“十二五”科技支撑项目 (2012BAD11B04)。

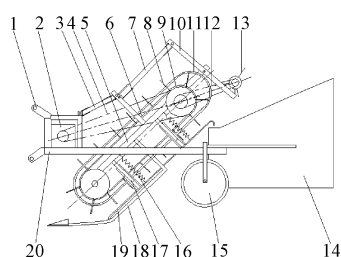
作者简介: 吕钊钦, 男 (汉族), 山东高密人, 教授, 博士生导师, 山东省现代农业生产技术体系创新团队薯类农业机械岗位专家。主要从事农业机械设计及理论研究。泰安 山东农业大学机械与电子工程学院, 271018。

Email: lzqsdu2003@126.com

械覆盖一层 2~3 cm 厚度土；收获时首先人工拔掉马铃薯秸秆，根茬残留很少，晾晒 5 d 左右再机械收获马铃薯。马铃薯收获后，埋在垄沟两边土壤中的残留地膜和沟垄上土层内的残膜受光照射与风化影响较小，这部分地膜的强度较高，呈大片残留于地表或埋于次地表层（深度 2~5 cm 左右）分布；少部地分地膜由于没有土壤覆盖暴露在阳光的强光照射下产生老化而破碎成大小不一的小残片。

1.2 总体结构

链条导轨式地膜回收机主要由捡膜输送机构、卸膜机构、集膜箱、起膜铲、变速箱、链传动和机架等组成，整机结构如图 1a 所示，图 1b 为样机照片。



a. 结构简图
a. Structure scheme



b. 实物图
b. Picture of real products

1.悬挂架 2.变速箱 3.角度调节杆 4.12.链条 5.固定架 6.送膜链条
7.叶轮支架调节杆 8.捡膜齿 9.密封罩 10.叶轮支架 11.卸膜导轨
13.叶轮 14.集膜箱 15.限深轮 16.托板弹簧 17.限位杆 18.托板
19.起膜铲 20.机架
1.Suspension bracket 2.Gearbox 3.Angle adjustment lever 4.12.Chain
5.Fixing bracket 6.Chain of film residue 7.Adjusting lever of impeller
8.Picking-up film tooth 9.Sealing cover 10.Impeller bracket
11.Depth rail of unloading film 13.Impeller 14.Box of collecting film
15.Depth wheel 16. Pallet spring 17.Limited lever 18. Pallet 19. Loosening
soil shovel 20.Frame

图 1 链条导轨式地膜回收机结构简图和实物图

Fig.1 Structure scheme and picture of real products of chain guide rail -type plastic film collector

1.3 工作原理

残膜回收机通过三点悬挂联接到四轮拖拉机上，通过万向节将拖拉机动力输出轴输入变速器，变速箱输出的动力经过链传动分别驱动捡膜机构（送膜链条、捡膜齿）和卸膜叶轮转动。工作时，拖拉机带动机具前进，松土铲将前方的土壤松动，残膜沿松土铲向上滑移而脱离土层，捡膜齿刺穿并挑起残膜，挑起的残膜沿托板向斜上方输送，到达集膜箱上方时残膜在卸膜导轨的作用下与捡膜齿脱离，卸膜叶轮立即将残膜刮刷送至集膜箱。

1.4 技术参数

表 1 为链条式残膜回收机的主要技术指标。

表 1 链条导轨式地膜回收机主要技术指标

Table 1 Main technical parameters of chain-type plastic film collector

项目 Item	参数 Parameter
整机尺寸(长×宽×高) Size of whole machine (length×width×height)/m	2.0×1.10×1.40
工作幅宽 Working width/m	0.90
配套动力 Mating power/kW	≥12.5(小型四轮拖拉机)
挂接方式 Suspension mode	后三点悬挂
机器质量 Machinery weight/kg	85
工作速度 Working speed/(km·h ⁻¹)	3~3.5
生产率 Productivity/(hm ² ·h ⁻¹)	0.3~0.5
残膜回收率 Collected rate /%	>90

2 主要零部件设计

2.1 捡膜输送机构

捡膜输送机构是链条导轨式地膜回收机的关键工作部件，主要由捡膜齿、送膜链条、送膜链轮、托板、托板弹簧等组成，作用是保证捡拾干净、不遗漏残膜，将捡拾的残膜输送到集膜箱上方；同时实现土块与残膜分离。

2.1.1 捡膜齿机构

捡膜齿成排固装在连接杆上，连接杆平行设置安装在两条送膜链条上，连接杆围有一层帆布密封罩，捡膜齿通过密封罩上的小孔露在密封罩外，密封罩可有效地防止残膜滑落到送膜链条内部而避免残膜堵塞现象。捡膜齿采用错位配齿排列，如图 2a 所示，土块通过捡膜齿之间的间隙滑落至地面。本设计中，同一排捡膜齿的间距为 150 mm，相邻捡膜齿连接杆距离为 200 mm，连接杆宽度为 900 mm。只有当捡膜齿末端运动轨迹为余摆线才能把地膜捡起向后输送，运动分析如图 2b 所示。

在 x 轴下方和输送链条与链轮相切点 A 的区间内捡膜齿末端的运动方程为：

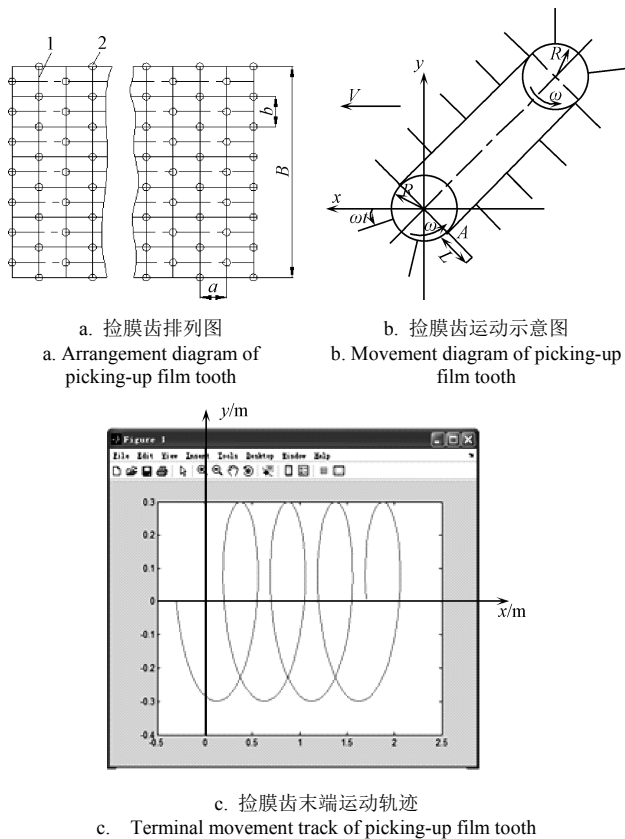
$$\begin{cases} x = vt - (R + L) \cos \omega \cdot t \\ y = -(R + L) \sin \omega \cdot t \end{cases} \quad (1)$$

式中： v 为机具前进速度，m/s，取 1.0； t 为机具前进时间，s； R 为送膜链轮半径，m，取 0.15； L 为捡膜齿长度，m，取 0.15； ω 为送膜链轮角速度，rad/s，取 4π （参考试验效果，送膜链轮转速取 120 r/min，据此可计算出送膜链轮角速度）。

通过 Matlab 软件模拟出捡膜齿末端运动轨迹曲线，如图 2c 所示。可以看出捡膜齿末端运动轨迹为余摆线，满足残膜捡起条件。

2.1.2 送膜托板机构

托板送膜机构主要由托板、托板弹簧等组成，如图 3 所示。作用是保证残膜向上输送过程中不漏丢。托板与捡膜齿垂直安装，托板弹簧的一端与固定架连接另一端与托板连接，残膜在捡膜齿、托板及托板弹簧的共同作用下向后上方输送。托板为分列结构，每列托板宽度为 30 mm，相邻两列托板之间的间距为 50 mm，具有较强的漏土能力。

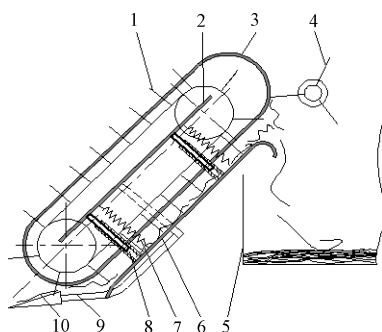


1. 连接杆 2. 捡膜齿
1. Joint lever 2. Picking-up film tooth

注: 图 2a 中, a 为相邻连接杆间距, mm; b 为同排捡膜齿间距, mm; B 为连接杆宽度, mm。图 2b 中, v 为机具前进速度, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; t 为机具前进时间, s; R 为送膜链轮半径, m; L 为捡膜齿长度, m; ω 为送膜链轮角速度, $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ 。Note: In Fig. 2a, a is the distance between adjacent joint lever, mm; b is the distance between picking-up film tooth at the same row, mm; B is width of joint lever, mm. In Fig. 2b, v is advancing velocity, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; t is advancing time, s; R is radius of chain wheel for film transmitting, m; L is length of picking-up film tooth, m; ω is angular velocity of chain wheel of film transmitting, $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

图 2 捡膜齿排列与捡膜原理示意图

Fig. 2 Diagram of picking-up film tooth arrangement and working principle



1. 捡膜齿 2. 固定架 3. 卸膜导轨 4. 卸膜叶轮 5. 集膜箱 6. 托板 7. 托板弹簧 8. 限位杆 9. 起膜铲 10. 残膜
1. Picking-up film tooth 2. Fixing bracket 3. Guide rail of unloading film 4. Impeller of unloading film 5. Box of collecting film 6. Pallet 7. Pallet spring 8. Limited lever 9. Loosening soil shovel 10. Plastic film residue

图 3 输送与卸膜原理示意图

Fig. 3 Diagram of transportation and unloading principle for film

2.2 卸膜机构

卸膜工作由固定在机架上的卸膜叶轮和卸膜导轨联合完成, 有效解决了卸膜过程中的缠膜或滞留堵塞难题。

卸膜过程采用独特的环形卸膜导轨结构, 如图 4 所示。捡膜齿在环形导轨之间 (两者之间有很小的间隙) 滑动, 残膜被隔离在环形导轨与托板之间随捡膜齿向后上方移动; 在卸膜端, 捡膜齿相对环形导轨逐渐后缩直至完全退出环形导轨而实现残膜与捡膜齿分离并留在卸膜导轨外侧, 卸膜叶轮立即将残膜刷送至集膜箱。卸膜导轨与捡膜齿接触部位使用软性材料, 并与充分接触, 以提高脱膜效果。

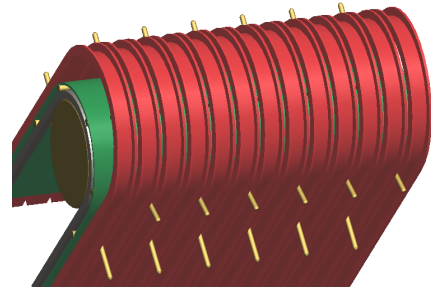


图 4 卸膜导轨示意图

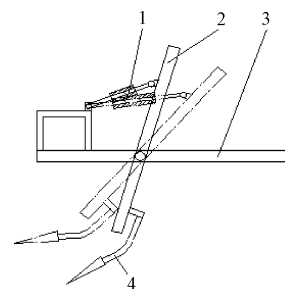
Fig. 4 Diagram of guide rail

卸膜叶轮采用毛刷式结构, 通过叶轮支架调节杆对叶轮位置上下调节, 以达到最佳卸膜效果。

2.3 起膜机构

起膜铲主要用于疏松板结在残膜上的土壤, 便于捡膜工作的顺利进行。要求松土铲具有很强的入土能力, 稳定的工作深度, 不抛土及不损坏地膜, 并有良好的脱草性能^[20-24]。本设计中, 铲尖呈三角形, 铲尖夹角 25° , 铲翼宽 50 mm, 相邻两铲的间距为 150 mm, 铲柄与固定架固联, 松土铲套接在铲柄上 (可进行入土深度调节), 并通过螺栓固定。入土角调整范围 $10^\circ\sim 38^\circ$, 入土深度调整范围 40~80 mm。

捡膜输送机构、卸膜机构、起膜铲用螺栓与固定架连为一个独立体, 固定架通过支撑铰和带有螺纹的角度调整拉杆与机架铰接连接; 通过改变角度调整拉杆长度实现起膜铲入土角度, 如图 5 所示。同一连接杆上的每个捡膜齿分别布置于 2 个起膜铲之间, 相邻的另一连接杆的捡膜齿实行错位排列。工作时捡膜齿将堆积于起膜铲前面的地膜挑起并在送膜托板的配合下向斜上方输送。



1. 角度调节拉杆 2. 固定架 3. 机架 4. 起膜铲
1. Angle adjustment lever 2. Fixing bracket 3. Frame 4. Loosening soil shovel

图 5 起膜铲入土角调整示意图

Fig. 5 Diagram of penetrating angle adjustment for loosening soil shovel

2.4 动力传动机构

动力传动机构由变速器和链传动组成。拖拉机后置的动力输出轴输出动力至变速箱, 经变速箱降速后一路传至送膜链条, 带动捡膜输送装置运转完成捡膜输送工作; 另一路通过链传动传至卸膜叶轮完成卸膜工作^[25-26]。

2.5 机架与集膜箱

机架选用 60 mm×60 mm×4 mm 的方管焊接而成。集膜箱采用 1.2 mm 厚的铁板焊接而成, 设有一个活动卸膜门以方便从集膜箱内取出残膜。

3 试验与讨论

3.1 试验条件

在山东农业大学农场试验基地进行链条导轨式地膜回收机试验。马铃薯采用一膜两行的种植模式, 行距 0.90 m, 株距 0.2 m, 垄高 0.15~0.20 m; 土壤质地为壤土, 土壤含水率为 16% (0~50 mm)。地膜: 宽 900 mm、厚 0.008 mm。马铃薯机械收获后, 再进行收膜试验。覆膜播种后, 对垄上地膜进行机械覆盖一层 2~3 cm 厚的

土层; 马铃薯机械收获后, 大片残膜散落在地表及埋于次地表层 (深度 20~50 mm 左右) 分布, 部分地膜残留于马铃薯垄沟附近土壤内 (深度 30~50 mm 左右)。人工提前把马铃薯秸秆拔掉。

3.2 试验方法

测试地块长度为 100 m, 采样面积为 30 m×0.9 m, 地膜原始质量 202.5 g, 5 次重复试验。采用 JAS5003A 电子精密天平秤 (精度为 0.0001 g) 对每个测试区回收的残膜 (洗净晾干后) 称其质量。按下式计算残膜捡净率。

$$C = \left(1 - \frac{W}{W_0} \right) \times 100\% \quad (2)$$

式中: C 为残膜捡净率, %; W 为机具回收残膜的质量, g; W_0 为马铃薯覆盖地膜总质量, g。

3.3 试验结果

田间试验结果如表 2 所示。试验结果表明, 机具的适宜作业速度为 3.0~4.0 km/h, 地膜回收率可达到 92.6% 以上。

表 2 试验结果
Table 2 Experiment result

速度 Speed/(km·h ⁻¹)	小区回收地膜质量 Film weight/g					平均质量 Average weight/g	回收率 Collected rate/%
	试验 1 Test 1	试验 2 Test 2	试验 3 Test 3	试验 4 Test 4	试验 5 Test 5		
3.0	182.45	188.30	194.63	183.55	192.72	188.33	93.0
3.5	182.43	190.24	186.17	192.34	189.43	188.12	92.9
4.0	181.45	184.87	193.63	187.92	189.73	187.52	92.6
4.5	186.36	182.58	190.43	191.37	182.81	186.71	92.2

3.4 讨论

1) 机具作业速度对收膜效果的影响: 试验结果表明, 当机具的作业速度在 3.0~4.0 km/h 范围内变化时, 地膜回收率较高且比较稳定; 当机具的作业速度大于 4.0 km/h 时, 易造成残膜漏捡和残膜缠绕, 地膜回收率降低, 这是由于机具前进速度与送膜速度即捡膜齿末端的速度不匹配造成的。

2) 地膜厚度对残膜破碎效果的影响: 田间残膜破损越严重, 残膜碎片面积越小, 机具捡膜难度就越大, 地膜捡净率也越低, 试验证明, 地膜厚度小于 0.008 mm 时, 因阳光照射老化造成较多残膜碎片, 厚度大于 0.01 mm 时地膜保持相对完整, 基本不会出现碎片, 埋于土壤内的地膜未见碎片。

3) 残膜、土壤、根茬分离对收膜效果影响: 试验表明, 作业时残膜、土壤混杂时, 铲起的土块及少量根茬 (由于采用人工提前将马铃薯秸秆及根茬拔掉, 马铃薯残留根茬很少) 通过起膜铲之间的间隙漏掉而不会向上输送, 集膜箱内不会含过多的土块和根茬。

4) 捡膜齿排列方式对残膜回收效果的影响: 捡膜效果的优劣与捡膜齿的间距大小密切相关, 捡膜齿的间距过小, 捡膜率高, 却易捡拾较大土块; 齿间距过大, 易造成小块残膜漏捡, 捡膜率较低。为解决这一矛盾, 设计上采用相邻两排捡膜齿错位排列, 齿对膜作用间距为实际齿间距的一半, 既能保证小片残膜的捡拾效果又能够

使大块土块根茬等漏下而不被输送至集膜箱。试验证明, 这一设计是合理的。另一方面, 残膜在起膜铲前有一个堆积过程, 再向上输送, 对小片残膜捡起有一定作用。

5) 起膜铲入土深度对地膜回收效果的影响: 起膜铲入土深度太浅则不能将埋于土壤内的残膜铲出而降低回收率, 入土深度太深则阻力增加, 油耗升高, 生产成本提高^[27-32]。试验表明, 起膜铲入土深度以 5~7 cm 为宜。

6) 托板间隙对残膜回收效果的影响: 托板与捡膜齿顶端的垂直间隙称为托板间隙。托板弹簧的重要作用在于可以实现托板间隙大小随捡膜输送量的多少而自由调整, 有效防止输送过程中的漏丢膜和堵塞现象。试验证明, 托板间隙过大则残膜易滑离捡膜齿掉下而不能向上输送, 反之, 则易造成残膜输送过程中的堵塞现象。

4 结论

1) 链条导轨式地膜回收机较好解决了马铃薯地膜机械化回收难题, 试验结果满足设计要求。并与其他作物地膜回收机械设计提供参考。

2) 拣膜输送机构中松土起膜铲与捡膜齿配合作业, 提高了残膜捡拾率; 托板弹簧使捡膜齿与托板送膜间隙自由调整, 解决了送膜过程中易丢膜漏膜和堵塞难题。

3) 起膜机构、捡膜机构和卸膜机构固联在固定架上, 通过角度调节杆来对固定架的角度进行调节, 从而改变工作部件角度来满足入土角度要求。

4) 卸膜叶轮和卸膜导轨联合作业完成卸膜, 有效解决了卸膜过程中的缠膜或滞留堵塞难题。马铃薯收获后的残膜捡拾回收率在 92% 以上。

对于老化破碎严重的小碎片还不能回收, 这也是造成拾膜率降低的主要原因。建议推广使用厚度大于 0.01 mm 的耐老化、强度高的地膜, 以避免残膜碎片的产生。

参 考 文 献

- [1] 毕继业, 王秀芬, 朱道林. 地膜覆盖对农作物产量的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 172—175.
Bi Jiye, Wang Xiufen, Zhu Daolin. Effect of plastic-film mulch on crop yield[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(11): 172—175. (in Chinese with English abstract)
- [2] 侯树林, 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.
Hou Shulin, Hu Sanyuan, Kong Jianming, et al. Present situation of Research on plastic film residue collector in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2002, 18(3): 186—190. (in Chinese with English abstract)
- [3] 严昌荣, 梅旭荣, 何文清, 等. 用地膜残留污染的现状与防治[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 269—272.
Yan Changrong, Mei Xurong, He Wenqing, et al. Present situation of residue pollution of mulching plastic film and controlling measures[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 22(11): 269—272. (in Chinese with English abstract)
- [4] 何文清, 严昌荣, 赵彩霞, 等. 我国地膜应用污染现状及其防治途径研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(3): 533—538.
He Wenqing, Yan Changrong, Zhao Caixia, et al. Study on the pollution by plastic mulch film and its countermeasures in china[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(3): 533—538. (in Chinese with English abstract)
- [5] 杜晓明, 徐刚, 许端平, 等. 中国北方典型地区农用地膜污染现状调查及其防治对策[J]. 农业工程学报, 2005, 21(增刊 1): 225—227.
Du Xiaoming, Xu Gang, Xu Duanping, et al. Mulch film residue contamination in typical areas of north China and countermeasures[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2005, 21(Supp.1): 225—227. (in Chinese with English abstract)
- [6] 何文清, 严昌荣, 刘爽, 等. 典型棉区地膜应用及污染现状的研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(8): 1618—1622.
He Wenqing, Yan Changrong, Liu Shuang, et al. The use of plastic mulch film in typical cotton planting regions and the associated environmental pollution[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(8): 1618—1622. (in Chinese with English abstract)
- [7] 严昌荣, 梅旭荣, 何文清, 等. 农用地膜残留污染的现状与防治[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 269—272.
Yan Changrong, Mei Xurong, He Wenqing, et al. Present situation of residue pollution of mulching plastic film and controlling measures[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 22(11): 269—272. (in Chinese with English abstract)
- [8] 张惠友, 侯书林, 那明君, 等. 收膜整地多功能作业机的研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 130—134.
Zhang Huiyou, Hou Shulin, Na Mingjun, et al. Multifunctional machine for retrieving the used plastic film after harvesting and soi preparation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(8): 130—134. (in Chinese with English abstract)
- [9] 张秋芳, 张东兴. 苗期地膜回收机的起膜轮的设计[J]. 农机化研究, 2007(9): 84—86.
Zhang Qiufang, Zhang Dongxing. Design of film removing wheel for a polythene film collector during seedling period[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(9): 84—86. (in Chinese with English abstract)
- [10] 那明君, 董欣, 侯书林, 等. 残膜回收机主要工作部件的研究[J]. 农业工程学报, 1999, 15(2): 112—115.
Na Mingjun, Dong Xin, Hou Shulin, et al. Research on main components of the machine for retrieving the used plastic film after harvesting[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 1999, 15(2): 112—115. (in Chinese with English abstract)
- [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.
Wang Jikui, Fu Wei, Wang Weibing, et al. Design of SMS-1500 type straw chopping and plastic film residue collecting machine[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(7): 168—172. (in Chinese with English abstract)
- [12] 侯书林, 张淑敏, 孔建铭, 等. 弹齿式收膜机主要机构设计[J]. 中国农业大学学报, 2004, 9(2): 18—22.
Hou Shulin, Zhang Shumin, Kong Jianming, et al. Development of spring-tooth plastic film collecting machine[J]. Journal of China Agricultural University, 2004, 9(2): 18—22. (in Chinese with English abstract)
- [13] 安世才. 1FMJ-850 型废膜捡拾机[J]. 农机与食品机械, 1999(5): 20—21.
An Shicai. 1FMJ-850 model rudimental plastic collecting machine[J]. Machinery of Agricultural and Food, 1999(5): 20—21. (in Chinese with English abstract)
- [14] 刘伟峰, 田海清, 赵满全, 等. 1MC-70 型地膜回收起茬机铲刀结构和参数确定及试验研究[J]. 中国农机化, 2004(1): 35—38.
Liu Weifeng, Tian Haiqing, Zhao Manquan, et al. An experimental study on the structure and parameters of the knives of the 1MC-70 model plastic film residue and stubble collecting machine[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2004(1): 35—38. (in Chinese with English abstract)
- [15] 王能勇. 4CM-150 型齿链式悬挂收膜机[J]. 新疆农机化, 1997(5): 15—16.
Wang Nengyong. 4CM-150 model chain type suspension plastic film collector[J]. Xinjiang Agricultural Mechanization, 1997(5): 15—16. (in Chinese with English abstract)

- [16] 周福君, 纪文义, 杨树森. 玉米苗期收膜机的研制[J]. 农机化研究, 2001(3): 76—77.
Zhou Fujun, Ji Wenyi, Yang Shusen. Development of plastic film collector for corn fields during seedling period[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2001(3): 76—77. (in Chinese with English abstract)
- [17] 马少辉, 张学军. 废膜收获机的研究现状和发展趋势[J]. 农机化研究, 2006(5): 37—38.
Ma Shaohui, Zhang Xuejun. The rudimental plastic harvesting machinery's present condition and developing trend[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(5): 37—38. (in Chinese with English abstract)
- [18] 杨希晨, 刘炳, 龚军. 残膜回收机的研究现状及存在问题[J]. 新疆农机化, 2006(5): 15—17.
Yang Xichen, Liu Bin, Gong Jun. Ontology research and existing problems in plastic film collector[J]. Xinjiang Agricultural Mechanization, 2006(5): 15—17. (in Chinese with English abstract)
- [19] 崔方方, 吕钊钦, 李法德, 等. 链条式烟田地膜回收机设计研究[J]. 农机化研究, 2010(5): 78—80.
Cui Fangfang, Lü Zhaoqin, Li Fade, et al. Study on the machine for retrieving the used plastic film in tobacco seedlings[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010(5): 78—80. (in Chinese with English abstract)
- [20] 杨树森, 沈美容, 林素元. 弹齿式收膜机工作部件的研究[J]. 农业工程学报, 1988, 4(2): 17—25.
Yang Shusen, Shen Meirong, Lin Suyuan. A study on the working parts of the spring-tooth type mulching plastic film collector[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 1988, 4(2): 17—25. (in Chinese with English abstract)
- [21] 李刚, 张林海, 付宇, 等. 曲柄摇杆式残膜捡拾机构研究[J]. 农业机械学报, 2014, 45(增刊 1): 63—67.
Li Gang, Zhang Linhai, Fu Yu, et al. Crank-rocker mechanism for collecting plastic film[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2014, 45(Sup.1): 63—67. (in Chinese with English abstract)
- [22] 杨丽, 刘佳, 张东兴, 等. 棉花苗期地膜回收机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(增刊 1): 73—77.
Yang Li, Liu Jia, Zhang Dongxing, et al. Design and experiment of plastic film collector for cotton fields during seedling period[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(Sup.1): 73—77. (in Chinese with English abstract)
- [23] 陈发, 史建新, 王学农. 弧型齿残膜捡拾滚筒捡膜的机理, 农业机械学报[J]. 2006, 37(6): 36—41.
Chen Fa, Shi Jianxin, Wang Xuenong, Zhao Haijun. Study on collecting principle of arc-type tooth roller for collecting plastic residue[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2006, 37(6): 36—41. (in Chinese with English abstract)
- [24] 李斌, 王吉奎, 蒋蓓. 残膜回收机顺向脱膜机理分析与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(21): 23—28.
Li Bin, Wang Jikui, Jiang Bei. The used plastic film pollution and treatment technology in xinjiang cotton area[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(21): 23—28. (in Chinese with English abstract)
- [25] 胡凯, 王吉奎, 李斌, 等. 棉秆粉碎还田与残膜回收联合作业机研制与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(19): 24—32.
Hu Kai, Wang Jikui, Li Bin, et al. Development and experiment of combined operation machine for cotton straw chopping and plastic film collecting[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(19): 24—32. (in Chinese with English abstract)
- [26] 娄秀华, 张东兴, 耿端阳, 等. 残膜回收机起膜器的设计与试验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 88—90.
Lou Xiuhu, Zhang Dongxing, Gen Duanyang, et al. Research and design on loosening shovel of polythene film collector[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2002, 18(6): 88—90. (in Chinese with English abstract)
- [27] 卢博友, 杨青, 薛少平, 等. 圆弧形弹齿滚筒式残膜捡拾机构设计及捡膜性能分析[J]. 农业工程学报, 2000, 16(6): 68—71.
Lu Boyou, Yang Qing, Xue Shaoping, et al. Design of arc spring tooth type collector for collecting mulching plastic film the collecting property analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2000, 16(6): 68—71. (in Chinese with English abstract)
- [28] 张学军, 吴成武, 马少辉, 等. 残膜回收机搂膜连杆机构模糊优化设计[J]. 农业机械学报, 2007, 38(9): 55—58.
Zhang Xuejun, Wu Chengwu, Ma Shaohui, et al. Fuzzy optimization design of the links mechanism with film rake of remnant plastic film collector[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2007, 38(9): 55—58. (in Chinese with English abstract)
- [29] 王春耀, 陈发, 郭小军, 等. 弧形挑膜齿残膜清理滚筒运动分析[J]. 农业机械学报, 2005, 36(8): 38—40, 44.
Wang Chunyao, Chen Fa, Guo Xiaojun, et al. Analysis on the movement of arc spring-finger type plastic film residue pickup cylinder[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2005, 36(8): 38—40, 44. (in Chinese with English abstract)
- [30] 杨丽, 张东兴, 侯书林, 等. 玉米苗期地膜回收机结构参数分析与试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(12): 29—34.
Yang Li, Zhang Dongxing, Hou Shulin, et al. Analysis of structural parameters and experiment of plastic film collector for corn fields during seedling period[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2010, 41(12): 29—34. (in Chinese with English abstract)
- [31] 王学农, 史建新, 郭俊先, 等. 悬挂式棉秆粉碎还田搂膜机搂膜机构的设计与试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 135—140.
Wang Xuenong, Shi Jianxin, Guo Junxian, et al. Experimental study and design on film raking mechanism of

hanging film raker with cotton stalk crushing and returning to field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2008, 24(1): 135—140. (in Chinese with English abstract)

- [32] 惠友, 侯书林, 那明君, 等. 收膜整地多功能作业机的研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 130—134.

Zhang Huiyou, Hou Shulin, Na Mingjun, et al. Multifunctional machine for retrieving the used plastic film after harvesting and soil preparation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(8): 130—134. (in Chinese with English abstract)

Design and test of chain guide rail-type plastic film collector

Lü Zhaoqin^{1,2}, Zhang Lei¹, Zhang Guangling¹, Liu Shufeng¹

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China;

2. Shandong Provincial Key Laboratory of Horticultural Machineries and Equipments, Tai'an 271018, China)

Abstract: With the development of plastic film mulching cultivation technology, crop output increases substantially and crops are suitable for more areas. Consequently, a change of agricultural production mode and a leap of agricultural productivity occurred thereafter. However, with the application scope of the film expanding quickly, its side effects also emerges. Because of the “white pollution” caused by the remnant plastic film after potato etc. crops harvest, it is very important to solve the problem of low gathering film efficiency, leaking film, separating soil and film, wrapping film, unloading film of the existing plastic film collector. In order to counter the problems mentioned above, and combine with agronomic requirements of potato, a new project of chain guide rail-type plastic film collection is designed in this paper. Loosening soil shovels and picking-up film teeth which are next to each other in a chain, cooperate together to improve the rate of gathering film. The pallet of mulching film is in row structure, which will be able to leak soil, and further boost the efficiency to separate soil and film. While operating correctly, shovels loose soil and picking-up film teeth penetrate plastic film to pick them up. Plastic film is transported through the gap between picking-up film tooth and pallet, and then scraped by unloading impeller to collecting tank. Pallet springs will realize the space of picking-up film tooth and Pallet adapt to the quantity of gathering film. Thus, the film will not be left over, lost and blocked. Also it is ensured the entire remnant mulching film is gathered and delivered to the top of collecting film box. Unloading impeller and guide rail cooperate with each other to unload, so that wrapping film becomes much easier. Picking-up film tooth is able to slide over backwards to the side of film-unloading between the circular rail, and retreat from the circular rail, in order to separate of the picking-up film teeth and the plastic film. Picking-up film agencies, gathering film agencies, unloading film agencies are installed together in bracket fixing. They can adjust the fixing bracket through the angle adjustment lever, change the angle of loosening soil shovel to adapt the requirement. This paper designs and invents a chain guide rail-type plastic film collector which includes the function of picking-up film, gathering film, uploading film and collecting film. Each component of the chain-type plastic film collector is modeled and the virtual assembly is finished by Pro/ENGINEER. At the same time, FEM analysis is carried out to study the stress and deformation of the structure of the key components. The experimental results show that: this machine named the chain guide rail-type plastic film collector can achieve the goal of picking-up film, gathering film, uploading film and collecting film all in one. Under the help of this machine, the gathering film rate is over 92% after the potatoes are harvested. The design solves the difficulty of mechanization in collecting the plastic potato film. Results show that the designed machine is able to pick up plastic film successfully after harvesting potatoes. And it can be applied to other crops as well. Therefore, this paper has both economic and social benefit.

Key words: agriculture machinery; crops; soils; plastic film; collector; chain; guide rail; pallet