

“张持”式顺向残膜捡拾机构的设计与试验

孙 博¹, 曹肆林², 卢勇涛², 席永刚³, 王 敏², 营雨琨², 郑士琦¹

(1. 石河子大学机械电气工程学院, 新疆 石河子 832000; 2. 新疆农垦科学院机械装备研究所, 新疆 石河子 832000;
3. 新疆科神农业装备技术开发股份有限公司, 新疆 石河子 832000)

摘 要:针对现有残膜捡拾机构工作过程中土和杂物聚集在机组前进的方向造成的拥堵问题,为减小工作阻力,利用捡拾齿与土壤间阻力和弹簧拉力,设计了“张持”式顺向残膜捡拾机构,其包含摇臂装置和捡拾装置等装置仅在拖拉机拖拽下完成残膜捡拾,适应拖拉机前进速度。对捡拾齿进行受力分析和运动学分析,确定捡拾齿的直径为 15 mm、周向排列数量 14、轴向间距 140 mm;通过分析捡拾齿闭合过程确定了轨道形状。田间试验表明,在机具作业速度 $5.15 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 、入土深度 8.49 cm、张持距离 7.61 cm 时拾膜率达 86.40%。

关键词:残膜捡拾; 机构设计; 响应面试验; 优化; 田间试验; 拾膜率

中图分类号:S22 **文献标志码:**A

Design and test of open-hold forward rotation residual film machine

SUN Bo¹, CAO Silin², LU Yongtao², XI Yonggang³,
WANG Min², YING Yukun², ZHENG Shiqi¹

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China;

2. Machinery Equipment Research Institute, Xinjiang Academy of Agricultural and
Reclamation Science, Shihezi, Xinjiang 832000, China;

3. Xinjiang Keshen Agricultural Equipment Technology Development Co., Ltd., Shihezi, Xinjiang 832000, China)

Abstract: Aiming at the problem of congestion caused by the accumulation of soil and debris in the forward direction of the unit during the operation of the existing residual film pickup machine, in order to reduce the working resistance, the “open-hold” style of including rocker device and pickup device was designed using the resistance among the picking teeth, the soil, and the spring tension to the residual film pick-up machine, the residual film was picked up only by the tractor to adapt to the tractor’s forward speed. The force analysis and kinematics analysis of the pick-up teeth determined that the diameter of the pick-up teeth was 15 mm, the number of circumferential arrangements was 14 and the axial distance was 140 mm; the track shape were determined by analyzing the closing process of the picking teeth. Field tests showed that the film pick-up rate reached 86.40% when the machine operating speed was $5.15 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, the soil depth was 8.49 cm, and the holding distance was 7.61 cm. The research results helped to solve the problem of residual film pollution in cotton fields and enrich the design theory of residual film recovery machinery.

Keywords: residual film picking up; mechanism design; response surface experiments; optimization; field test; film pick-up rate

我国自 1978 年开始引进地膜覆盖栽培技术,经过 40 多年的应用与发展,该技术与节水灌溉技术相结合形成了先进的膜下滴灌技术,为新疆旱地农业

的发展做出了重要贡献^[1-4]。但地膜在自然条件下极难降解,逐年累积形成“白色污染”,造成次生环境污染等一系列问题^[5-7]。机械回收是农业生产中

收稿日期:2019-11-08

修回日期:2020-08-14

基金项目:国家自然科学基金(51741508);新疆生产建设兵团中青年科技创新领军人才计划(2018CB011);新疆生产建设兵团重点领域科技攻关项目(2018AB13)

作者简介:孙博(1993-),男,河南范县人,硕士研究生,研究方向为旱作农机装备技术。E-mail:872933246@qq.com

通信作者:曹肆林(1982-),男,安徽望江人,副研究员,主要从事现代旱作农机装备技术研究。E-mail:Csl405240@sohu.com

治理残膜污染的有效方法,现有残膜捡拾机构作业时,会将土和杂物不断向机组前进的方向聚集,造成捡拾齿前方拥堵,工作阻力会随着机组前进速度的提高而大幅度增加^[8-10],难以实现高速作业。因此,本研究利用捡拾齿与土壤间阻力和弹簧拉力,设计了一种“张持”式顺向残膜捡拾机构,仅在拖拉机拖拽下完成残膜捡拾,以期能够进行高速作业。分析捡拾齿所受载荷及捡拾齿运动学确定机构的关键参数,制作样机并进行田间试验,并通过 Box- Behnken 试验设计建立了以拾膜率为响应值的回归模型,确定捡拾机构各参数对拾膜率的影响大小,获取参数最优值,为残膜回收技术提供一种新的思路。

1 机构设计方案

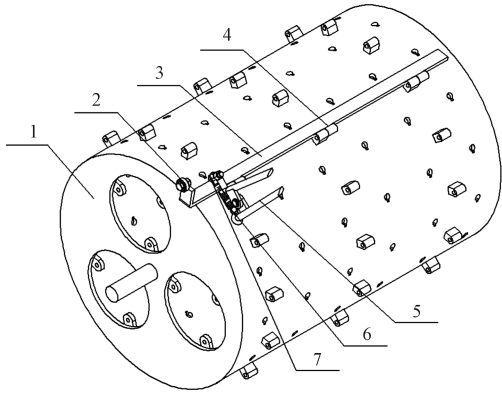
1.1 功能要求

“张持”式顺向残膜捡拾机构的主要作用有两个方面:一是“张持”式捡拾残膜,将残膜与土壤分离;二是捡拾机构的旋转方向与拖拉机驱动轮的旋转方向一致。因此,“张持”式顺向残膜捡拾机构的设计必须满足以下要求:一是捡拾齿能撑开地膜,利用“张持”力捡拾残膜;二是在拖拉机拖拽和土壤阻力的作用下,行进速度与动力机械保持一致且不出现旋转停滞情况;三是结构简单、稳定性好。

1.2 总体结构与工作原理

“张持”式顺向残膜捡拾机构由牵引装置、机架、辅助闭合装置、摇臂装置、捡拾装置和起膜装置组成。辅助闭合装置由固定连接架、轨道、限位螺杆和轨道连接架组成;摇臂装置由滚动轴承、摇臂杆、轴套组成;捡拾装置由拉簧、滚筒和捡拾齿组成。捡拾装置与摇臂装置安装位置如图 1 所示。

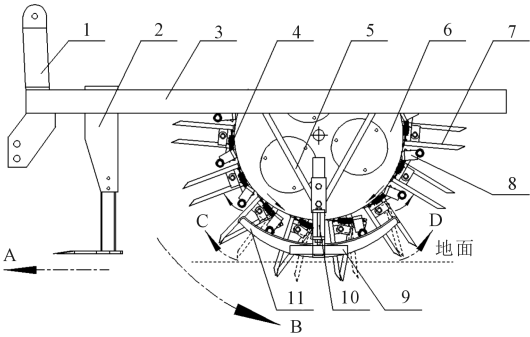
拖拉机牵引机具向前行驶,起膜装置对压实的边膜进行松土,“张持”式捡拾装置向前滚动。当捡拾齿入土捡拾地膜,受土壤阻力作用,转动齿转动,捡拾齿闭合。与此同时,摇臂碰到辅助闭合装置受力发生旋转,调节螺栓受力,在摇臂杆上滑动,催动捡拾齿闭合,拉簧受拉力伸长。转动齿转动至与固定齿接触的极限位置后不再转动,捡拾齿扎破地膜、深入土壤,随滚动继续,捡拾齿出土,此时,摇臂不再受到辅助闭合装置的轨道约束,受拉簧作用,捡拾齿迅速张开恢复为原来张开状态,撑开地膜,完成地膜捡拾作业。原理示意图如图 2 所示,其中箭头 A 是行走方向,箭头 B 是捡拾装置转动方向,箭头 C 是转动齿闭合方向,箭头 D 是转动齿张开方向。



1. 滚筒;2. 滚动轴承;3. 摇臂杆;4. 轴套;
5. 捡拾齿;6. 拉簧;7. 调节螺栓
1. Roller; 2. Rolling bearing; 3. Rocker arm; 4. Bushing;
5. Pickup tooth; 6. Extension spring; 7. Adjusting bolt

图 1 捡拾装置与摇臂装置安装位置图

Fig.1 Pickup device and rocker arm installation position



1.牵引装置;2.起膜装置;3.机架;4.拉簧;5.轨道固定架;6.滚筒;
7.捡拾齿;8.摇臂装置;9.轨道连接架;10.限位螺杆;11.轨道
1. Traction device; 2. Filming device; 3. Frame; 4. Tension spring;
5. Track fixing frame; 6. Roller; 7. Pickup gear; 8. Rocker arm device;
9. Track-connecting frame; 10. Limit screw; 11. Track

图 2 工作原理示意图

Fig.2 Working principle diagram

2 机构关键参数的确定

2.1 捡拾齿直径

“张持”式顺向捡拾机构工作时,在动力机械的拖拽下捡拾装置自行旋转,旋转动力由捡拾齿提供,捡拾齿在田间行走出现捡拾齿与地面相对滑动或受阻强度大而无法转动,导致捡拾齿断裂等均对作业效果产生重要影响。因此,需要对捡拾装置田间行走产生不滑动的滚动条件和捡拾齿所受载荷进行分析计算,选择合适的捡拾齿直径。

如图 3 所示,直径 R 为 0.3 m 的滚筒上固接有长 L 为 0.245 m 的捡拾齿,最大入土深度 t 为 0.08 m。当机构作业时捡拾齿需克服田间土壤、轴承摩擦力矩及带动其他部件所需扭矩等的阻碍作用(阻

力矩为 M_t), 以捡拾齿扎入田间土壤 M 点瞬间状态建立方程, 获得能使捡拾装置产生不滑动的滚动条件^[11]:

$$P \leq W_{\max}$$

(1)

$$P(R + L - t) > G(R + L) \sin \frac{\theta}{2} + M_t$$

(2)

$$W_{\max} = Gf$$

(3)

式中, P 为捡拾装置所受的拉力 (N); $W_{\max}$ 为滚动时捡拾齿与田间土壤接触力的最大水平分力 (N); G 为捡拾装置所承受的载荷, 取 2 540 N; f 为捡拾齿入土后捡拾齿与田间土壤的摩擦因数, 取 0.8。

由图 3 几何关系可以看出:

$$\cos \frac{\theta}{2} = \frac{R + L - t}{R + L}$$

(4)

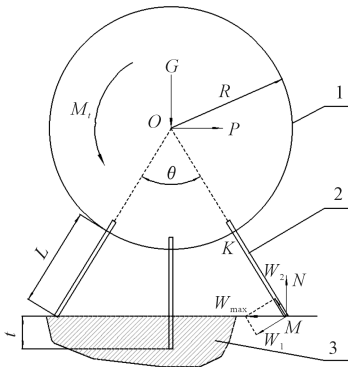
由式 (1) ~ (4) 计算得出捡拾装置在田间工作时产生不滑动的滚动条件为: $P \leq 2\,032\text{ N}$, $M_t < 2\,222.75\text{ N} \cdot \text{m}$ 。

即机构田间作业时, 滚筒受到的拉力应当小于或等于 2 032 N, 捡拾齿需克服田间土壤、轴承摩擦力矩及带动其他部件的阻力扭矩应小于 2 222.75 N · m。

如图 3 所示, 将 $W_{\max}$ 沿捡拾齿轴向方向和其垂直方向分解为 W_1 、 W_2 , 因捡拾齿材料为 HT200, 主要校核其危险截面的拉应力, 即 K 点截面。查《机械设计手册》^[12] 有公式:

$$\begin{cases} \sigma_{\max} = \frac{W_1 L}{W_z} \\ [\sigma] = \frac{\sigma_b}{n_b} \\ W_z = \frac{\pi d^3}{32} \end{cases}$$

(5)



1. 滚筒; 2. 捡拾齿; 3. 田间土壤
1. Roller; 2. Pick up tooth; 3. Field soil

图 3 捡拾齿受力示意图

Fig.3 Schematic diagram of the picking teeth stress analysis

式中, $\sigma_{\max}$ 为 K 点截面所受的最大拉应力 (MPa); W_1 为垂直于捡拾齿轴向方向的拉力 (N); L 为捡拾齿长度 (m); W_z 为 K 点截面模量 (mm^3); $[\sigma]$ 为许用拉应力 (MPa); σ_b 为抗拉强度 (MPa); n_b 为安全系数; d 为张持齿直径 (mm)。

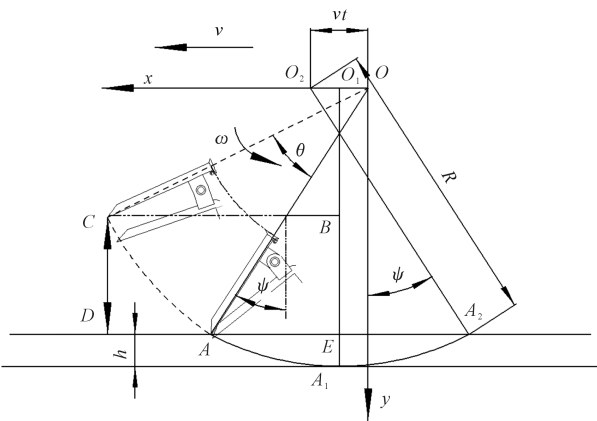
取 $\sigma_b = 200$, $n_b = 3$, 整理得 $d \geq 8.47\text{ mm}$, 结合田间情况和制造工艺经验及捡拾齿形状等因素综合考虑, 取 $d = 15\text{ mm}$ 。

2.2 捡拾齿排列方式

捡拾齿的排列方式对“张持”式顺向捡拾机构的设计至关重要, 合理的排列方式不仅可以提高残膜的捡拾率和作业效率, 而且可减小捡拾齿的载荷冲击, 增加捡拾齿的使用寿命和可靠性^[13-15]。

捡拾齿从入土扎膜到出土挑膜过程如图 4 所示, 动力机具牵引“张持”式顺向残膜捡拾机构以速度 v 进行运动, 并且滚筒绕其自身中心 O 以转速 ω 匀速转动。设 O 为坐标原点, OA 、 O_1A_1 、 O_2A_2 为捡拾齿作业半径, $\widehat{AA_2}$ 表示捡拾齿末端由 A 点入土到 A_2 点出土的拾膜运动轨迹, 所用时间为 t 。整个作业过程分为 $\widehat{AA_1}$ 捡拾齿入土扎膜和 $\widehat{A_1A_2}$ 捡拾齿出土挑膜。

如图 4 所示, 捡拾齿入土位置为 A 时, 与之周向相邻捡拾齿位置为 C 。设拾膜捡拾齿在同一圆周上个数为 z , 即相邻周向夹角为 $\theta = \frac{2\pi}{z}$ 。为保证机具的



注: t 为时间, s; ω 为滚筒旋转角速度, $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$; v 为机具行进速度, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; ψ 为初始相位角, $^\circ$; h 为钉齿入土深度, mm; θ 为周向相邻钉齿夹角, $^\circ$; R 为钉齿末端至滚筒中心距离, mm。

Note: t is the time, s; ω is the rotation angular velocity of the rollers, $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$; v is the machine advancing velocity, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; ψ is the preliminary phase angle, $^\circ$; h is the penetration depth of nail teeth, mm; θ is the angle of circumferential adjacent nail teeth, $^\circ$; R is the distance from end of nail teeth to center of rollers, mm.

图 4 捡拾齿末端运动分析

Fig.4 Motion analysis of the end of a picking tooth

连续性捡拾,任意捡拾齿出土时,与之相邻的周向钉齿开始入土拾膜,故捡拾齿由 C 位置到达 A 位置所用时间与捡拾齿入土拾膜时间相同。捡拾齿绕滚筒轴心到达 C 点位置的速度 $v=R\omega$ 。为了避免漏捡,则捡拾齿由 C 点到达 A 点的水平位移 x_c 与垂直位移 y_c 应满足:

$$\begin{cases} x_c = AD = BC - EA \\ y_c = R - O_1B - h \end{cases} \quad (6)$$

由图4可知:

$$\begin{cases} EA = R\sin\psi - O_1O \\ BC = R\sin(\psi + \theta) - \frac{vt}{2} \\ O_1B = R\cos(\psi + \theta) \\ h = R(1 - \cos\psi) \\ O_1O = \frac{1}{2}vt \end{cases} \quad (7)$$

为了保证“张持”式顺向残膜捡拾机构不漏捡,则捡拾齿末端所处 C 点水平位移 x_c 与竖直位移 y_c 应为:

$$\begin{cases} x_c = \omega t R \sin(\psi + \theta) - \frac{vt}{2} \\ \quad = \frac{2\pi R}{z} \sin(\psi + \theta) - \frac{vt}{2} \\ y_c = \omega t R \cos(\psi + \theta) \\ \quad = \frac{2\pi R}{z} \cos(\psi + \theta) \end{cases} \quad (8)$$

将式(7)和式(8)代入式(6),求得:

$$\begin{cases} R\sin\psi = R\sin(\psi + \theta) \left[1 - \frac{2\pi}{z} \right] \\ R\cos(\psi + \theta) \left[1 + \frac{2\pi}{z} \right] = R\cos\psi \end{cases} \quad (9)$$

求得:

$$\psi = \arccos\left(\frac{R-h}{R}\right) \quad (10)$$

整理得:

$$\frac{\sqrt{h(2R-h)}}{\pi z^2 - \psi z} = \frac{v}{z\omega} \quad (11)$$

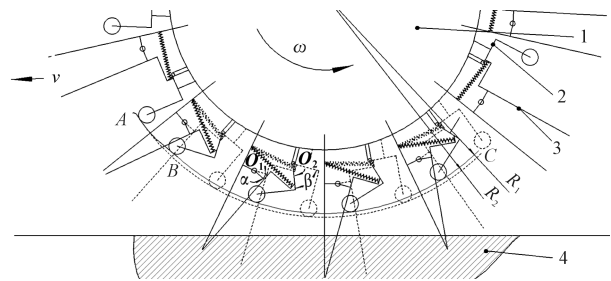
由以上分析可知,只有当捡拾齿末端至滚筒中心距离、捡拾齿入土深度、同一圆周上钉齿总数、滚筒旋转角速度满足以上关系时,才能实现连续捡膜。

根据秋后残膜回收机具作业要求,机具行进速度为 $2.4 \sim 4.8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,而“张持”式顺向残膜回收作业的要求为 $3.5 \sim 7.5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,捡拾齿末端距离滚筒回收机中心旋转半径为 525 mm ,捡拾齿入土深度为 80 mm ,通过对捡拾齿运动轨迹分析,满足式

(10)、式(11)的要求,滚筒旋转角速度为 $1.85 \sim 3.97 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$,得到捡拾齿滚筒周向齿数为14个,取捡拾齿轴向距离 140 mm 。

2.3 轨道形状的设计

轨道的主要作用为帮助捡拾齿在入土前完成闭合,防止因弹簧拉力过大或土壤坚实度不够,捡拾齿在入土时没有闭合。如图5所示,捡拾装置逆时针旋转前行,摇臂装置遇到轨道的阻碍,以 O_2 为旋转中心顺时针旋转 β 角度,摇臂杆旋转带动捡拾齿中的转动齿以 O_1 点为旋转中心旋转 α 角度,捡拾齿完成闭合。半径为 R_1 的圆弧为捡拾齿未闭合状态下摇臂装置上滚动轴承运动的轨迹,半径为 R_2 的圆弧为捡拾齿闭合状态下滚动轴承运动的轨迹, R_1 大于 R_2 ,则轨道的形状应在两个圆弧之间,并从半径为 R_1 的圆弧过渡到 R_2 的圆弧上,如曲线 AB 所示,选择轨道形状为 ABC ,其中曲线 AB 的长度为 123 mm , BC 的弧长为 636 mm ,弧长半径为 422.5 mm 。



1.滚筒;2.摇臂装置;3.捡拾齿;4.田间土壤

注: ω 为滚筒旋转角速度 ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$); v 为机具行进速度

($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); R_1 为捡拾齿未闭合状态下摇臂装置上滚动轴承运动的轨迹半径 (m); R_2 为捡拾齿闭合状态下滚动轴承运动的轨迹半径 (m)。

Note: ω is the rotary angular speed of the drum ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$); v is the traveling speed of the implement ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); R_1 is the trajectory radius of the rolling bearing movement on the rocker arm device in the unclosed state (m); R_2 is the radius of the trajectory of the rolling bearing motion in the closed state of the pickup tooth (m).

图5 轨道形状设计简图

Fig.5 Schematic design of the track shape

3 田间试验

3.1 试验设计

3.1.1 试验条件 试验地点在新疆石河子市145团三分场三团的棉花种植区,选取面积为 $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ 作为试验田进行试验,棉花采用宽行密植种植模式($660 \text{ mm} + 100 \text{ mm}$),土地平整,滴灌带已被回收,棉秸秆已被侧抛式4J-230型秸秆粉碎还田机粉碎,留茬高度为 $70 \sim 100 \text{ mm}$,残膜有少量破损,膜面有残膜含杂(土、茎、叶),土壤含水率为 16.65% ,测得

土壤坚实度为 412.3 kPa,地膜幅宽 2.05 m,地膜厚度为 0.01 mm,边膜处覆土厚度为 30~40 mm。“张持”式顺向残膜回收机通过三点悬挂安装在拖拉机上,动力由雷沃-欧豹 754A 拖拉机提供牵引力。试验主要仪器有 JJ1000Y 型电子天平(200 g/0.01 g)、LJD15 米尺(0~100 m)、秒表、小铲、封装实验袋等,图 6 为试验样机。

3.1.2 试验因素与试验指标 根据“张持”式顺向残膜捡拾机构的结构参数与作业参数,选取影响捡拾效果的 3 个关键参数作为本次试验的主要影响因素。通过前期的设计分析,根据实际作业特点,可以确定影响拾膜率的主要因素为:机具前进速度 v 、捡拾齿入土深度 d 和捡拾齿张持距离 s 。

试验参考《GB/T 25412-2010 残地膜回收机》规定进行设计^[16],根据田间实际情况对“张持”式顺向残膜回收机确定试验指标,选取拾膜率作为主要参数进行现场测试。田间随机选取 17 个试验区进行试验,每个试验区长度为 50 m,宽度为 0.9 m,从每个试验区随机选取 5 个点作为检测点,每个检测点长度为 5 m,将 5 个测试点的平均值作为该行程的测试结果。在试验田中随机取一样方,样方残膜较为完整,其面积大小与测试点相等,将其地表残膜人工回收并洗净,采用 JJ1000Y 型电子天平(200 g/0.01 g)称其质量 $M_1=64.40$ g,通过小铲、实验袋等工具取样,各试验区每个检测点漏收的残膜质量记为 M_2 。计算公式为:

$$\eta = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \tag{12}$$

式中, η 为拾膜率(%); M_1 为试验地块检测点所铺地膜总质量(g); M_2 为各检测点遗留的残膜质量(g)。

3.1.3 试验方案 在测量过程中存在很多影响拾膜率的非线性因素,通常需要选用二次或更高次的模型来逼近响应,模型可采用响应曲面法来建立^[15-22]。假设拾膜率 η 与机具前进速度 v 、捡拾齿入土深度 d 和捡拾齿张持距离 s 存在函数关系式 $\eta=f(v,d,s)$,应用 BOX 设计^[16-22] 安排试验设计。机具前进速度 v 、捡拾齿入土深度 d 和捡拾齿张持距离 s 和拾膜率 η 分别用 x_1 、 x_2 、 x_3 、 Y 表示,对各因素进行水平编码如表 1 所示,按照表 2 方案进行试验设计。

3.2 拾膜率模型的建立与检验

应用 Design-Expert 8.0.6 软件包对表 2 中数据分别拟合并进行方差分析,结果如表 3 所示。

根据拾膜率 η 统计分析可知,在 $P \leq 0.05$ 水平上, x_1x_2 、 x_3 、 x_1^2 、 x_2^2 、 x_3^2 的系数显著,其余不显著。模

表 1 试验因素水平编码
Table 1 Coding of levels and factors

水平 Level	因素 Factor		
	前进速度(x_1)	入土深度(x_2)	张持距离(x_3)
	Forward speed $v/\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	Depth of penetration d/cm	Relaxation distance s/cm
-1	3.5	6	6
0	5.5	8	8
1	7.5	10	10

表 2 试验结果
Table 2 Test results

编号 Number	$x_1/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	x_2/cm	x_3/cm	$\eta/\%$
1	0	1	1	77.81
2	0	0	0	84.35
3	-1	1	0	79.31
4	-1	0	-1	78.23
5	1	0	-1	74.3
6	0	0	0	86.74
7	0	0	0	88.93
8	1	-1	0	71.33
9	0	0	0	83.12
10	1	1	0	73.39
11	-1	-1	0	75.44
12	0	1	-1	81.29
13	1	0	1	70.2
14	0	0	0	85.81
15	0	-1	-1	76.66
16	0	-1	1	73.14
17	-1	0	1	75.12

型的 P 值和决定系数 R^2 分别为 0.0005 和 0.9578,而失拟项的 P 值为 0.9518,说明回归模型极其显著且具有很高的拟合精度,失拟不显著,回归有效,可以用此模型对拾膜率进行分析和预测。

删除不显著项后拾膜率的回归方程为:

$$Y = 85.79 - 2.36x_1 + 1.9x_2 - 1.78x_3 - 0.64x_1^2 - 4.08x_2^2 - 4.49x_3^2 \tag{13}$$

3.3 影响因素分析及优化

从表 3 数据各因素 P 值可以看出,机具前进速度、捡拾齿入土深度和捡拾齿张持距离均对拾膜率影响显著,且影响的主次顺序为前进速度、入土深度、张持距离。由图 7 可知,随着各因素参数值的增加,拾膜率均呈现出先增加后减小的趋势。

原因分析:(1)前进速度过大,机具所受牵引力大,导致捡拾齿无法及时完成闭合,捡拾齿在土壤中滑行,影响捡拾效果;前进速度小,脱膜叶轮转速

较低,造成残膜对捡拾装置的缠绕,影响拾膜率。
(2) 捡拾齿入土深度过小,导致捡拾齿无法为捡拾机构的旋转提供动力,机具无法正常运行;捡拾齿入土深度过大,捡拾齿易发生断裂,同样影响机具的正常运转。
(3) 捡拾齿张持距离过小,捡拾齿无法提供足够的“张持”力,无法回收残膜;捡拾齿张持距离过大,出土时易将地膜撕裂,同样无法提供足够的“张持”力,造成残膜捡拾过程失败。

为获得较好的捡拾效果,运用 Design-Expert 对拾膜率进行优化求解,得到捡拾机构最优工作参数为: 机具前进速度为 $5.15\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, 捡拾齿入土深度为 8.49 cm , 捡拾齿张持距离为 7.61 cm , 拾膜率为 86.40% 。



图 6 试验样机
Fig.6 Test prototype

表 3 试验统计分析结果
Table 3 Results of statistical analysis for experiment

变异来源 Source of variation	自由度 Degrees of freedom	均方 Mean square	F 值 F value	显著水平 P Significance level P
回归模型 Regression model	9	54.45	17.67 **	0.0005
x_1	1	44.56	14.46 **	0.0067
x_2	1	28.99	9.41 *	0.0181
x_3	1	25.24	8.19 *	0.0243
x_1x_2	1	0.82	0.27	0.6220
x_1x_3	1	0.25	0.08	0.7861
x_2x_3	1	0.0004	0.0001	0.9912
x_1^2	1	194.14	63.99 **	<0.0001
x_2^2	1	70.09	22.75 **	0.0020
x_3^2	1	84.70	27.49 **	0.0012
残差 Residual	7	3.08		
失拟 Lack of fit	3	0.53	0.11	0.9518
误差 Error	4	4.99		
总变异 Total variation	16			
决定系数 Coefficient of determination				0.9578

注: $P\leq 0.01$ 为差异极显著,用 ** 表示; $P\leq 0.05$ 为差异显著,用 * 表示; $P>0.05$ 为差异不显著。
Note: $P\leq 0.01$ means extremely significant, expressed by ** ; $P\leq 0.05$ means significant, expressed by * ; $P>0.05$ means not significant.

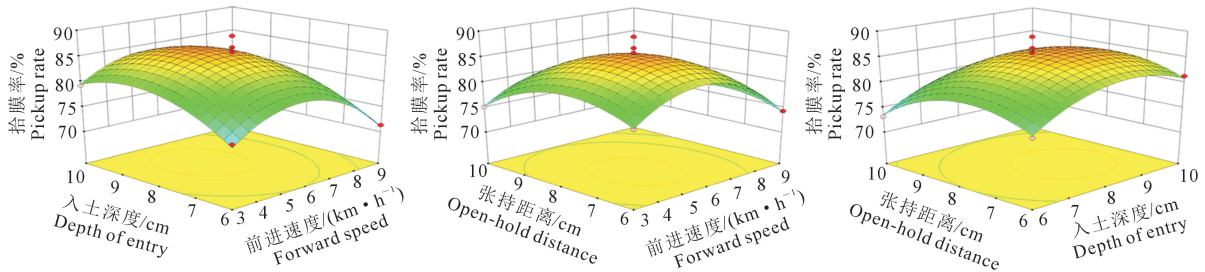


图 7 因素交互作用对拾膜率的影响
Fig.7 Effect of factor interaction on the film pickup rate

4 结 论

1)“张持”式顺向残膜捡拾机构包括牵引装置、机架、辅助闭合轨道、摇臂装置和捡拾装置,提出一种“张持”式捡拾残膜的方法,为探索先进高效的捡拾技术提供了一种新的思路。

2)通过分析捡拾齿受力情况确定了捡拾齿直径 15 mm;通过捡拾齿运动学分析确定了捡拾齿的排列方式,周向数量 14 和轴向距离 140 mm;通过分析捡拾齿闭合过程确定了轨道形状。

3)制作样机并进行田间试验,通过回归拟合分析影响因素对拾膜率影响大小为:前进速度、入土深度、张持距离。运用 Design-Expert 软件得到其最佳作业及结构参数:机具前进速度为 $5.15\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$,捡拾齿入土深度为 8.49 cm,捡拾齿张持距离为 7.61 cm,拾膜率为 86.40%。

参 考 文 献:

[1] 严昌荣,刘恩科,舒帆,等.我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术[J].农业资源与环境学报,2014,31(2):95-102.

[2] 薛颖昊,曹肆林,徐志宇,等.地膜残留污染防治技术现状及发展趋势[J].农业环境科学学报,2017,36(8):1595-1600.

[3] 温浩军,牛琪,纪超.地膜机械化技术现状及分析[J].中国农业大学学报,2017,22(3):145-153.

[4] 谢建华,侯书林,刘英超.残膜清理回收机具的研究现状及存在的问题[J].中国农机化,2012,(5):41-44.

[5] 薛颖昊,曹肆林,贾涛,等.机械化回收与再利用技术,推动地膜清洁生产[J].蔬菜,2017,(8):8-11.

[6] 王志欢.挑夹式残膜捡拾输送机构的设计与研究[D].石河子:石河子大学,2017.

[7] 曹肆林,王序俭,沈从举,等.残膜回收机械化技术的专利分析研究[J].中国农机化,2009,(4):48-50.

[8] 闫盼盼,曹肆林,罗昕,等.弹齿链耙式播前残膜回收机的设计研究[J].农机化研究,2016,38(6):137-142.

[9] 卢勇涛,曹肆林,王敏,等.ISMC-2.0 链耙式播前膜茬回收机的研制[J].新疆农机化,2015,(6):7-9.

[10] 营雨琨,陈学庚,曹肆林,等.抖动栅条式残膜回收机的研制[J].新疆农垦科技,2017,40(5):26-28.

[11] 戴飞,赵武云,孙伟,等.马铃薯收获与气力辅助残膜回收联合作业机设计与试验[J].农业机械学报,2017,48(1):64-72.

[12] 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,2007:129-176.

[13] 谢建华,唐炜,张学军,等.摆杆驱动式残膜回收机的设计与参数优化[J].农业工程学报,2019,35(4):56-63.

[14] 康建明,彭强吉,王士国,等.弹齿式残膜回收机捡拾装置改进设计与试验[J].农业机械学报,2018,49(S1):295-303.

[15] 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.

[16] 全国农业机械标准化技术委员会.GB/T 25412-2010 残地膜回收机[S].北京:中国标准出版社,2010.

[17] 孙岳,简建明,田玉泰,等.残膜回收机旋转式起膜装置起膜机理分析与试验[J].农业机械学报,2018,49(S1):304-310.

[18] 由佳翰,张本华,温浩军,等.铲齿组合式残膜捡拾装置设计与试验优化[J].农业机械学报,2017,48(11):97-104.

[19] 康建明,王士国,颜利民,等.残膜回收机起膜铲设计与试验[J].农业机械学报,2016,47(S1):143-148.

[20] 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.

[21] 李斌,王吉奎,胡凯,等.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.

[22] 谢建华,张凤贤,陈学庚,等.弧形齿滚扎式残膜回收机的设计及参数优化[J].农业工程学报,2019,35(11):26-37.