

铲齿组合式残膜捡拾装置设计与试验优化

由佳翰¹ 张本华¹ 温浩军² 康建明³ 宋玉秋¹ 陈学庚²

(1. 沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110866; 2. 新疆农垦科学院机械装备研究所, 石河子 832000;

3. 山东省农业机械科学研究院, 济南 250100)

摘要: 针对新疆平作区棉花残膜回收机起膜、拾膜分步作业造成残膜回收率低、含杂率高的问题,提出了起膜、拾膜协同作业的思路,设计了一种铲齿组合式(同步起膜、拾膜)残膜回收装置。通过对起膜铲起膜机理进行分析,确定了起膜铲导曲面参数方程和主要结构参数;通过对捡拾滚筒拾膜过程运动及受力分析,确定了拾膜齿杆能够“扎”起残膜的必要条件。运用 Design-Expert 8.0.6 数据分析软件中心组合试验方法对组合式残膜捡拾装置的关键参数进行了试验,建立了起膜铲入土角、捡拾滚筒转速、机具前进速度与残膜回收率和含杂率的三元二次回归模型。采用非线性优化计算方法,对影响因素进行综合优化计算。试验结果表明:当起膜铲入土角为 30°、拾膜滚筒转速为 120 r/min、机具前进速度为 1.0 m/s 时,残膜回收率为 90.3%,含杂率为 4.1%,比起膜、拾膜分步作业条件下的残膜回收率提高了 5.3 个百分点,含杂率降低了 4.8 个百分点。试验指标均达到了国家和行业标准要求,试验结果满足设计要求。

关键词: 残膜回收; 铲齿组合; 参数优化

中图分类号: S222.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2017)11-0097-08

Design and Test Optimization on Spade and Tine Combined Residual Plastic Film Device

YOU Jiahao¹ ZHANG Benhua¹ WEN Haojun² KANG Jianming³ SONG Yuqiu¹ CHEN Xuegeng²

(1. College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China

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

3. Shandong Academy of Agricultural Machinery Science, Jinan 250100, China)

Abstract: Plastic film mulching cultivation technique has the characteristics of increasing temperature and conserving soil moisture and improving the crop fertility conditions. It is an effective measure to realize the early maturing, high quality, high yield and high economic benefit. However, with the expansion of plastic mulching planting area, the plastic film had a serious impact on the root growth, emergence and yield of crops. The mechanized film recycling is an effective means to solve the problem of residual film pollution. There are many ways of recycling equipment, but from the actual use of view, there are some problems. Aiming at the problems of low film recycling rate and high impurity rate, the idea of putting spading film and picking film together was proposed, and a combined type (synchronous spading and picking up) residual film collector device was designed. By analyzing the mechanism of spade film formation, the parametric equation and the main structural parameters of spalling surface were established. Through the analysis of movement and force of pick-up roller, the necessary conditions for the tine to “tie” the residual film were determined. Design-Expert 8.0.6 was used to test the key parameters of the combined residual film pick-up device. The ternary quadratic regression model was established, which included penetrating angle of film releasing shovels, rotational speed of picking roller, forward speed of machine, and film recycling rate and impurity rate. The nonlinear optimization method was used to optimize the influence factors. The results showed that the film recycling rate was 90.3% and the impurity rate was 4.1% when the angle of film releasing shovels was 30°, the rotational speed of picking roller was 120 r/min, and the forward speed was 1.0 m/s. The film recycling rate was increased

收稿日期: 2017-02-27 修回日期: 2017-03-16

基金项目: 农业部公益性行业科研专项(201503105)和中国工程院咨询项目(2017-XZ-18)

作者简介: 由佳翰(1988—),男,博士生,主要从事农业机械装备及关键技术研究,E-mail: synydxjh@163.com

通信作者: 陈学庚(1947—),男,研究员,中国工程院院士,主要从事农业机械装备及关键技术研究,E-mail: chenxg130@sina.com

by 5.3 percentage points and the impurity rate was decreased by 4.8 percentage points, compared with the spade and tine step by step. Test indicators reached the national and industry standards, and the test results met the design requirements.

Key words: residual plastic film collecting; combination of spade and tine; parameter optimization

引言

地膜覆盖栽培技术具有增温保墒、改善农作物生育条件等特点,是实现农作物早熟、优质、高产和获取较高经济效益的有效措施^[1-3]。农用地膜的主要成分是聚烯烃类化合物,极难降解,且由于破碎、深埋等原因有很大一部分不能彻底回收^[4]。随着地膜覆盖种植面积的逐年扩大,农田中积累的废旧地膜对农作物根系生长、出苗和产量产生了严重影响^[5-7]。

机械化残膜回收是解决残膜污染问题的有效手段。现有的残膜回收方式主要有滚筒式^[8]、铲筛式^[9]、链齿式^[10]、夹持输送式^[11]等,这些残膜回收机械在一定程度上解决了土壤“白色污染”问题,但从实际使用情况来看,仍存在提升和完善的空间。滚筒式残膜回收机在实际作业时存在缠膜、壅土等问题;铲筛式残膜回收机残膜回收率高、但输膜性能较差;链齿式残膜回收机壅土、漏膜、缠膜现象严重;夹持输送式残膜回收机在实际作业时效率低,漏膜严重。针对目前残膜回收机存在的问题,国内学者对上述机型均有一定的研究^[12-14],但对起膜、拾膜组合式残膜回收机具研究较少,且未对其关键部件结构和工作参数进行优化。本文针对新疆平作区棉花残膜回收机起膜、拾膜分步作业造成残膜回收率低、含杂率高的问题,提出起膜、拾膜协同作业的思路,设计一种组合式(同步起膜、拾膜)残膜回收装置,通过对其关键结构进行理论和试验研究,以期为铲齿组合式残膜回收机设计与优化提供参考。

1 铲齿组合式残膜回收机总体设计

1.1 地膜覆盖栽培种植模式与残膜分布特点

地膜覆盖栽培是先在地面上盖一层地膜,随后将作物种子在膜上打孔播入土壤;或是先将作物种子播入土壤,然后在地面上盖一层地膜^[15-17],如图1所示。为防止膜边被风吹起,常用碎土将膜边压实,秋后的残膜主要分布在膜面和膜边,膜面的残膜易于回收,膜边的残膜被碎土压实,难以回收。图中, W_1 为膜边宽度,mm; W_2 为膜面宽度,mm; S_1 为作物窄行距,mm; S_2 为作物宽行距,mm。

1.2 结构与工作原理

铲齿组合式残膜回收机主要由悬挂装置、传动

系统、秸秆粉碎装置、行走轮、拾膜齿杆、捡拾滚筒、起膜铲、离心风机和残膜存储箱等部分组成,其中起膜铲和捡拾滚筒属于残膜捡拾装置,样机具体结构如图2所示。

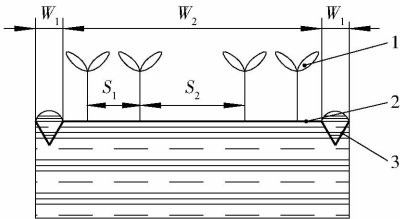


图1 棉花地膜覆盖栽培种植模式示意图

Fig.1 Schematic of plastic film mulching cultivation mode

1. 农作物 2. 膜面 3. 膜边

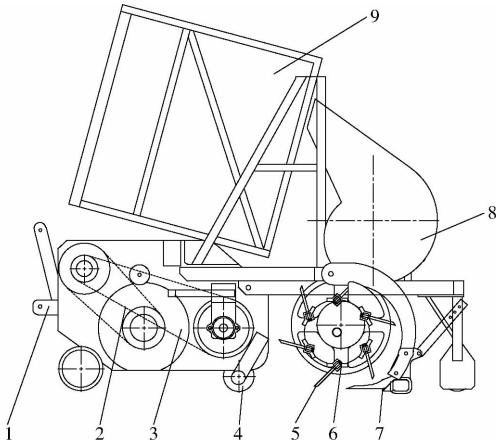


图2 铲齿组合式残膜回收机结构简图

Fig.2 Structural diagram of combined residual plastic film

1. 悬挂装置 2. 传动系统 3. 秸秆粉碎装置 4. 行走轮 5. 拾膜齿杆 6. 捡拾滚筒 7. 起膜铲 8. 离心风机 9. 残膜存储箱

工作时,机具以三点悬挂的方式与拖拉机挂接,拖拉机动力输出轴将动力传递至秸秆粉碎装置,作物秸秆粉碎后被抛向一侧,起膜铲在自身重力和入土刃角的共同作用下滑动进入膜下土壤并将残膜揭起,残膜在起膜铲上向后滑移,当滑移至与拾膜齿杆接触时,残膜被旋转的拾膜齿杆“扎”起,附着在拾膜齿杆上的残膜被运送至卸膜机构,在离心风机的作用下被吹入残膜存储箱。

2 残膜捡拾装置结构与参数设计

2.1 起膜铲

2.1.1 起膜铲导曲面的设计

起膜装置主要由起膜铲、前立柱、限深板、后立柱等组成,整个装置与双向平行四杆仿形机构刚性

连接,如图 3 所示。

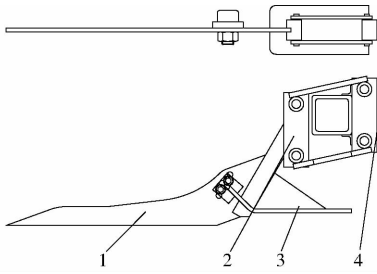


图 3 起膜装置结构简图

Fig. 3 Structural diagram of loosen film shovel

1. 起膜铲 2. 前立柱 3. 限深板 4. 后立柱

为使起膜铲上尽可能多地积累残膜并且使残膜在机具前进过程中能平稳地向后滑移,在起膜铲表面设计一段抛物线状的导曲面,其轮廓曲线如图 4 中曲线 AB 所示。导曲面的轮廓曲线直接影响残膜在起膜铲上的累积量和滑移程度,抛物线形导曲线的尺寸和形状确定方法如下:

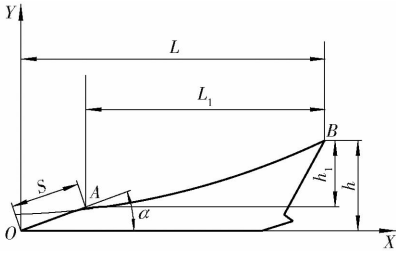


图 4 起膜铲轮廓曲线

Fig. 4 Contour curve of loosen film shovel

以起膜铲铲尖建立直角坐标系 OXY ,导曲线抛物线部分的高度 h_1 及开度 L_1 为

$$\begin{cases} h_1 = h - S \sin \alpha \\ L_1 = L - S \cos \alpha \end{cases} \quad (1)$$

则 A 点坐标为 $(S \cos \alpha, S \sin \alpha)$, B 点坐标为 (L, h) ,起膜铲导曲线方程为

$$x^2 + \frac{2(ut \tan \alpha + z)}{(u - z \tan \alpha)^2} xy + \frac{(ut \tan \alpha + z)^2}{(u - z \tan \alpha)^2} y^2 + \frac{4un^2 \tan \alpha}{(u - z \tan \alpha)^2} x - \frac{4uz^2}{(u - z \tan \alpha)^2} y = 0 \quad (2)$$

其中 $u = h_1 - L_1 \tan \alpha$ $z = h_1 \tan \alpha + L_1$

式中 h_1 ——曲线轮廓垂直距离, mm

L_1 ——曲线轮廓水平距离, mm

h ——起膜铲垂直距离, mm

L ——起膜铲水平距离, mm

α ——起膜铲入土角, ($^\circ$)

S ——起膜铲铲尖长度, mm

式(2)即为导曲线的抛物线部分方程式,导曲线的形状与 α 、 L_1 、 h_1 有关,根据整机设计空间结构要求, $L_1 = 300$ mm, $h_1 = 120$ mm。入土角 α 的最佳取值将通过试验进行确定。

2.1.2 起膜铲入土角

起膜铲入土角 α 的作用是将残膜抬起一定高度,使拾膜弹齿容易捡拾残膜,入土角的大小直接影响起膜质量和捡拾效果,通过对起膜铲铲尖处(残膜即将在铲面运动的临界时刻)残膜的受力可以间接推算出起膜铲入土角的理论值,起膜铲上残膜 M 的受力如图 5 所示。

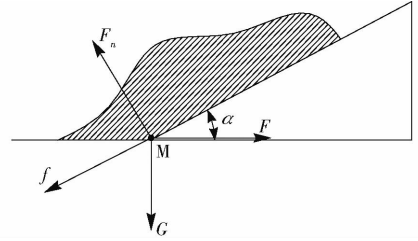


图 5 残膜受力示意图

Fig. 5 Stress diagram of residual plastic film

残膜 M 能够沿铲面向上运动的条件为

$$F \cos \alpha \geq G \sin \alpha + f \quad (3)$$

$$\text{其中 } f = \mu (G \cos \alpha + F \sin \alpha) \quad (4)$$

$$\text{则 } \alpha \leq \arctan \frac{F - \mu G}{G + \mu F} \quad (5)$$

式中 G ——残膜重力, N

f ——铲面对残膜的摩擦力, N

μ ——起膜铲与残膜间的摩擦因数

F ——地面残膜对铲面上残膜的推力, N

由式(5)可知,起膜铲入土角与地面残膜对铲面上残膜的推力 F 、残膜重力 G 、起膜铲与残膜间的摩擦因数 μ 有关,入土角过大,起膜铲托起的残膜将会壅堵在起膜铲上,导致工作阻力的增加,增大能量消耗;入土角过小,则起膜铲不能将残膜托起至一定的高度,从而影响整机作业效果。根据文献[18],起膜铲入土角 α 取 $10^\circ \sim 30^\circ$ 时起膜效果最优,本设计通过试验确定起膜铲入土角 α 。

2.2 捡拾滚筒

捡拾滚筒的主要作用是将起膜铲上的残膜通过拾膜齿杆“扎”起,并将其运送至卸膜槽,主要由偏心轴、拾膜齿杆、卸膜槽、捡拾滚筒等组成,其结构如图 6 所示。

当拾膜齿杆“扎”起残膜上升时,残膜受力情况如图 7 所示。

假定 O 为滚筒转动中心, O_1 为拾膜齿杆转动中心; α_1 为拾膜齿杆偏心位置与竖直方向夹角, ($^\circ$); F_t 为残膜所受法向力, N; F_l 为残膜所受切向力, N; F_n 为切向力和法向力的合力, N。

设拾膜齿杆刚离开作业面时其位置与垂线夹角为

$$\alpha_2 = \arccos \frac{l-d}{l} \quad (6)$$

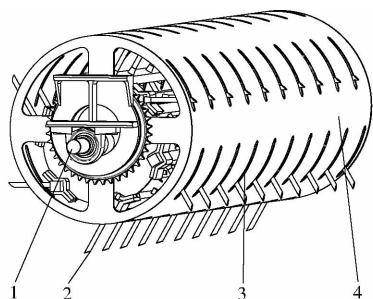


图6 捡拾滚筒结构图

Fig. 6 Schematic diagram of film collecting device

1. 偏心轴 2. 拾膜齿杆 3. 卸膜槽 4. 捡拾滚筒

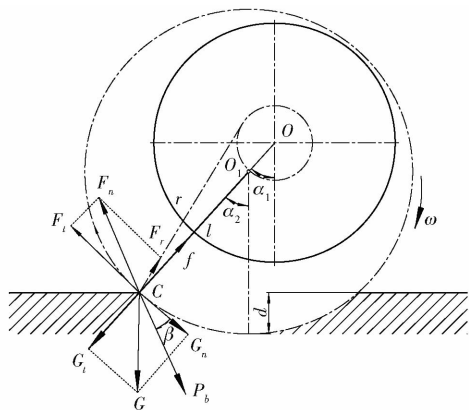


图7 残膜受力分析

Fig. 7 Force analysis of film collecting

式中 d ——拾膜齿杆最大作业深度, mm l ——拾膜齿杆回转半径, mm设拾膜齿杆端点 C 处残膜重力 G 为

$$G = mg \quad (7)$$

$$G_n = G \sin \alpha_2 \quad (8)$$

$$G_t = G \cos \alpha_2 \quad (9)$$

式中 m ——残膜质量, kg G_n ——重力沿拾膜齿杆方向的法向分力, N G_t ——重力沿拾膜齿杆方向的切向分力, N

设拾膜齿杆对残膜的法向作用力为

$$F_1 = G \sin \alpha_2 + P_b \cos \beta \quad (10)$$

其中

$$P_b = m r \omega^2 \quad (11)$$

式中

 P_b ——残膜所受的惯性力, N β ——惯性力与重力法向分力间夹角, ($^\circ$) r ——残膜运动时的瞬时半径, mm ω ——拾膜齿杆端点 C 处角速度, rad/s

则使拾膜齿杆能够“扎”起残膜运动的必要条件为

$$f \geq G_t + P_b \sin \beta \quad (12)$$

$$f = \mu N \quad (13)$$

$$N = G_n + P_b \cos \beta \quad (14)$$

$$\text{即 } \mu G \left(\sin \alpha_2 + \frac{\omega^2 r}{g} \cos \beta \right) \geq G \left(\cos \alpha_2 + \frac{\omega^2 r}{g} \sin \beta \right) \quad (15)$$

式(15)可简化为

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \geq \sqrt{\frac{g(\cos \alpha_2 - \mu \sin \alpha_2)}{r(\mu \cos \beta - \sin \beta)}} \quad (16)$$

式中 n ——捡拾滚筒转速, r/min当 $\cos \alpha_2 - \mu \sin \alpha_2 > 0$ 和 $\mu \cos \beta - \sin \beta > 0$ 时, 式(16)才有意义。以试验样机为例, 取 $\mu = 0.5$, $\alpha_2 = 52.5^\circ$, $r = 0.4$ m, $\beta = 25^\circ$ 时, 计算得出 $\omega > 10.12$ rad/s, 即 $n > 97$ r/min。

3 田间试验

3.1 试验设备与条件

试验于2016年10月3—10日在石河子市149团11连进行。试验地块面积1 hm², 前茬作物为棉花, 宽行行距为660 mm, 窄行行距为110 mm, 地膜宽度2 050 mm, 地膜厚度0.008 mm, 地膜两边压入土中, 膜面有少量破损。试验设备为课题组自行研制的铲齿组合式残膜回收机以及转速测试仪、米尺、电子秤等, 图8为试验现场。



图8 田间试验

Fig. 8 Field trial

3.2 试验因素与性能指标

起膜铲入土角对残膜回收质量有较大影响, 为保证拾膜弹齿能够足量的“扎”起残膜, 根据前面分析及加工工艺, 试验选取起膜铲入土角的3个水平为10°、20°和30°。

捡拾滚筒转速对捡拾作业的效率 and 性能有较大影响。转速过大, 拾膜弹齿会对残膜过度打击, 使残膜进一步破碎, 加剧回收难度; 转速过小, 影响机具的工作效率, 根据上述理论分析, 捡拾滚筒转速最小值应大于100 r/min, 结合实际作业情况及整机传动限制, 本次试验选取捡拾滚筒转速的3个水平为100、110、120 r/min。

前进速度对工作效率和机具的可靠性有较大影响, 当前进速度小于0.5 m/s时, 会导致作业效率过低以及出现塞土现象; 前进速度大于1.5 m/s时, 会发生漏膜。根据拖拉机挡位及实际作业情况, 本次试验选取前进速度的3个水平为0.5、1.0、1.5 m/s。试验因素编码如表1所示。

表 1 试验因素编码

Tab.1 Experiment factors and code

编码	因素		
	起膜铲入土角	滚筒转速 $n/$	前进速度 $v/$
	$\alpha/(^{\circ})$	($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
-1	10	100	0.5
0	20	110	1.0
1	30	120	1.5

收膜性能良好、无壅土缠膜现象是铲齿组合式残膜回收机能够连续作业的必要条件,残膜回收率和残膜含杂率是衡量其性能的主要指标,计算式为

$$\eta = \frac{m_1}{m_0} \times 100\%$$
 (17)

式中 η ——残膜回收率,%
 m_0 ——试验地块所铺地膜的总质量,kg
 m_1 ——残膜回收后的质量,kg

$$\xi = \frac{m_2}{m_1} \times 100\%$$
 (18)

式中 ξ ——残膜含杂率,%
 m_2 ——回收后残膜中杂质的质量,kg

3.3 试验方法及数据处理

在残膜回收作业中存在很多影响残膜回收率和残膜含杂率的非线性因素,通常可以选用 2 次或者更高次的模型来逼近响应^[19-20],本次试验以起膜铲入土角 α 、捡拾滚筒转速 n 和机具前进速度 v 作为试验因素(X_1 、 X_2 和 X_3 表示编码值),以残膜回收率 η 和残膜含杂率 ξ 作为响应值(分别以 Y_1 和 Y_2 表示)。试验方案及结果如表 2 所示。

采用 Design-Expert 8.0.6 分析软件对试验数据

表 3 模型显著性检验

Tab.3 Significance test of model

变异来源	残膜回收率 Y_1				残膜含杂率 Y_2			
	自由度	均方	F_1	P_1	自由度	均方	F_2	P_2
模型	9	66.62	54.02	<0.000 1	3	14.57	19.85	<0.000 1
X_1	1	253.13	38.06	0.000 5 **	1	24.50	23.29	0.000 3 **
X_2	1	72.00	10.83	0.019 3 *	1	1.81	1.72	0.212 9
X_3	1	83.12	3.29	0.017 6 *	1	17.40	16.55	0.001 3 **
X_1X_2	1	81.25	3.05	0.018 5 *				
X_1X_3	1	9.00	1.35	0.282 8				
X_2X_3	1	70.25	4.55	0.019 0 *				
X_1^2	1	14.41	2.17	0.184 5				
X_2^2	1	64.04	9.63	0.017 2				
X_3^2	1	144.09	21.67	0.002 3				
残差	7	6.65			13	1.05		
失拟	3	14.58	20.83	0.160 8	9	1.38	4.57	0.178 7
误差	4	0.70			4	0.30		

注: * 表示差异显著($p < 0.05$), ** 表示差异极显著($p < 0.01$)。

表 2 试验方案与结果

Tab.2 Experiment scheme and results

编号	入土角 X_1	滚筒转速 X_2	前进速度 X_3	回收率/ %	含杂 率/%
1	1	1	0	75	4.3
2	0	0	0	84	6.3
3	-1	-1	0	83	5.5
4	1	0	1	84	6.0
5	-1	1	0	72	4.2
6	0	0	0	83	6.4
7	1	-1	0	82	6.7
8	-1	0	1	80	6.4
9	0	-1	1	80	12.0
10	0	0	0	84	6.8
11	0	1	-1	74	3.4
12	0	0	0	84	5.2
13	0	1	1	68	6.4
14	0	-1	-1	94	8.0
15	0	0	0	82	5.4
16	1	0	-1	90	6.3
17	-1	0	-1	85	4.7

进行分析处理。通过 t 检验对回归模型各因素影响的显著性进行检验,采用非线性优化计算方法,结合 Matlab 软件优化工具箱,对残膜回收性能进行优化计算,获得符合要求的最佳参数组合。

4 试验结果分析与参数优化

4.1 试验结果分析

4.1.1 回归分析

应用 Design-Expert 软件对表 2 中数据拟合并进行方差分析,可得回归系数及其显著性检验如表 3 所示。

由表3可知,对于残膜回收率,模型的显著性检验 $F_1 = 54.02, P < 0.0001$,说明二次回归方程的检验达到高度显著;且失拟性检验 $F_1 = 20.83, P > 0.1$,为不显著;对于残膜含杂率,模型的显著性检验 $F_2 = 19.85, P < 0.0001$,且失拟性检验 $F_2 = 4.57, P > 0.1$,为不显著,说明在试验范围内模型的拟合性非常好,此模型适用于3个因素对残膜回收率和残膜含杂率的分析 and 预测。

残膜回收率的回归方程式为

$$Y_1 = 83.40 + 1.38X_1 - 6.25X_2 - 3.88X_3 + 1.00X_1X_2 - 0.25X_1X_3 + 2.00X_2X_3 + 0.17X_1^2 - 5.58X_2^2 + 1.18X_3^2 \quad (19)$$

残膜含杂率的回归方程式为

$$Y_2 = 6.12 + 0.31X_1 - 1.74X_2 + 1.05X_3 \quad (20)$$

4.1.2 响应面分析

为更直观地分析残膜回收率和残膜含杂率与起膜铲入土角 α 、捡拾滚筒转速 n 、机具前进速度 v 之间的关系,借助 Design-Expert 软件的图形设计技术,绘制直观、形象的残膜回收率和残膜含杂率与影响因素的三维曲面图,如图9所示。

由表3和图9可知,影响因素对残膜回收率影响的主次顺序是起膜铲入土角、捡拾滚筒转速、机具前进速度,且影响因素对残膜回收率存在交互作用。由图9a知,随着起膜铲入土角和滚筒转速的增加,

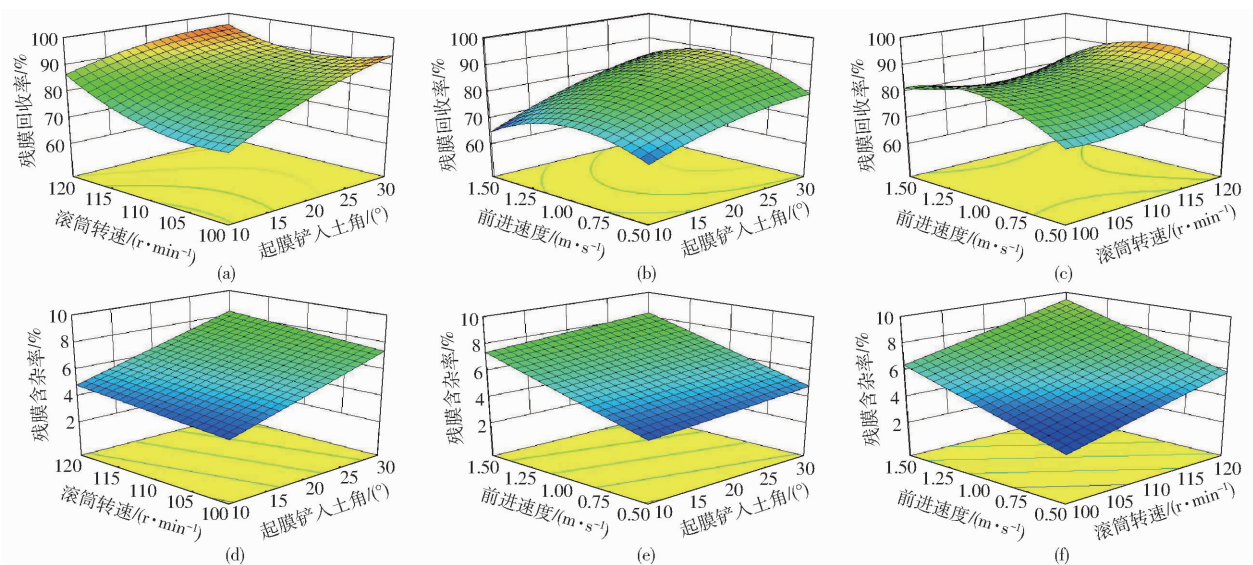


图9 各因素对残膜回收性能的影响

Fig. 9 Influence of factors on residual film recycling performance

残膜回收率逐渐增大,但相应的残膜含杂率也呈现增大趋势,故在保证残膜回收率较大的条件下尽量降低起膜铲入土角度和捡拾滚筒转速。由图9b知,随着机具前进速度的增大,残膜回收率呈现先增大后减小的趋势,在前进速度为1.0 m/s时达到最大值,这是因为前进速度过大时,拾膜杆齿在较短的时间内无法将起膜铲上的残膜“扎”起,导致残膜回收率降低,起膜铲角度大于20°时,残膜回收率呈现平稳。由图9c知,当捡拾滚筒转速在0~110 r/min时,残膜回收率的波动较小,当转速大于110 r/min时,残膜回收率有较大幅度的增长,这是因为转速较高时,拾膜杆齿可以连续地将起膜铲上的残膜“扎”起,避免了残膜在输送过程中出现“断流”。但转速过大也会对残膜造成过度打击,使残膜进一步破碎,加剧回收难度。机具前进速度的增大仍然使残膜回收率呈现先增大后减小的趋势。

由图9d、9e和9f可知,随着起膜铲入土角、捡拾滚筒转速和机具前进速度的增大,残膜含杂率均

呈现上升趋势。影响因素对残膜含杂率影响的主次顺序是起膜铲入土角、机具前进速度、捡拾滚筒转速,影响因素对残膜回收率不存在交互作用。因此,在实际作业时,为降低残膜含杂率,应在保证残膜回收率的条件下,参数尽量选取较小值。

4.2 参数优化与验证

残膜回收率和残膜含杂率是反映机具残膜回收效果的重要指标,在试验范围内要求残膜回收率越大越好,残膜含杂率越小越好。应用 Design-Expert 软件的寻优功能对其进行优化,如表4所示。预测的最佳试验条件为:起膜铲入土角30°,捡拾滚筒转速120 r/min,机具前进速度1.0 m/s,预测残膜回收率为92.8%,含杂率为3.4%。

为验证优化结果的可行性,现按预测的数值进行试验,设定起膜铲入土角30°,捡拾滚筒转速120 r/min,机具前进速度1.0 m/s。试验进行3次取平均值,最后得出试验残膜回收率为90.3%,残膜含杂率为4.1%,与预测值的误差小于3%,试验结

表 4 优化结果与试验值对比

Tab.4 Comparison of optimization results with actual values

项目	入土角/ (°)	滚筒转速/ (r·min ⁻¹)	前进速度/ (m·s ⁻¹)	回收 率/%	含杂 率/%
预测	30	120	1.0	92.8	3.4
实际	30	120	1.0	90.3	4.1
分步作业	30	120	1.0	85.0	8.9

果与预测值很接近,验证了所建模型的准确性。同时将试验结果与起膜、拾膜分步作业条件下的残膜回收机相比较,试验结果表明:起膜、拾膜组合式作业比起膜、拾膜分步作业残膜回收率提高 5.3 个百分点,含杂率降低 4.8 个百分点,完全符合残膜回收作业的要求。

5 结论

(1)设计了一种铲齿组合式残膜捡拾装置,起

膜铲和捡拾滚筒协同作业,整体结构有利于提高残膜回收率,降低残膜含杂率。

(2)起膜铲入土角、捡拾滚筒转速和机具前进速度对残膜回收率和残膜含杂率均有显著影响,且影响强弱次序为起膜铲入土角、捡拾滚筒转速、机具前进速度。影响因素与残膜含杂率不存在交互作用,随着起膜铲入土角、捡拾滚筒转速和机具前进速度的增大,残膜含杂率均呈现上升趋势。

(3)应用 Design-Expert 软件的寻优功能对其进行优化,优化后起膜铲入土角为 30°,捡拾滚筒转速为 120 r/min,机具前进速度为 1.0 m/s,此时残膜回收率为 90.3%,残膜含杂率为 4.1%,与预测值之间的误差小于 3%,同时比起膜、拾膜分步作业残膜回收率提高 5.3 个百分点,含杂率降低 4.8 个百分点,完全符合残膜回收作业的要求。

参 考 文 献

1 段文献,王吉奎,李阳,等.夹指链式残膜回收装置的设计及试验[J/OL].农业工程学报,2016,32(19):35-42. http://www.tcsae.org/nygxb/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20161905&journal_id=nygxb=1. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.19.005.
DUAN Wenxian,WANG Jikui,LI Yang,et al. Design and test of clamping finger-chain type device for recycling agricultural plastic film[J/OL]. Transactions of the CSAE,2016,32(19):35-42. (in Chinese)

2 于云海,陈学庚,温浩军.秸秆粉碎与残膜集条联合作业机的研制与试验[J/OL].农业工程学报,2016,32(24):1-8. http://www.tcsae.org/nygxb/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20162401&journal_id=nygxb=1. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.24.001.
YU Yunhai,CHEN Xuegeng,WEN Haojun. Development and experiment of straw chopping and plastic film strip-collection combined machine[J/OL]. Transactions of the CSAE,2016,32(24):1-8. (in Chinese)

3 张德学,张广玲,吕钊钦.马铃薯地表残膜回收机的设计[J].农机化研究,2014,36(8):111-113.
ZHANG Dexue,ZHANG Guangling,LÜ Zhaoqin. Design of residual film recovery machine used on surface for potato[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2014,36(8):111-113. (in Chinese)

4 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 CSAE,2006,22(11):269-272. (in Chinese)

5 赵岩,陈学庚,温浩军,等.农田残膜污染治理技术研究现状与展望[J/OL].农业机械学报,2017,48(6):1-14. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20170601&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.06.001.
ZHAO Yan,CHEN Xuegeng,WEN Haojun,et al. Research status and prospect of control technology for residual plastic film pollution in farmland[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2017,48(6):1-14. (in Chinese)

6 李仙岳,岳海滨,吕烨,等.土壤中不同残膜量对滴灌入渗的影响及不确定性分析[J/OL].农业工程学报,2013,29(8):84-90. http://www.tcsae.org/nygxb/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20130810&journal_id=nygxb=1. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2013.08.010.
LI Xianyue,SHI Haibin,LÜ Ye,et al. Effects of different residual plastic film quantities in soil on drip infiltration and its uncertainty analysis[J/OL]. Transactions of the CSAE,2013,29(8):84-90. (in Chinese)

7 董合干,刘彤,李勇冠,等.新疆棉田地膜残留对棉花产量及土壤理化性质的影响[J/OL].农业工程学报,2013,29(8):91-99. http://www.tcsae.org/nygxb/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20130811&journal_id=nygxb=1. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2013.08.011.
DONG Hegan,LIU Tong,LI Yongguan,et al. Effects of plastic film residue on cotton yield and soil physical and chemical properties in Xinjiang[J/OL]. Transactions of the CSAE,2013,29(8):91-99. (in Chinese)

8 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 CSAE, 2000, 16(6): 68–71. (in Chinese)
- 9 游兆延, 顾峰玮, 吴峰, 等. 垄作花生残膜回收技术研究[J]. 农机化研究, 2016, 38(1): 207–211.
YOU Zhaoyan, GU Fengwei, WU Feng, et al. Technology research on peanut residue film recycling[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, 38(1): 207–211. (in Chinese)
- 10 张磊. 链条式薯类残膜回收机的设计[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
ZHANG Lei. Design of chain-type plastic film collector for potato[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- 11 明光, 毕新胜, 王晓东, 等. 夹持输送式残膜捡拾机气力脱膜机理研究[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(7): 1–5.
MING Guang, BI Xinseng, WANG Xiaodong, et al. Research on mechanism of air force separating residual film from gripping and delivering residual plastic film collector[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(7): 1–5. (in Chinese)
- 12 杨莹, 靳伟, 张学军. 残膜回收机捡拾装置的研究[J]. 机械, 2016(4): 73–76.
YANG Ying, JIN Wei, ZHANG Xuejun. Study of residual film recycling machine pick up mechanism[J]. Mechanization, 2016(4): 73–76. (in Chinese)
- 13 严伟, 胡志超, 游兆延, 等. 3种残膜回收机的作业性能对比试验研究[J]. 农机化研究, 2017, 39(3): 197–202.
YAN Wei, HU Zhichao, YOU Zhaoyan, et al. Comparative experimental study on working performance of three kinds of residue plastic film collectors[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2017, 39(3): 197–202. (in Chinese)
- 14 严伟, 胡志超, 周新星, 等. 残膜回收机拾膜机构研究现状及展望[J]. 农机化研究, 2016, 38(10): 258–262.
YAN Wei, HU Zhichao, ZHOU Xinxing, et al. Present situation of research and expectation on picking-up mechanism of plastic film collectors[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, 38(10): 258–262. (in Chinese)
- 15 王雪芳. 不同条件下残膜回收技术试验研究[J]. 现代农业科技, 2015(4): 190–194.
WANG Xuefang. Residual film recovery technology experiments under different conditions[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2015(4): 190–194. (in Chinese)
- 16 康建明, 王士国, 陈学庚, 等. 同步铺膜铺管旱作水稻播种机的设计与试验[J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(2): 124–131.
KANG Jianming, WANG Shiguo, CHEN Xuegeng, et al. Design and experiment of synchronous laying membrane and irrigation pipe for dry-land rice planter[J]. Journal of China Agricultural University, 2016, 21(2): 124–131. (in Chinese)
- 17 康建明, 陈学庚, 王士国, 等. 超窄行棉花精量排种器设计与性能试验[J]. 甘肃农业大学学报, 2016, 51(2): 134–139.
KANG Jianming, CHEN Xuegeng, WANG Shiguo, et al. Design and experiment of precise metering device for cotton ultra narrow row[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2016, 51(2): 134–139. (in Chinese)
- 18 康建明, 王士国, 颜利民, 等. 残膜回收机起膜铲设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(增刊): 143–148. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2016s022&journal_id=jcsam=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.S0.022.
KANG Jianming, WANG Shiguo, YAN Limin, et al. Design and experiment of loosen shovel installed on plastic film collecting machine[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(Supp.): 143–148. (in Chinese)
- 19 康建明, 李树君, 杨学军, 等. 正弦指数曲线型开沟刀片结构参数优化[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(11): 91–99. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20161112&journal_id=jcsam=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.11.012.
KANG Jianming, LI Shujun, YANG Xuejun, et al. Structure parameters optimization of sine exponential curve type ditching blade[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(11): 91–99. (in Chinese)
- 20 康建明, 陈学庚, 温浩军, 等. 基于响应面法的梳齿式采棉机采收台优化设计[J/OL]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊2): 57–61. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2013s212&journal_id=jcsam=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S2.012.
KANG Jianming, CHEN Xuegeng, WEN Haojun, et al. Optimization of comb-type cotton picker device based on response surface methodology[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp.2): 57–61. (in Chinese)