

残膜回收机起膜铲设计与试验

康建明¹ 王士国¹ 颜利民¹ 王囡囡² 狄明利³ 杜佳伟³

(1. 新疆农垦科学院机械装备研究所, 石河子 832000; 2. 山东建筑大学机电工程学院, 济南 250101;
3. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083)

摘要: 起膜作业是残膜回收的重要环节,针对现有残膜回收机起膜装置存在可靠性低、起膜率低的问题,设计了一种滑刀式起膜装置。通过对起膜铲起膜机理进行分析,确定了导曲面参数方程和主要结构参数。以起膜铲间距、机具作业速度、入土角为试验因素,以起膜率为响应值,利用 Design-Expert 8.0.2 软件进行回归分析和响应面分析,得出各因素对起膜率的影响由大到小为:入土角、起膜铲间距、机具作业速度;建立了起膜率与入土角、起膜铲间距和机具作业速度的三元二次回归模型。采用非线性优化计算方法,对起膜铲的结构参数和工作参数进行优化计算。结果表明:当起膜铲间距为 220 mm,作业速度为 1.0 m/s,入土角为 30°时,起膜率理论最大值为 93.8%,验证试验表明该参数下的起膜率为 91.3%,理论值与试验值误差为 2.5%,验证了回归模型的正确性。

关键词: 残膜回收机; 起膜铲; 设计; 试验

中图分类号: S222.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)S0-0143-06

Design and Experiment of Loosen Shovel Installed on Plastic Film Collecting Machine

Kang Jianming¹ Wang Shiguo¹ Yan Limin¹ Wang Nannan² Di Mingli³ Du Jiawei³

(1. Mechanical Equipment Research Institute, Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science, Shihezi 832000, China
2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Shandong Jianzhu University, Ji'nan 250101, China
3. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Plastic film cultivation technology, which was hailed as “the second revolution of agricultural production”, had the effects of increasing temperature, conserving soil moisture, suppressing weed and boosting crop yield. However, the major ingredients of agricultural plastic mulching film are polyolefin compounds which are degradation-resistant. The mechanization of residual film recycling is an effective approach for solving pollution of residual films. The major operation procedures of residual film recycling include releasing film, collecting film and removing film, and unloading and releasing film operations are the crucial link of recycling residual films. Concerning existing releasing equipment of residual film collector had the problem of low reliability and film releasing rate, a runner-type film releasing equipment was designed. Through analysis on the film releasing mechanism of this equipment, its structural characteristics and dimension parameter were determined. Taking the space between film releasing shovels, forward speed and penetrating angle as influence factors and film releasing rate as response value, the influence of each factors on film releasing rate was calculated based on the regression analysis and response surface analysis with Design-Expert 8.0.2 software. The contribution of each factor to the influence on film releasing rate from big to small were penetrating angle, space between film releasing shovels and forward speed. Three-factor quadratic regression models between film releasing rate and

收稿日期: 2016-07-20 修回日期: 2016-08-17
基金项目: 新疆兵团重大科技专项(2014AA002-3)、农业部行业专项(201503105)和山东建筑大学博士科研基金项目(XNBS1325)
作者简介: 康建明(1984—),男,助理研究员,主要从事农业机械装备及关键技术研究,E-mail: kjm531@sina.com
通信作者: 王士国(1977—),男,副研究员,主要从事农业机械装备及关键技术研究,E-mail: 362256015@qq.com

penetrating angle of film releasing shovels, forward speed and space between film releasing shovels were established. Optimizing calculation of structure and working parameters of film releasing shovels was conducted through calculation method of nonlinear optimization. The results showed that when the space between film releasing shovels was 220 mm, forward speed was 1.0 m/s and penetrating angle was 30°, the theoretical maximal film releasing was 93.8%. Proof test indicated that the film releasing rate with these parameters was 91.3% and the error between theoretical value and trial value was 2.5%, which verified the correctness of regression model.

Key words: plastic film collecting machine; loosen film shovel; design; experiment

引言

地膜覆盖栽培具有增温保墒、抑制杂草生长、提高作物产量的功能^[1-3]。农用地膜的主要成分是聚烯烃类化合物^[4],极难降解。另外,由于每年使用的地膜未能得到及时回收,致使土壤中的残碎地膜越来越多,阻碍了作物根系对水肥的吸收和生长发育,降低了土壤的肥力水平。地膜覆盖栽培技术在给农业带来显著经济效益的同时,也给土壤带来了严重的污染^[5-7]。

机械化残膜回收是解决残膜污染问题的有效手段。残膜回收的作业工序主要包括:起膜、拾膜、脱膜和卸膜^[8]。由于作物灌溉和泥沙沉降使地膜紧贴于地表,且边膜埋于土壤中较深位置,因此造成残膜回收困难、回收率低。国内已研制出不同类型的残膜回收机具^[9]。文献[10-14]主要针对残膜捡拾机构的设计与研究,缺少对残膜回收起膜装置的研究与试验。本文以起膜铲导曲线方程为基础,设计一种滑刀式起膜装置,通过三元二次回归试验,分析结构和工作参数对起膜率的影响,建立数学模型并优化求解,获取最优参数,为残膜回收机起膜装置的设计提供参考。

1 起膜装置的结构及工作原理

借鉴深松铲与松垄割刀的设计原理,起膜装置的初步结构设计如图1所示,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

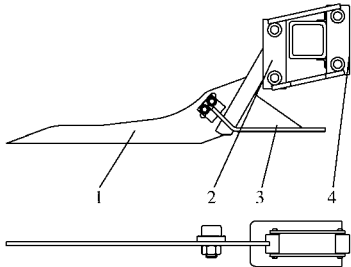


图1 起膜装置结构简图

Fig.1 Structural diagram of loosen film shovel

1.起膜铲 2.前立柱 3.限深板 4.后立柱

杆仿形机构刚性连接。工作时,拖拉机牵引残膜回收机前进,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,四杆仿形机构和限深板共同调节起膜铲的入土深度,并使起膜铲随地仿形,起膜铲入土挑起夹杂有地膜的土层,随后拾膜弹齿挑起地膜并向上运动,最后在脱膜装置的作用下将地膜刮入集膜箱。

2 起膜铲初步设计

2.1 起膜铲导曲面设计

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上向后滑移,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2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可以由以下参数来确定:

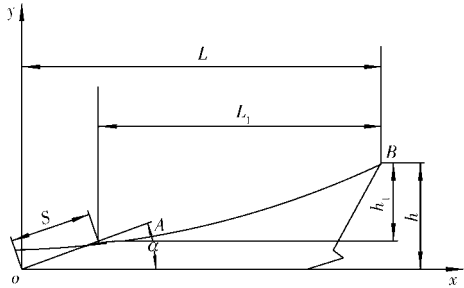


图2 起膜铲轮廓曲线

Fig.2 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

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

则 A 点坐标为 $(L - S \cos \alpha, h - S \sin \alpha)$, B 点坐标为 (L, h) , 依据文献[15-16],起膜铲导曲线方程为

$$x^2 + \frac{2(m \tan \alpha + n)}{(m - n \tan \alpha)^2} xy + \frac{(m \tan \alpha + n)^2}{(m - n \tan \alpha)^2} y^2 + \frac{4mn^2 \tan \alpha}{(m - n \tan \alpha)^2} x - \frac{4mn^2}{(m - n \tan \alpha)^2} y = 0 \tag{2}$$

其中 $m = h_1 - L_1 \tan \alpha$ $n = h_1 \tan \alpha + L_1$

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 直接影响导曲面曲线形状, 将通过试验对其数值进行确定。

2.2 起膜铲的排列方式

起膜效果与起膜铲的排列间距密切相关。若排列间距过大, 残膜无法被起膜齿托起, 造成残膜漏收; 若间距过小, 棉秆根茬会阻碍起膜齿前行, 且田间的石块等杂物无法从起膜齿间通过, 造成壅土, 给收膜造成很大影响。根据当前新疆棉花铺膜种植模式(株距 10 cm、行距 66 cm、两边覆土压膜各 7.5 cm), 初步设计相邻起膜铲间距 l 为 150 ~ 250 mm, 如图 3 所示。

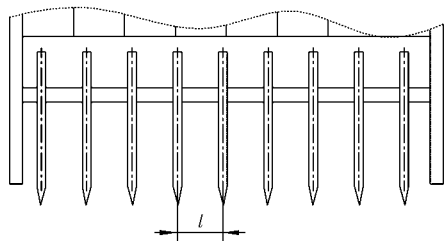


图3 起膜铲排列示意图

Fig. 3 Schematic diagram of array for loosen film shovel

2.3 起膜铲的受力分析

起膜铲的工作阻力与其本身结构参数、运动参数及作业地况有关^[17], 起膜铲工作时水平阻力为

$$F_L = \frac{1}{2} \rho g B T^2 \zeta_f \quad (3)$$

$$\text{其中} \quad \zeta_f = \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi_f}{2} \right) \quad (4)$$

式中 ρ ——土壤密度, kg/m³
 g ——重力加速度, N/kg
 B ——起膜铲宽度, m
 T ——作业深度, m
 ζ_f ——无量纲系数, 取决于摩擦特性及断裂条件
 φ_f ——摩擦角, ($^\circ$)

由式(3)可知, 起膜铲工作时的水平阻力与起膜铲宽度和作业深度呈线性关系, 水平阻力随起膜铲宽度和作业深度的增大而增大。实际工作中, 起膜铲入土深度为 3 cm, 考虑作业功耗的影响, 本设计中起膜铲宽度 d 初步设计为 50 mm。

2.4 起膜铲入土角

起膜铲入土角 α 是刀板刃线与其在地平面上

投影线的夹角, 如图 4 所示。入土角直接影响起膜铲起膜质量和效果。

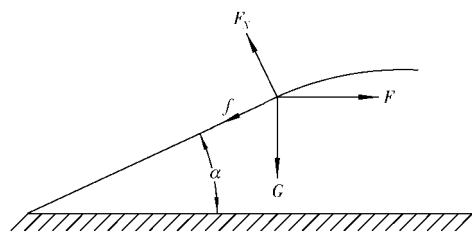


图4 起膜铲受力示意图

Fig. 4 Stress diagram of loosen film shovel

起膜铲处于受力平衡状态时, 其平衡方程为

$$\begin{cases} F \cos \alpha - f - G \sin \alpha = 0 \\ F_N - G \cos \alpha - F \sin \alpha = 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{其中} \quad f = \mu N \quad \alpha = \arctan \frac{F - \mu G}{\mu F + G}$$

式中 F ——起膜铲所受工作阻力, N
 F_N ——起膜铲所托残膜及杂物反作用力, N
 G ——所托残膜和杂物的重力, N
 f ——起膜铲上刃面对所托地膜和杂物的摩擦力, N
 μ ——起膜铲与杂物之间的摩擦因数

入土角过大, 起膜铲托起的地膜和杂物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, 从而影响整机的作业效果。根据文献[18], 起膜铲入土角 α 取 $10^\circ \sim 35^\circ$ 时起膜效果最好, 本设计通过试验确定起膜铲入土角 α 。

3 试验设计与起膜率模型的建立

3.1 试验设计

3.1.1 试验条件

起膜装置试验在新疆石河子市 145 团 3 连采棉机收获后的棉田进行, 棉花种植模式为 2 膜 12 行, 地膜宽度 2 050 mm, 厚度为 7 μ m, 膜边入土深度为 40 ~ 60 mm, 棉花行距为 660 mm + 100 mm, 株距为 130 mm, 棉花秸秆平均株高为 700 mm, 地面平整, 膜面上有少量棉铃壳、棉叶和土壤覆盖, 样机如图 5 所示, 配套动力由福田 904 轮式拖拉机牵引。

3.1.2 试验指标

起膜率直接反映了起膜装置的工作效果, 表示为

$$\eta = \frac{M_c}{M_a + M_c} \times 100\% \quad (6)$$

式中 η ——起膜率, %
 M_c ——起膜铲未铲起的地膜质量, kg
 M_a ——起膜铲铲起的地膜质量, kg



图5 田间试验
Fig.5 Field trial

3.1.3 试验因素

通过前期的设计分析,根据实际作业特点,可以确定影响起膜率的主要因素为:起膜铲间距 l 、作业速度 v 和入土角 α 。

3.1.4 试验方案

在试验地随机选取 50 m 长的测试区,由残膜回收机进行起膜试验。在每个测试区上先由残膜回收机作业起膜,然后由人工捡拾测区内未起的地膜,分别将地膜洗净、晾干后称量为 M_c 、 M_a ,利用式(6)计算本测试区地膜起膜率。

在起膜过程中存在很多影响起膜率的非线性因素,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。假设起膜率 η 与起膜铲间距 l 、作业速度 v 和入土角 α 存在函数关系 $\eta=f(l, v, \alpha)$,应用星点设计理论安排试验设计^[19-20]。起膜铲间距 l 、作业速度 v 和入土角 α 的编码值分别用 x_1 、 x_2 、 x_3 表示,对各因素进行水平编码如表 1 所示,试验方案及结果如表 2 所示。

表 1 试验因素水平编码

编码	因素		
	起膜铲间距	作业速度 $v/$	入土角 $\alpha/$
	l/mm	$(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$(^\circ)$
1.682	250	1.5	35
1	230	1.3	30
0	200	1.0	22.5
-1	170	0.7	15
-1.682	150	0.5	10

3.2 起膜率模型的建立与检验

应用 Design-Expert 8.0.2 软件包对表 2 中数据拟合并进行方差分析,结果如表 3 所示。

根据起膜率 η 统计分析可知,在 $p<0.05$ 水平上 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_1x_2 、 x_2x_3 、 x_1x_3 、 x_1^2 和 x_3^2 的系数显著,其余不显著。总模型的 p 值和决定系数 R^2 分别为 0.000 1 和 0.870 6,而失拟项的 p 值为 0.68,说明回

表 2 试验方案与结果

Tab.2 Experiment scheme and test results				
编号	x_1	x_2	x_3	起膜率 $\eta/\%$
1	-1	-1	-1	88.5
2	1	-1	-1	80.6
3	-1	1	-1	75.5
4	1	1	-1	85.2
5	-1	-1	1	76.5
6	1	-1	1	72.5
7	-1	1	1	78.7
8	1	1	1	75.7
9	-1.682	0	0	85.6
10	1.682	0	0	82.8
11	0	-1.682	0	85.6
12	0	1.682	0	88.5
13	0	0	-1.682	85.6
14	0	0	1.682	86.8
15	0	0	0	88.5
16	0	0	0	84.5
17	0	0	0	85.6

表 3 试验统计分析结果

Tab.3 Results of statistical analysis for experiment			
参数	系数	F	p
模型	92.80		
x_1	2.54	20.31 **	0.008 5
x_2	-1.11	13.02 *	0.044 7
x_3	-0.27	15.62 **	0.007 2
x_1x_2	-4.13	6.51 *	0.048 0
x_1x_3	10.15	8.48 *	0.005 0
x_2x_3	-5.35	7.64 *	0.042 0
x_1^2	-7.08	24.36 **	0.006 1
x_2^2	-3.74	3.89	0.055 3
x_3^2	-7.91	75.19 **	0.002 7
模型 p 值		0.000 1 **	
失拟 p 值		0.68	
R^2		0.870 6	

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。

从表 3 数据各因素 p 值可以看出,起膜铲间距、作业速度、入土角对起膜率均有显著性影响,且影响由大到小为:入土角、起膜铲间距、作业速度。由于二次项 x_1^2 、 x_3^2 和交互项 x_1x_2 、 x_1x_3 和 x_2x_3 均为显著,说明所选 3 因素与起膜率之间既存在二次非线性关系也存在交互作用。

将不显著项删除后得到各响应值的回归方程如下

$$\eta=92.8+2.54x_1-1.11x_2-0.27x_3-4.13x_1x_2+10.15x_1x_3-5.35x_2x_3-7.08x_1^2-7.91x_3^2$$

3.3 影响因素分析及参数优化

3.3.1 影响因素与起膜率的关系

图 6 为试验范围内起膜铲间距、作业速度和入

土角交互作用对起膜率的影响,其中 x_1x_3 交互作用最强烈, x_1x_2 和 x_2x_3 存在交互作用但相对较弱,这与前面方差分析结果一致。

从图 6a 可看出,随着起膜铲间距的增大,起膜率先增大后减小,这是由于起膜铲间距小于残碎地膜直径时,起膜铲容易将地膜托起,当起膜铲间距大于残碎地膜直径时,残碎地膜从相邻起膜铲的间隙漏出,导致起膜率下降。作业速度对起膜率的变化有较大影响,随着作业速度的增大,起膜率逐渐先增大后降低,这是因为作业速度越快,大量的地膜悬挂在起膜铲上,拾捡机构来不及将其缠绕输送,在振动作用下地膜又落回地面。从图 6b 可看出,随着起膜铲间距和入土角的增大,起膜率先增大后减小,这是

因为当起膜铲间距和入土角增大到一定程度时(起膜铲间距为 200 mm,入土角为 22°),地膜无法贴附与铲尖,致使起膜率呈下降趋势。等高线图表明,起膜率沿入土角方向的变化速率较起膜铲间距方向的变化速率高,即工作时起膜铲入土角对起膜率的影响大于起膜铲间距对起膜率的影响。从图 6c 可看出,入土角对起膜率的影响大于起膜铲宽度对起膜率的影响,入土角小于 0 水平时(实际值为 22°),随着入土角的增大,起膜率增大较明显;入土角大于 0 水平时(实际值为 22°),随着入土角的增大,起膜率增大较为缓慢,这是因为起膜铲角度大于地膜在起膜铲上的摩擦角时,地膜不易向上滑动,大量地膜拥堵在起膜铲尖,致使起膜率没有显著变化。

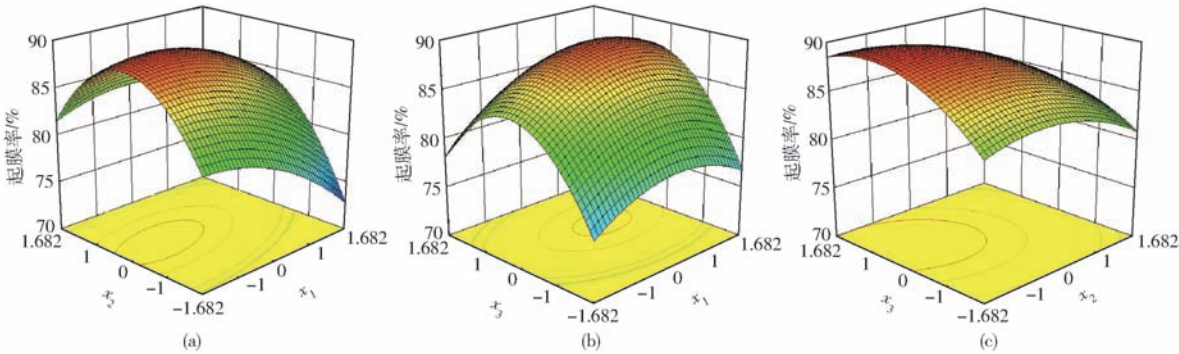


图 6 因素间相互作用与起膜率的关系

Fig. 6 Relationship between film loosening rate and factors interaction

3.3.2 参数优化

起膜工序是残膜回收作业最为关键的环节,起膜率是反映起膜效果最重要的指标,在试验范围内要求其值越大越好。以起膜率 η 取最大值为目标,应用 Design-Expert 8.0.2 的寻优功能对起膜装置的结构进行优化,待寻优因素的取值区间分别为:起膜铲间距:150 ~ 250 mm,作业速度:0.5 ~ 1.5 m/s,入土角:10° ~ 35°,结构参数优化结果如表 4 所示。

表 4 起膜装置优化结果

Tab. 4 Optimization results of plastic film collecting machine

参数	起膜铲间距 l/mm	作业速度 v / ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	入土角 $\alpha/(^{\circ})$	起膜率/%
数值	220	1.0	30	93.8

4 模型验证

为了验证优化结果的可行性,将起膜装置各参数按照表 4 设定,并在石河子市 145 团 3 连进行田间试验。试验共进行 3 次,单次起膜率按式(6)计

算,总起膜率取 3 次试验结果的平均值,最后得试验起膜率为 91.3%,与预测值的误差为 2.5%。试验结果与预测值很接近,验证了所建模型的准确性,优化后的起膜装置性能得到改善,完全满足起膜作业要求。

5 结论

(1) 针对现有残膜回收机起膜装置存在可靠性低、起膜率低的问题,设计了一种滑刀式起膜装置,并通过试验验证了该装置工作的可行性。

(2) 建立了以起膜率为响应指标的三元二次回归模型,通过对模型交互作用及响应曲面的分析,得出了在试验范围内起膜率与起膜铲间距、作业速度和入土角之间的变化规律。各因素对起膜率的影响由大到小为:入土角、起膜铲间距、作业速度。

(3) 应用所建立模型对起膜率进行优化求解,得到其最佳作业及结构参数为:起膜铲间距 220 mm,作业速度 1.0 m/s,入土角 30°,田间试验起膜率达到 91.3%,结构合理,满足作业要求。

参 考 文 献

1 蒋永新,刘晨,郭兆峰,等. 新疆棉田残膜机械化回收技术现状分析及建议[J]. 农机化研究,2014(6):246 - 248.

- JIANG Yongxin, LIU Chen, GUO Zhaofeng, et al. Analysis of residual mechanized recovery technology of membrane in cotton field in Xinjiang and recommendations[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014(6): 246–248. (in Chinese)
- 2 张佳, 张宇涛, 董黎明, 等. 国内残膜回收机械现状及发展趋势[J]. 农业科技与装备, 2014(4): 29–31.
- 3 YAN Changrong, HE Wenqing, TURNER N C, et al. Plastic-film mulch in Chinese agriculture: importance and problems[J]. World Agriculture, 2014, 4(2): 32–36.
- 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 张丹, 胡万里, 刘宏斌, 等. 华北地区地膜残留及典型覆膜作物残膜系数[J]. 农业工程学报, 2016, 32(3): 1–5.
ZHANG Dan, HU Wanli, LIU Hongbin, et al. Characteristics of residual mulching film and residual coefficient of typical crops in North China [J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(3): 1–5. (in Chinese)
- 6 李仙岳, 史海滨, 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]. 农业工程学报, 2013, 29(8): 84–90.
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]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(8): 84–90. (in Chinese)
- 7 李元桥, 何文清, 严昌荣, 等. 点源供水条件下残膜对土壤水分运移的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(6): 145–149.
LI Yuanqiao, HE Wenqing, YAN Changrong, et al. Effect of residual film on soil infiltration under drip irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(6): 145–149. (in Chinese)
- 8 张学军. 残膜分离与输送装置的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007: 10–18.
ZHANG Xuejun. Study on separation and transport device for remnant plastic film[D]. Changchun: Jilin University, 2007: 10–18. (in Chinese)
- 9 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.
LI Bin, WANG Jikui, HU Kai, et al. Analysis and test of forward film removing mechanism for polythene film collector [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(21): 23–28. (in Chinese)
- 10 马少辉, 张学军. 边膜残膜回收机的设计与试验[J]. 农业工程, 2012, 2(1): 73–75.
MA Shaohui, ZHANG Xuejun. Design and experiment of side of used plastic film collector machine [J]. Agricultural Engineering, 2012, 2(1): 73–75. (in Chinese)
- 11 张琴, 张亚丽, 王保爱, 等. 残膜捡拾机起膜铲的设计与仿真[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(7): 33–37.
ZHANG Qin, ZHANG Yali, WANG Baoai, et al. Design and simulation on loosening shovel of residual plastic film pickup machine [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(7): 33–37. (in Chinese)
- 12 谢建华, 侯树林, 付宇, 等. 残膜回收机弹齿式拾膜机构运动分析与试验[J]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊1): 94–98.
XIE Jianhua, HOU Shulin, FU Yu, et al. Motion analysis and experiment on spring-tooth mulching plastic film collector[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Sup. 1): 94–98. (in Chinese)
- 13 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 CSAE, 2013, 29(19): 24–32. (in Chinese)
- 14 卢博友, 薛少平, 薛惠岚, 等. 弹齿滚筒式残膜捡拾机构捡膜特性分析[J]. 西北农业大学学报, 2000, 28(5): 101–104.
LU Boyou, XUE Shaoping, XUE Huilan, et al. Research on the collecting property of the spring-tooth-cylinder type mulching plastic film collector [J]. Journal of Northwestern Agricultural University, 2000, 28(5): 101–104. (in Chinese)
- 15 毛罕平, 陈翠英. 秸秆还田机工作机理与参数分析[J]. 农业工程学报, 1995, 11(4): 62–66.
MAO Hanping, CHEN Cuiying. Working mechanism and parameters determination of field straw chopper[J]. Transactions of the CSAE, 1995, 11(4): 62–66. (in Chinese)
- 16 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.
- 17 王文明, 王春光. 弹齿滚筒式捡拾装置参数分析与仿真[J]. 农业机械学报, 2012, 43(10): 82–89.
WANG Wenming, WANG Chunguang. Parameter analysis and simulation of spring-finger cylinder pickup collector [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(10): 82–89. (in Chinese)
- 18 贾晶霞, 刘汉武, 郝新明, 等. 马铃薯收获机挖掘铲有限元静力学分析[J]. 农业机械学报, 2006, 37(9): 86–88.
JIA Jingxia, LIU Hanwu, HAO Xinming, et al. Finite element analysis for blade of potato harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(9): 86–88. (in Chinese)
- 19 张泽志, 韩春亮, 李成未. 响应面法在试验设计与优化中的应用[J]. 河南教育学院学报: 自然科学版, 2011, 20(4): 34–37.
ZHANG Zezhi, HAN Chunliang, LI Chengwei. Application of response surface method in experimental and optimization [J]. Journal of Henan Institute of Education: Natural Science Edition, 2011, 20(4): 34–37. (in Chinese)
- 20 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 CSAE, 2011, 27(7): 168–172. (in Chinese)