

## 旱地全膜双垄沟残膜回收机关键作业参数试验分析

王松林, 高爱民, 王波, 戴飞, 韩正晟\*

(甘肃农业大学工学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 为提高弹齿式旱地全膜双垄沟残膜回收机的拾净率, 以起膜齿齿数、起膜齿入土深度、搂膜耙齿齿径和齿数为试验因素, 拾净率为试验指标, 进行单因素试验; 在单因素试验基础上, 选取对拾净率影响显著的因素——起膜齿齿数、起膜齿入土深度、搂膜耙齿齿径进行三因素三水平正交试验, 并对试验数据进行极差分析, 以确定残膜回收机最佳工作性能参数。正交试验结果表明, 起膜齿齿数为4个, 起膜齿入土深度为50 mm, 前、中、后搂膜耙齿齿径分别为10、8和6 mm时, 拾净率最高, 为93.6%。重复试验结果表明: 该机残膜拾净率为93.4%, 远高于75%的标准, 能满足残膜回收作业质量要求。

**关键词:** 残膜回收机; 全膜双垄沟; 弹齿式; 关键作业参数; 正交试验; 拾净率

中图分类号: S223.5 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2014)06-0660-05

## Analysis of key operating parameters on retrieving machine for film residue from whole plastic film mulching double ridges in arid land

WANG Song-lin, GAO Ai-min, WANG Bo, DAI Fei, HAN Zheng-sheng\*

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

**Abstract:** To improve net picking rate of spring-tooth type retrieving machine for film residue from whole plastic film mulching double ridges in arid land, number of cutting film teeth, buried depth of cutting film teeth, diameter and number of collecting film teeth were used as experimental factors and net picking rate as experimental indicator to conduct single factor experiment, based on which, number of cutting film teeth, buried depth of cutting film teeth and diameter of collecting film teeth which have significant effect on net picking rate were chose to conduct three-level orthogonal experiment. The experimental data was analyzed by range analysis to determine the best working performance parameters of the retrieving machine. The results of the orthogonal experiment showed when the number of cutting film teeth was 4, the buried depth of cutting film teeth was 50 mm and diameter combination of front, middle and back collecting film teeth was 10, 8 and 6 mm respectively, the highest net picking rate of 93.6% was obtained. The results of replicated experiments showed the net picking rate was 93.4% (>75%) which met operating quality requirements of recycling plastic film.

**Key words:** whole plastic film mulching double ridges; spring-tooth typing; retrieving machine for film residue; key operating parameters; orthogonal experiment; net picking rate

旱地全膜双垄沟播技术突破了传统的垄上种植模式, 大幅度提高了作物的产量与品质<sup>[1]</sup>, 其显著的经济效益, 使得该技术在西北地区得到大规模推广<sup>[2]</sup>。但由于全膜双垄沟播技术所使用的地膜由

聚乙烯等烃类化合物组成, 在自然条件下极难降解, 可存在于土壤中200~400年<sup>[3-4]</sup>, 残膜滞留于土壤中, 所带来的“白色污染”会导致农田环境恶化、土壤质量下降、农作物减产等环境问题<sup>[5-6]</sup>。机械

收稿日期: 2014-07-15

基金项目: 甘肃省科技支撑计划项目(1204NKCA091)

作者简介: 王松林(1989—), 男, 江苏泗洪人, 硕士研究生, 主要从事农业工程技术与装备研究, wangsonglin10@126.com; \*通信作者, hanzhengsheng@gsau.edu.cn

化残膜回收是解决残膜污染的有效手段<sup>[7]</sup>。国内目前拥有气吸式、滚筒弹齿式、偏心伸缩杆弹齿式等多种类残膜回收机,但普遍存在结构复杂、造价高、仿形能力差、拾净率低等问题<sup>[8-12]</sup>,且缺乏对关键部件参数的试验分析,这都成为制约残膜机械化回收的主要因素。

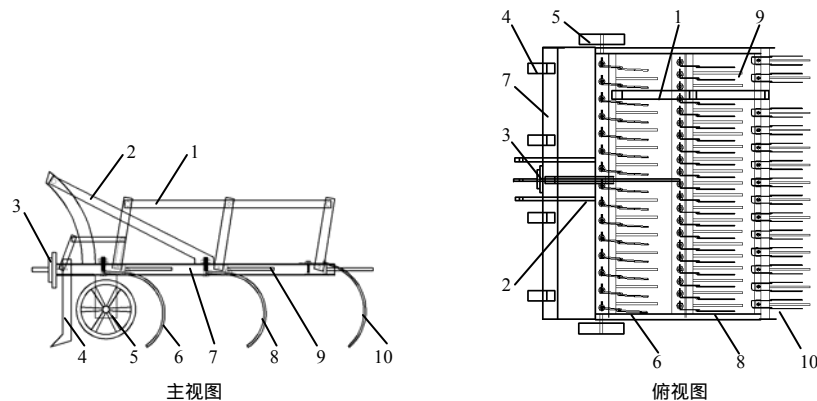
笔者根据残膜回收作业质量要求,针对甘肃农业大学工学院研制的弹齿式残膜回收机所存在的问题,通过单因素试验和正交试验确定起膜齿齿数、起膜齿入土深度和前、中、后搂膜耙齿齿径等

关键部件参数,以期提高残膜拾净率。

## 1 旱地全膜双垄沟残膜回收机结构及主要技术参数

### 1.1 整机结构

旱地全膜双垄沟残膜回收机主要由机架、三点悬挂装置、弹齿搂膜机构、起膜齿、气动卸膜机构、地轮等组成。其结构如图 1 所示。



1 平行四杆机构;2 三点悬挂装置;3 气泵;4 起膜齿;5 地轮;6 前搂膜耙齿;7 机架;8 中搂膜耙齿;9 卸膜齿;10 后搂膜耙齿。

图 1 残膜回收机结构

Fig.1 Structure of retrieving machine for film residue

### 1.2 工作原理

该机作业时,整机三点悬挂于四轮拖拉机尾部,拖拉机驱动残膜回收机前进,并带动起膜齿入土起膜、破根茬。前搂膜耙齿将残膜收集在其耙齿之间,由于前、中、后搂膜耙齿的齿间间距依次变小,中、后搂膜耙齿可将前耙齿漏掉的残膜进行第 2、3 次收集。当残膜收集到一定程度时,通过气泵驱动平行四杆机构带动卸膜齿转动进行自动卸膜。

### 1.3 主要技术指标

旱地全膜双垄沟残膜回收机工作幅宽为 1 600 mm,工作深度为 40~60 mm,作业速度为 0.8~1.2 m/s,生产率为 0.42~0.64 hm<sup>2</sup>/h,其拾净率在 93% 以上。

## 2 试验材料与方法

### 2.1 试验材料与设备

旱地全膜双垄沟残膜回收机样机于 2014 年在

甘肃省庆阳市西峰区后官寨乡路堡村进行田间试验。试验地海拔高度为 1 421 m,年均降水量 480 mm,年均气温 8.8 ℃,全年无霜期 175 d,属于黄土高原干旱地区。试验地地势较缓,土壤以中壤土为主,含水率为 18.9%~20.3%,坚实度为 1 560.3 kPa,前茬作物为玉米,试验对象为 2 年用地膜,厚 0.006 mm,抗拉强度为 17.84 N。机具与东方红-200 型四轮拖拉机(14.7 kW)三点悬挂连接,作业速度为 1.0 m/s。

### 2.2 试验方法

按照 NY/T1227—2006,残地膜回收机作业质量标准,确定测区和测点位置以及测点大小。沿作业地块长宽方向的中线,将其划分为 4 块,随机选对角的 2 块作为 2 个测区,每个测区为 1 个样本。测点采用五点法,从测区 4 个地角沿对角线,在 1/8~1/4 对角线长度范围内,随机确定 4 个测点的位置,加上该对角线的中点,作为作业前的 5 个测点,再在作业前的 5 个测点附近,但不重叠的区域

选取5个测点,作为作业后的5个测点。测点长度为5 m、宽度为一个膜幅<sup>[13]</sup>。

### 3 试验设计与分析

#### 3.1 试验指标

试验设计以 NY/T1227—2006,残地膜回收机作业质量标准为依据,确定试验指标为拾净率。计算公式<sup>[13]</sup>为  $C=(1-W/W_0) \times 100\%$ 。

式中:  $C$ 为拾净率(%);  $W$ 为作业后残膜质量(g);  $W_0$ 为作业前地膜质量(g),  $W_0$ 和  $W$ 为2个测区内作业前、后的各5个测点收集的地膜去除尘土和水分后的质量。

#### 3.2 单因素试验与结果分析

为获取单因素对拾净率影响的变化规律,以起膜齿齿数,起膜齿入土深度,前、中、后搂膜耙齿齿径组合和齿数组合为试验因素,进行单因素试验。

1) 起膜齿齿数。当起膜齿入土深度为50 mm,搂膜耙齿齿径组合为10、8、6 mm,搂膜耙齿齿数组合为15、21、30个时,计算起膜齿齿数为3~8个时的拾净率。

由图2可以看出,拾净率随起膜齿齿数的增加呈先增大后减小的趋势,当起膜齿齿数为4时拾净率达到最大值。起膜齿齿数过少,起膜齿入土破茬起膜不充分,齿数过多会导致残膜堵塞在起膜齿之间通过性能差,不利于搂膜耙齿对残膜的收集。起膜齿齿数宜为4。

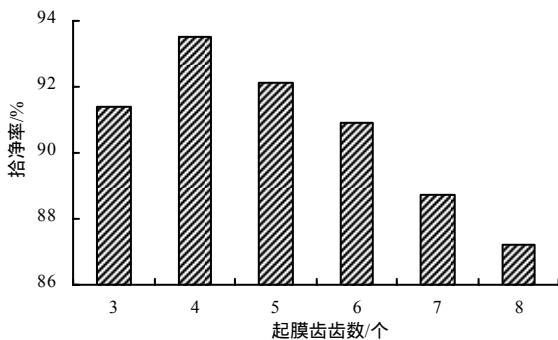


图2 不同起膜齿齿数下的拾净率

Fig.2 Net collected rate under different number of cutting film teeth

2) 起膜齿入土深度。当起膜齿齿数为4,搂膜耙齿齿径分别为12、10、8 mm,搂膜耙齿齿数组合为13、19、28 mm时,计算起膜齿深度为30~70的拾净率。

由图3可以看出,拾净率随起膜齿入土深度的

增加呈先增大后减小的趋势,当起膜齿入土深度为50 mm时达到最大值。随着入土深度的增加,拾净率趋于稳定。起膜齿入土深度过小,深层地膜得不到有效回收;由于搂膜耙齿无法达到过大的入土深度,起膜齿入土深度过大并不会使拾净率增大,反而会增加残膜回收机的功耗,且不利于搂膜耙齿通过,在一定程度上降低残膜拾净率。

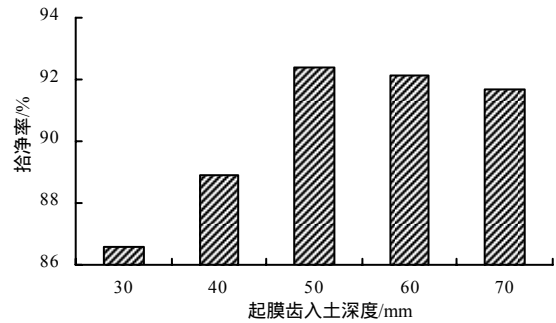


图3 不同起膜齿入土深度下的拾净率

Fig.3 Net collected rate under different buried depth of cutting film

3) 前、中、后搂膜耙齿齿径组合。当起膜齿齿数为6,起膜齿入土深度为60 mm,搂膜耙齿齿数组合为17、23、32个时,计算齿径组合分别为8、6、4 mm,10、8、6 mm,12、10、8 mm,14、12、10 mm的拾净率。

拾净率随前、中、后搂膜耙齿齿径组合的变化规律如图4所示。

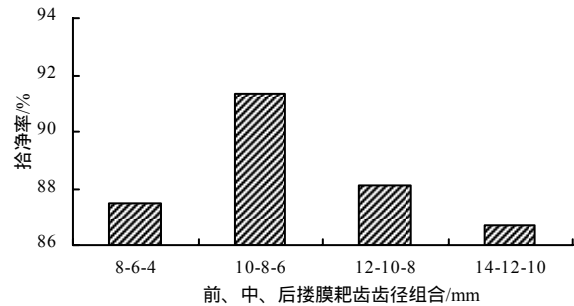


图4 不同前、中、后搂膜耙齿齿径组合下的拾净率

Fig.4 Net collected rate under different diameter combination of front, middle and back collecting film teeth

拾净率随搂膜耙齿齿径组合的增大呈先增大后减小的趋势,当搂膜耙齿齿径组合为10、8、6 mm时达到最大值。搂膜耙齿齿径过细,不利于入土作业,齿径过粗,刚性较大,残膜回收机仿形性能差,拾净率低。

4) 前、中、后搂膜耙齿齿数组合。当起膜齿齿数为8个,起膜齿入土深度为40 mm,搂膜耙齿齿径组合为8、6、4 mm时,计算前、中、后搂膜耙齿

齿数组合分别为 11、17、26 个,13、19、28 个,15、21、30 个,17、23、32 个的拾净率。拾净率随前、中、后搂膜耙齿齿数组合的变化规律如图 5 所示。

拾净率随搂膜耙齿齿数组合的增加无明显变化,由于前、中、后搂膜耙齿相互错开,齿间间距依次减小,齿数依次增多,地膜被收集于中、后 2 个耙齿之间,极少有残膜能够从后耙齿齿间间隙中漏掉,故搂膜耙齿齿数组合对拾净率的影响不显著。

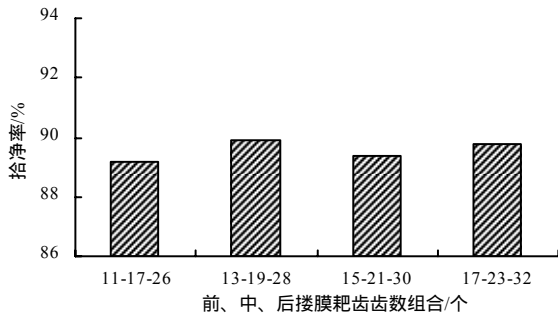


图 5 不同前、中、后搂膜耙齿齿数组合下的拾净率

Fig.5 Net collected rate under different number combination of front, middle and back collecting film teeth

### 3.3 正交试验与结果分析

#### 3.3.1 试验因素与水平

单因素试验结果表明:起膜齿齿数,起膜齿入土深度,前、中、后搂膜耙齿齿径组合对拾净率的影响显著;前、中、后搂膜耙齿齿数组合对拾净率的影响不显著,因此,选取起膜齿齿数、起膜齿入土深度、前、中、后搂膜耙齿齿径组合进行三因素三水平正交试验,分析各因素不同水平对拾净率的影响。为满足试验要求并结合单因素对试验指标影响的变化规律,从单因素试验中分别选取对拾净率影响效果较明显的 3 组不同的起膜齿齿数(通过减少或增加齿数来调节),起膜齿入土深度(通过螺栓调节)和前、中、后搂膜耙齿齿径组合(通过更换耙齿来调节)设置因素与水平表(表 1)。

表1 试验因素与水平

水平	因素		
	起膜齿齿数 N/个	起膜齿入土 深度H/mm	前、中、后搂膜耙齿 齿径组合D/mm
1	4	40	8, 6, 4
2	6	50	10, 8, 6
3	8	60	12, 10, 8

#### 3.3.2 试验方案与数据极差分析

根据试验因素与水平选用  $L_9(3^4)$ 的正交表来安排试验<sup>[14-15]</sup>,并对试验数据进行极差分析。试验方案与数据极差分析见表 2。

极差越大,说明该因素的水平改变对试验指标的影响越大,为最主要因素<sup>[16-17]</sup>。由  $R=k_{max}-k_{min}$  可知, D 是影响拾净率的最主要因素,其次是 N、H、N×H,因素 D、N、H、N×H 分别取 2、1、2、1 水平时拾净率最高,因此,试验指标拾净率各因素的优水平和因素主次顺序依次为:  $D_2$ 、 $N_1$ 、 $H_2$ 、 $(N \times H)_1$ ,其最优水平组合为  $N_1H_2D_2$ 。

表2 正交试验结果

试验编号	N	H	N×H	D	指标与结果 拾净率/%
1	1	1	1	1	88.9
2	1	2	2	2	93.6
3	1	3	3	3	92.1
4	2	1	2	3	86.5
5	2	2	3	1	87.4
6	2	3	1	2	91.2
7	3	1	3	2	89.8
8	3	2	1	3	90.5
9	3	3	2	1	88.0
$K_1$	274.60	265.20	270.60	264.30	
$K_2$	265.10	271.50	268.10	274.60	
$K_3$	268.30	271.30	269.30	269.10	
$k_1$	91.53	88.40	90.20	88.10	
$k_2$	88.37	90.50	89.37	91.53	
$k_3$	89.43	90.43	89.77	89.70	
R	3.16	2.10	0.83	3.43	
最优水平	$N_1$	$H_2$	$(N \times H)_1$	$D_2$	
主次因素	$D > N > H > N \times H$				

#### 3.3.3 试验验证

为验证该工作参数的科学性与合理性,选取上述试验中拾净率效果较好的试验条件做重复试验。以表 2 中的试验数据为依据,选取试验号为 2、3、6 的试验条件进行多次重复试验,结果如表 3 所示。

表3 试验验证结果

起膜齿齿数 N/个	起膜齿入土 深度D/mm	前、中、后搂膜耙齿 齿径组合H/mm	拾净率/%
4	50	10, 8, 6	93.4
4	60	12, 10, 8	92.2
6	60	10, 8, 6	91.3

结果表明,最好的工作参数条件是:起膜齿齿数为4个,起膜齿入土深度为50 mm,前、中、后搂膜耙齿齿径组合为10、8、6 mm,与正交试验分析结果吻合。以此参数进行残膜回收作业,拾净率最高,为93.4%远大于75%,远高于NY/T1227—2006,残地膜回收机作业质量,标准中对拾净率的要求。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 李来祥,刘广才,杨祁峰,等.甘肃省旱地全膜双垄沟播技术研究与应用进展[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):114-117.
- [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] 雷明成,安世才,孟养荣,等.1FMJ—1000型残膜捡拾机的设计与试验[J].中国农机化学报,2014,35(1):166-169.
- [5] 王频.残膜污染治理的对策和措施[J].农业工程学报,1998,14(3):185-188.
- [6] Anikwe M A N, Mbah C N, Ezeaku P I. Tillage and plastic mulch effects on soil properties and growth and yield of cocoyam(*Colocasia esculenta*) on an ultisol in southeastern Nigeria[J]. Soil and Tillage Research, 2007, 93(2): 264-272.
- [7] Parish R L. Automated machine for removal of plastic mulch[J]. Transactions of the ASAE, 1999, 42(1): 49-51.
- [8] 侯书林,张淑敏,孔建铭,等.弹齿式收膜机主要结构设计[J].中国农业大学学报,2004,9(2):18-22.
- [9] 徐正太.气吸式残膜回收机的研制与试验[J].新疆农机化,1993(4):31.
- [10] 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.
- [11] 薛文瑾,王春耀,朱振中,等.卷膜式棉花苗期残膜回收机的设计[J].农业机械学报,2005,36(3):148-149.
- [12] 陈发,史建新,王学农,等.弧型齿残膜捡拾滚筒捡膜的机理[J].农业机械学报,2006,37(6):36-41.
- [13] NY/T1227—2006,残地膜回收机作业质量[S].
- [14] 陈魁.试验设计与分析[M].北京:清华大学出版社,1996:399.
- [15] 孙步功,龚俊,辛舟,等.滴灌用黄河水泥沙分离试验研究[J].农业工程学报,2008,24(8):51-53.
- [16] 吴贵生.试验设计与数据处理[M].北京:冶金工业出版社,1997:234.
- [17] 康璟,李涛,孙伟,等.马铃薯挖掘机输送分离部件参数优化与试验分析[J].干旱地区农业研究,2013,31(6):257-262.

责任编辑: 罗慧敏  
英文编辑: 罗维