

# 农田残膜污染治理技术研究现状与展望

赵岩<sup>1</sup> 陈学庚<sup>1</sup> 温浩军<sup>1</sup> 郑炫<sup>1</sup> 牛琪<sup>2</sup> 康建明<sup>1,3</sup>

(1. 新疆农垦科学院机械装备研究所, 石河子 832000; 2. 中国农业大学工学院, 北京 100083;  
3. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083)

**摘要:** 地膜覆盖栽培在农业生产中已被广泛应用,我国地膜覆盖种植面积超过 2 000 万  $\text{hm}^2$ ,为作物增产增收和保障我国粮食安全提供了重要支撑。随着覆膜年数和覆膜面积的不断增加,废旧地膜在土壤中的残留量逐步增多,残膜污染已严重威胁到农业生产和自然环境,成为影响我国农业生产可持续发展的突出问题。本文对现阶段国内外残膜回收技术及装备进行了分析,总结归纳了播前、苗期和秋后收膜的代表机型及其优缺点,最后概述了国外关于农膜回收和治理的政策法规,简述了国家和部分省区的残膜污染治理政策,对目前本领域的研究特点和发展趋势进行了总结和展望,提出了适应我国国情的残膜污染治理技术及方案。

**关键词:** 残膜; 污染; 治理

**中图分类号:** S604.3      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-1298(2017)06-0001-14

## Research Status and Prospect of Control Technology for Residual Plastic Film Pollution in Farmland

ZHAO Yan<sup>1</sup> CHEN Xuegeng<sup>1</sup> WEN Haojun<sup>1</sup> ZHENG Xuan<sup>1</sup> NIU Qi<sup>2</sup> KANG Jianming<sup>1,3</sup>

(1. Mechanical Equipment Research Institute, Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science, Shihezi 832000, China  
2. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China  
3. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Plastic film mulching cultivation has been widely used in agricultural production due to the benefits such as increasing soil temperature, reducing weed pressure and certain insect pest and improving crop yields. The plastic film mulching area in China is more than 20 million  $\text{hm}^2$  and this technology provides significant support for the crop yield improvement and food security. Residual plastic film in soil is increased in quantity with the increase of mulching duration and area, and the residual plastic film pollution had seriously threatened agricultural production and natural environment, which has become a prominent problem affecting the sustainable development of agricultural production in China. The technology and equipment of residual plastic film at home and abroad was reviewed, the representative model and structure of residual plastic film collecting machine which used in different periods, including pre-sowing stage, seeding stage and autumn film collection stage were summarized in detail, and their merits and demerits were analyzed. Then the foreign policies and regulations on the collection and management of agricultural plastic film and domestic policies for residual plastic film pollution control were systematically summarized. Finally, the current research feature in this field was summarized and future development direction was shown clearly based on policy, technology and demand of agricultural sustainable development. Corresponding technology and scheme of residual plastic film control for China's national conditions were proposed as following: replacing ordinary non-degradable film with degradable film; guaranteeing the mechanized collection of ordinary plastic film, especially establishing the completely mechanized collection system for residual plastic film; opening up the new channel for reusing residual plastic film. In conclusion, development of the residual plastic film collecting machine with good quality and high reliability is important guarantees to control residual plastic film pollution, and research on innovative reuse technology of residual film is an inevitable trend.

**Key words:** residual plastic film; pollution; control

收稿日期: 2017-05-22    修回日期: 2017-06-01

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

作者简介: 赵岩(1983—),男,副研究员,主要从事棉花生产机械化和残膜污染治理研究,E-mail: zhaoyan2542@qq.com

通信作者: 陈学庚(1947—),男,中国工程院院士,研究员,主要从事棉花生产机械化和残膜污染治理研究,E-mail: chenxg130@sina.com

## 引言

地膜覆盖是一种农业栽培技术,具有增温保墒、防病抗虫、抑制杂草,促进作物根系发育、改善作物品质等功能<sup>[1-2]</sup>。早期利用砂、沥清纸、油纸、甘蔗渣、树叶、纸浆、残茬、秸秆等物覆盖于农田土面,以改善农田土壤环境<sup>[3-4]</sup>。欧美各国采用地膜覆盖已有 300 多年的历史,1955 年日本首次对覆膜栽培下的作物生长规律进行研究,随后法国、美国、意大利和前苏联等国也相继对覆膜栽培下的作物生长周期、水肥运移、作物产量进行试验和研究<sup>[5-8]</sup>。目前使用的农用地膜主要分为聚乙烯材料制成的普通地膜和可降解材料地膜,普通地膜在自然条件下降解时间为 200~400 年。目前,国内外农业生产中仍以使用普通地膜为主<sup>[9-11]</sup>。

地膜覆盖技术于 20 世纪 70 年代引入我国,应用区域已从北方干旱、半干旱区域扩展到南方高山、冷凉地区,覆盖作物种类也从经济作物扩大到大宗粮食作物<sup>[12-15]</sup>。过去 30 多年来,地膜覆盖技术的规模应用对我国农业产生了巨大影响,使得农业生产方式和区域种植结构发生了革命性的变化。地膜年使用量 1981 年为 0.6 万 t,2015 年为 145.5 万 t,约占世界地膜使用总量近 90%。地膜覆盖面积由 1981 年 1.5 万  $\text{hm}^2$  增加至 2015 年的 1 833 万  $\text{hm}^2$  以上<sup>[16-25]</sup>,但农田地膜回收率不足 60%。随着地膜覆盖面积的不断增大和单位面积地膜投入量的增加,地膜覆盖栽培技术在助力农作物优质高产的同时,也给自然环境和农业生产的可持续发展带来了一系列问题,如技术泛用和滥用,地膜残留导致的“白色污染”等<sup>[26-35]</sup>。文献[36-45]对我国不同区域地膜残留调查的结果表明,新疆长期覆膜棉田地膜残留量在 42~540  $\text{kg}/\text{hm}^2$  之间,平均残留量在 200  $\text{kg}/\text{hm}^2$  以上,甘肃省大部、内蒙东部、东北风沙区、山西北部、河北北部平均残留量在 100  $\text{kg}/\text{hm}^2$  以上。农田残膜污染对农业生产造成巨大影响,大量地膜残留在土壤耕层,阻隔水肥运移、恶化土壤结构、影响种子发芽和作物根系生长、损坏农机部件,残膜混入籽棉造成棉花品质降低,混入饲料引发动物误食死亡<sup>[46-62]</sup>。农田残膜污染引起国家的高度重视,残膜污染治理工作刻不容缓。农业部提出“一控、两减、三基本”和《关于打好农业面源污染防治攻坚战的实施意见》,农田残膜污染治理是其中的一个重要方面。从我国国情分析,聚乙烯材料制成的地膜在一定时期内仍将继续使用,农田残膜人工捡拾效率低、成本高,机械化回收成为解决残膜污染问题的有效手段。

本文通过梳理国内外典型残膜回收技术的发展情况,分析典型机械的结构特点和适用条件,归纳国内外政府推行农膜应用和污染治理的政策法规,对我国残膜污染治理关键技术研究进行展望,提出我国农田残膜污染综合治理建议,以期为解决我国农田“白色污染”提供参考。

## 1 国内外残膜回收装备特点

国外地膜回收机械研究始于 20 世纪初,我国始于 20 世纪 80 年代。由于使用地膜的厚度和强度的不同,国内外残膜回收机械研究方向区别较大:国外使用地膜厚度大于 0.20 mm,其原理主要利用地膜自身的拉伸力实现地膜与土壤的分离,研究重点是卷收机构和清理机构<sup>[63]</sup>。国内使用的地膜厚度小,回收时地膜拉伸强度低、膜面破损严重,因此,国内残膜回收机械研究重点围绕起膜、收膜、脱膜、集膜等关键部件,还包括膜土分离部件和膜杂分离机构的研究。我国地域广阔,农业技术措施地区差别大,开展研究的机具种类多,地域特点明显。我国地膜覆盖种植面积最大的地区为新疆、甘肃和内蒙古,其中新疆是残膜污染最为严重的区域,机械化残膜回收也主要应用于新疆、甘肃和内蒙古地区。新疆使用的残膜回收机具以宽幅、大型为主,主要应用于地膜覆膜栽培的棉田;甘肃和内蒙古主要以小型机械为主,应用于玉米、马铃薯等作物种植农田的残膜回收<sup>[64]</sup>。

根据不同特征残膜回收机可分成不同类型。根据农艺作业时间的不同,可分为苗期地膜回收机、秋后残膜回收机和播前残膜回收机<sup>[65]</sup>,其中秋后回收作业机应用最广泛;按机具不同作业形式,可分为单项作业机和联合作业机,其中联合作业机包括秸秆粉碎还田残膜回收联合作业和整地残膜回收联合作业;按工作部件入土深度不同,可以分为表层残膜回收机和耕层残膜回收机;按关键收膜部件的不同,可分为滚筒式、弹齿式、齿链式、滚筒缠绕式等,其中滚筒式收膜部件主要依靠偏心机构、凸轮或滑道实现捡膜弹齿的伸缩,完成残膜的捡拾与脱送,整机结构复杂,成本高;弹齿式收膜部件结构简单、造价低,在新疆地区广泛使用,但残膜回收率低。我国西北地区采用的残膜回收机械主要机型见表 1<sup>[66-68]</sup>。

## 2 播前残膜回收机械

播前残膜回收作业是指土地耕翻和平整作业后、播种作业前进行残膜回收作业。播前收膜可有效提高出苗率,目前在生产中广泛应用。运用的机具主要是密排弹齿式搂膜机、平地搂膜联合作业机

表 1 中国典型残膜回收机具  
Tab.1 Typical residual plastic film collecting machines in China

| 序号 | 研发单位       | 名称                          | 机具图片                                                                                | 结构特点及适用性                                                                                                                     |
|----|------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 新疆农垦科学院    | 1LM-5.0 型自卸式弹齿搂膜机           |    | 使用弹齿直径小于 10 mm,同排弹齿间距小于 10 cm,前后 2 或 3 排弹齿组合,最大作业深度 5~10 cm。适用于春季整地作业后、播种前的耕层中最大展开长度大于 5 cm 的残膜回收。结构简单、作业幅宽大、效率高             |
| 2  | 新疆农垦科学院    | 整地与残膜回收联合作业机                |    | 常规联合整地机上加装 1 个或多个齿钉辊,钉齿长度 5~15 cm,直径 8~15 mm,钉齿为尖头。适用于春季整地作业时对 0~5 cm 耕层中的片状残膜回收。结构简单、效率高,但从钉齿上退膜较为困难                        |
| 3  | 新疆农垦科学院    | 1SM-2.0 型自卸式弹齿搂膜机           |    | 采用链扒驱动成排的弹齿入土作业,弹齿直径 5~8 mm,长度 8~15 cm,入土深度约 5 cm。适用于春季整地作业后、播种前的耕层中的残膜回收。回收率高,但结构较为复杂,幅宽小,作业效率低,适用于播前残膜回收                   |
| 4  | 新疆农垦科学院    | MSM-3 型苗期残膜回收机              |    | 采用滚筒式卷膜机构将地膜缠绕回收,利用地膜自身拉伸力与地表分离,通常与中耕、施肥同步作业                                                                                 |
| 5  | 新疆农垦科学院    | 1LMLG-7 型立杆搂膜机              |   | 扶禾器将棉杆与搂膜弹齿隔开,避免对搂膜作业干扰,多采用较大圆弧半径的圆形弹齿,弹齿直径大于 10 mm,一次作业可完成搂膜、脱膜、卸膜等工序。该机型适用于收获后棉田残膜回收,结构简单,工作可靠,作业效率高,但回收率低于 50%            |
| 6  | 河北神耕机械有限公司 | 1MC-70 型起茬残膜回收机             |  | 采用“铲掘筛分”的工作原理,根茬和地膜在前部起土铲作用下先后进入振动栅条和滚筒筛,与土壤分离,最后进入后部收集框,适用于内蒙古和甘肃地区的玉米田地膜回收作业。整机结构紧凑,但幅宽较小,作业效率低。山东、山西、内蒙古等地区有类似机型          |
| 7  | 新疆农垦科学院    | 4JSM-2000 型秸秆还田及残膜回收联合作业机   |  | 搂膜机构由 12 组搂膜弹齿组成,分成 5 个部分单独仿形,通过液压元件实现自动卸膜。粉碎的秸秆侧抛式机具由输送机单侧输出。该机具搂膜部件与秸秆还田机的作业速度相匹配,工作效率高,适用于新疆地区采收后的棉田残膜回收                  |
| 8  | 新疆农垦科学院    | 4CMS-2000 型秸秆还田及残膜回收联合作业机   |  | 机具前部粉碎机构将棉杆粉碎,由输送风机抛送到机具后部,链扒式搂膜机构入土进行残膜回收。残膜拾净率高,但工作效率较低,适用于新疆地区采收后的棉田残膜回收                                                  |
| 9  | 新疆乌苏鹏程机械厂  | 4JSM-2200 型秸秆还田及残膜回收联合作业机   |  | 该机有风机清理膜面枝秆残叶等轻杂,液压油缸控制搂膜齿入土深度,有两组搂膜齿处于浮动状态。粉碎茎秆由输送风机抛洒到机具后部,适用于新疆地区采收后的棉田残膜回收。作业效率和残膜回收率较高,但作业时粉尘较大,收集残膜中混有较多土壤             |
| 10 | 新疆农业科学院    | 4JSM-2100 型棉秸秆粉碎还田残膜回收联合作业机 |  | 收膜部件采用弧形往复式挑膜齿残膜清理滚筒机构,挑膜齿伸出用于捡膜,挑膜齿缩回用于脱膜,设计的刀片在粉碎秸秆的同时产生风力,将粉碎秸秆由输送管道吹送到机具后部,适用于新疆地区采收后的棉田残膜回收。作业效率高,回收残膜含杂少,但作业时粉尘大,回收率较低 |

和加装搂膜耙、扎膜辊的整地机,此时残膜主要以碎片状形式分布在耕层,回收难度大,主要采用搂、扎的方式回收,作业深度在 5 cm 以内,残膜回收率不超过 50%,一般需要人工卸膜<sup>[69-71]</sup>。该类机具作业幅宽大,作业效率高。播前回收残膜多为片状,弹齿式搂膜机具收集的残膜要及时处理,否则遇大风天气易被吹散;联合整地机上齿钉辊齿钉与残膜结合紧密,需要人工清理,清除难度大,影响作业效率。

为减少人工卸膜时间,目前机具优化的重点是研究适应于搂膜和扎膜自动脱膜机构。随着残膜污染的加剧,收膜深度和卸膜方便性等问题均受到重视,出现了弹齿链耙式播前残膜回收机和振动筛式播前残膜回收机等新机型。此外,新疆地区春季多风,为防止地膜堆放在田间产生二次污染,便于将其收集、转运及存放,国内研究开发了地膜捡拾打包机、地膜捡拾压缩车等机具,开展了试验示范;废膜再利用方面,开始关注回收后地膜与杂质的分离问题,目前已验证、提出了风选法和筛选法相结合的解决思路,部分企业还研发出无水清理技术,并应用到生产中。

### 3 苗期地膜回收技术与装备

苗期地膜回收主要采用地膜卷收技术,地膜卷收技术是基于地膜强度能满足膜土分离的拉伸条件,主要应用于国外蔬菜地膜和我国苗期地膜的回收。国外早期研制机型多为半自动化回收机,由机架、地轮、切刀、起膜铲以及切断圆盘等组成。工作时切刀将杂草、根茎切断,起膜铲沿行间两侧起膜,并抖落地膜上的覆土、杂草等,最后由切断圆盘将地膜由中部切开,以便人工捡拾残膜,工作效率较低。近些年,国外逐步研制出全机械化残膜回收机具,利用卷膜辊将地膜卷起,回收效率高,适用于苗期地膜回收。国外较为典型的残膜回收机具见表 2。

国外针对卷收机具持续开展了试验研究,1993 年,SAWYER 等<sup>[72]</sup>发明了地膜卷收设备,松土机构先将农膜起松并与土壤分离,由液压马达驱动卷膜辊将地膜卷收,实现起膜和收膜的联合作业。1995 年,BROOKS<sup>[73]</sup>发明了地膜回收和压缩打包装置,首先将地膜从种床上移除,通过机械振动清理地膜上的土壤和杂草,随后通过压缩打包装置将回收后的地膜成捆成型,便于田间转运。1998 年,PARISH 通过控制液压马达转速,实现了地膜卷收速度实时调节,改善了地膜卷收机具工作的连续性和稳定性。ROCCA<sup>[74]</sup>发明了不同作业幅宽的地膜卷收机,松土机构开松地膜周围的土壤,再由栅条式输送链清理地膜上的土壤和杂草,由卷收机构将地膜缠绕。

LAVO<sup>[75]</sup>发明了卷筒式收膜机,起膜铲翻松土壤起出地膜,机组前进时卷膜辊旋转卷收地膜,中部液压驱动毛刷辊将膜上泥土等杂质清除,清理后的地膜卷在卷膜辊上。

以色列的地膜覆盖技术多用于大田作物,地膜在田间停留时间较短,作物出苗后即开始收膜,地膜厚度大于 0.015 mm,强度高,收卷时地膜不容易破碎。代表机型为 A. V. I 公司研制的收卷式回收机,利用液压马达驱动收卷工作部件并控制其转速与拖拉机行进速度相适应,1 个作业行程同时回收 4 幅地膜。英国和俄罗斯主要采用悬挂式收膜机,工作时松土铲先将压膜土耕松,然后将残膜收卷到羊皮网或金属网上。日本是将地膜覆盖在土质疏松的火山灰土上,地膜强度大,覆盖期 1.5 ~ 3 个月,时间短,不用土压膜,地膜老化程度及破碎程度较低,回收时地膜完整,收膜机构简单<sup>[76]</sup>。

我国苗期收膜主要是在作物浇头水前进行,此时地膜使用时间较短,完整性较好,相对容易回收。此类机具的设计基本上采用的是先起膜再卷膜的工作方法,工作时依靠地轮提供动力驱动卷膜作业,结构简单,工作可靠,地膜收净率一般在 85% 以上<sup>[77]</sup>。代表机型主要有新疆地区曾应用的 MSM-3 型卷膜式棉花苗期残膜回收机和 CSM 型齿链式悬挂收膜机。机具研发方面,有早期兵团第八师和兵团农机技术推广站联合研制的 CSM-130 型苗期残膜回收机,东北农业大学研制的 MS-2 型玉米苗期收膜中耕联合作业机,新疆农业科学院农机化研究所研制的 MSM-1 型苗期残膜回收机和中国农业大学张东兴等研制的一种柔性弹齿起膜轮<sup>[78]</sup>。苗期收膜会导致作物灌水量增加,与我国北方旱作农业区大面积推广的膜下滴灌技术要求不相适应,目前已很少应用。

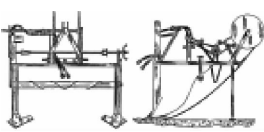
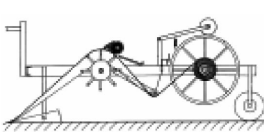
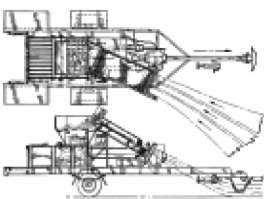
综上所述,国外使用地膜厚度大,拉伸强度高,地膜回收机械多采用卷收原理,或者采用起膜机具与卷收机具相结合的方式,收膜机构相对简单,回收率较高。其中,卷膜机构多采用液压机构驱动,控制系统技术含量较高,可以实现卷膜速度与机具前进速度的自动匹配。

### 4 秋后残膜回收技术与机械

秋后收膜是在作物收获后、耕地前进行,主要回收当年铺设的地膜。该时期进行残膜回收不会对农作物收获和产品质量造成影响,是目前较为广泛使用的残膜回收方式。此时地膜处于地表,有一定程度的破损,膜土结合力较强,还需要考虑与秸秆还田等协调作业,回收有一定难度。但是,在苗期揭膜受

表 2 国外典型残膜回收机

Tab.2 Typical residual plastic film collecting machines in foreign countries

| 序号 | 国别 | 名称        | 机具图片                                                                                | 结构特点及适用性                                                                              |
|----|----|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 美国 | 地膜起松机     |    | 工作时切刀将杂草、根茎切断,起膜铲沿行间两侧起膜,并抖落压在地膜上的覆土、杂草等,切断圆盘将地膜由中部切开,人工捡拾残膜,工作效率低                    |
| 2  | 法国 | 地膜表面清理机   |    | 采用辊刷将膜面杂质清扫到侧边,利用风力将膜面细杂清理干净,为地膜卷收创造条件。作业效率高,清理效果好。适用于蔬菜田收获后的膜面清理                     |
| 3  | 美国 | 宽幅起膜机     |    | 采用起膜铲沿行间两侧起膜,并抖落压在地膜上的覆土、杂草等,为地膜卷收做好准备。幅宽大,效率高,适用于收获后的起垄蔬菜田                           |
| 4  | 美国 | 起膜卷收机     |    | 工作时起膜铲将覆土的膜边起松与土壤分离,液压马达驱动的卷膜辊将地膜卷收。适用于膜面清理后的蔬菜田地膜卷收                                  |
| 5  | 美国 | 卷筒式收膜机    |   | 工作时起膜铲翻松土壤起出地膜,机组前进时卷膜辊旋转卷收地膜,中部液压驱动毛刷辊将膜上泥土等杂质清除,清理后的地膜卷在卷膜辊上                        |
| 6  | 美国 | 地膜卷收机     |  | 卷收机构液压马达自动控制,转速实时调节,改善机具工作的连续性和稳定性。该机用于膜边已被清出地表的地膜回收作业                                |
| 7  | 美国 | 起膜自动卷收机   |  | 松土机构开松地膜周围的土壤,栅条式输送链清理地膜上的土壤和杂草,卷收机构将地膜缠绕。适用于收获后蔬菜田地膜回收                               |
| 8  | 法国 | 蔬菜地膜清理卷捆机 |  | 松土机构开松垄沟内膜边覆盖的土壤,卷收机构缠绕卷收地膜。控制机构根据地膜拉伸力实时调节卷膜辊转速,使之与拖拉机前进速度相匹配,回收地膜含杂少。适用于收获后的蔬菜田地膜回收 |
| 9  | 美国 | 地膜回收打包机   |  | 地膜回收装置首先将地膜从种床上移除,通过机械振动清理地膜上的土壤和杂草,随后通过压缩打包装置将回收后的地膜成捆成型。要求膜的强度要高,田间转运方便             |

到制约的情况下,秋后是回收残膜的最佳时机,因此,秋后残膜回收机是目前研究的热点,重点针对的覆膜作物是棉花(平作)、玉米和马铃薯(垄作)。

#### 4.1 秋季残膜回收机研究进展

秋季回收的残膜主要为当季使用的地膜,此时薄膜老化严重,作物秸秆影响部件作业,故秋后残膜回收难度较大。秸秆还田后的棉田存在大量棉秆根茬,残膜很容易黏附在根茬末端,这部分残膜的尺寸一般都很小,很难回收。有些地区采用先拔棉秆再收残膜的方式,减少残膜在根茬的缠绕,但由于棉花的根系比较发达,拔棉秆时根系带出大量的泥土,这些泥土大部分散落在未捡拾的地膜上,也加大了后续残膜回收的难度。根据作业功能不同,秋后残膜回收机主要分为单项作业机具和联合作业机具。

单项作业机具只具备回收残膜的功能,应用最多的是弹齿式立秆搂膜机,与 51.5 ~ 66.2 kW 拖拉机配套使用,一次作业可完成搂膜、脱膜、卸膜等工序。此种机型对残膜的回收率较低,但结构简单,造价低,作业效率高,在新疆、甘肃和内蒙古地区得到了广泛使用。中国农业大学早期开发了 1MS-I 型地膜回收机,在改进的基础上又研发了 1MS-II 型地膜回收机<sup>[79]</sup>。新疆农业大学研发了一种卷膜式残膜回收机<sup>[80]</sup>,该机对回收地膜的强度有一定要求,卸膜过程繁琐、机具作业效率较低,目前处于研发试验阶段。

联合作业机分为秸秆粉碎还田与残膜回收联合作业和根茬起拔与残膜回收联合作业 2 种方式。早期代表机型为新疆农垦科学院农机研究所研制的 4SJ-1.6 型<sup>[81]</sup>和 4SJ-2.0 型残膜回收与秸秆粉碎联合作业机<sup>[82]</sup>,以及内蒙古农牧机械化服务管理局等单位研制的 1MC-70 型起茬残膜回收机。在新疆地区,秸秆粉碎还田后进行残膜回收作业,残膜与秸秆混合在一起,为后期分离带来困难。秸秆粉碎还田残膜回收复式作业减少了作业工序,可以减少秸秆对残膜回收的干扰,但机具结构相对复杂,造价偏高。秸秆粉碎还田要求作业速度快,但高速作业会影响残膜回收效果,同时,因作业系统复杂影响了机具作业可靠性。因此,如何保证秸秆粉碎还田效果和残膜回收率,保证机具作业效率和可靠性是联合作业机研究重点和难点。

随着新疆地区棉花种植模式的变化,近些年,有许多新机型应用于生产试验。新疆农垦科学院机械装备研究所研制的 4JSM-2000 型秸秆还田弹齿搂膜联合作业机<sup>[83]</sup>,搂膜机构单独仿形,通过液压元件实现自动卸膜,粉碎的秸秆由输送器输送到侧边或后部<sup>[84]</sup>。该机具搂膜部件与秸秆还田机的作业

速度相匹配,工作效率高。新疆农业科学院农机研究所研制的 4JSM-2100 型秸秆粉碎还田残膜回收联合作业机<sup>[85-88]</sup>,收膜部件采用弧形往复式挑膜齿残膜清理滚筒机构,挑膜齿伸出用于捡膜,挑膜齿缩回用于脱膜,设计的刀片在粉碎秸秆的同时产生风力,将粉碎秸秆由输送管道吹送到机具后部。该机具作业效率高,可靠性好,回收残膜含秸秆和土杂较少。但工作时刀片产生的风力易将地膜掀起后与秸秆一起粉碎,同时会产生大量粉尘,残膜回收率低。乌苏鹏程植保机械厂研制的 4JSM-2200 型秸秆还田地膜回收联合作业机,搂膜齿入土深度采用液压缸控制,有两组搂膜齿处于浮动状态,作业效率和残膜回收率较高,但作业产生粉尘较大,收集残膜中混杂有大量土壤和秸秆。石河子大学机械电气工程学院研制了 SMS-1500 型秸秆粉碎和残膜回收机和夹指链式残膜回收机,并进行了关键机构运动分析和性能试验<sup>[89-93]</sup>。甘肃农业大学提出了与马铃薯挖掘联合作业的技术方案,并对样机进行了初步田间试验<sup>[94-95]</sup>。

我国科研院校和生产企业针对残膜机械化回收技术开展的研究还有很多,其他如气力式、抖动链式、火焰式等,这些机型均因结构复杂、作业效率低、使用成本高、回收率低或可靠性差等原因,未在生产中得到推广应用。

#### 4.2 秋后残膜回收农艺措施

在新疆覆膜种植的棉区,目前采用的残膜回收农艺措施主要有以下几种:

(1) 秸秆粉碎之前立秆搂膜集条作业:首先采用秸秆还田机在垂直于棉行方向上作业出间距 30 ~ 50 m 的卸膜通道,然后利用立秆搂膜机将地膜搂集到卸膜通道,最后利用铲车等将地膜清理出田间,目前已大面积应用。

(2) 棉秆(茬)起拔与搂膜集条分段作业:第一步由拔秆起膜机的刀辊入土将棉秆(茬)拔起铺放在地表并完成膜土分离,第二步利用指盘式搂草机进行集条,最后进行人工分拣,主要在新疆南部部分地区使用。

(3) 秸秆粉碎还田与搂膜集条联合作业:该技术将秸秆粉碎还田机与搂膜工作部件进行有效集成,工作时秸秆粉碎还田机先将粉碎的秸秆抛撒到机具后方,紧接着搂膜部件搂膜,一般每隔 30 ~ 50 m 距离卸膜一次,最后在横向方向形成条状卸膜带。

(4) 秸秆粉碎还田与残膜捡拾装箱联合作业:该工艺采用卧式秸秆粉碎还田机将棉花秸秆粉碎后抛撒到机具后方,然后运用捡拾部件捡膜脱膜并将残膜输送到集膜箱,在地头进行卸膜。

(5)根茬翻埋与残膜捡拾装箱联合作业:该工艺先采用旋耕机将棉杆根茬翻埋入土并将地膜打碎成片状,然后运用链齿式捡拾部件捡膜并在气力作用下脱膜入箱。

近几年,我国在垄作作物的田间收膜技术研究方面也有了一定进展,研发出了链条导轨式、铲链式、铲筛式、齿链式与铲掘筛分式等多种形式的残膜回收机。

## 5 农田残膜污染治理政策分析与建议

欧美和日本比我国较早使用地膜覆盖技术,但不存在残膜污染问题,除土地私有化和先进技术等因素外,严格的法律制度约束也是杜绝残膜污染的一个重要原因<sup>[96-99]</sup>。残膜回收作业需要投入物力和人力成本,中国土地属于集体所有制,同块土地的使用者也经常更换,农田残膜污染治理完全靠使用者的自觉是不可行的,需要政府推动。因此,分析国内外现有农膜使用的法律法规,对我国农田残膜污染治理的政府决策具有重要的借鉴作用。

### 5.1 国外农膜污染治理相关的措施

欧美和日本等发达国家采用高强度地膜、可降解地膜,同时配套严格的地膜回收处理法律法规,从源头上杜绝了地膜残留污染的发生。美国采取 2 种措施防治残膜危害:一是积极研制新型可降解地膜,用于经济价值较高的蔬菜等作物;二是推广使用高强度、耐老化的地膜,采用卷收设备进行回收。日本要求聚乙烯地膜厚度必须在 0.02 mm 以上,否则被视为不合格产品;在地膜回收处理方面,《日本废弃物处理及清扫法》规定地膜使用后不能私自扔掉、焚烧和填埋,否则将会被处以高额罚款;残膜回收流程为:农民对使用后地膜进行回收、清洗,按质量付费交给产业废物管理公司,公司对回收地膜进行再处理,制成燃料块后销售给有关能源企业。欧洲《农业废弃物填埋条例》和《农业废弃物焚烧条例》对废弃农膜回收处理进行了明确规定。意大利通过立法的形式,将农膜生产者、经营者以及使用者结合在一起,保证农用塑料废弃物安全回收和处理。法国环保部 2003 年出台农业塑料废弃物回收和利用法律条文,对农用薄膜回收利用进行规范。

在国外回收地膜处理方式主要有 3 种:①填埋,但由于残膜不易腐烂终将污染环境,而应用越来越少。②把地膜燃烧产生的热能用于发电或其他方面。③通过分解回收乙烯或提炼石油制品或制成塑料制品。在法国、德国、意大利和西班牙,农田残膜回收循环利用率可以达到 20% ~ 30%,日本和德国建有废塑料处理工厂。国外的经验表明,避免农田

残膜污染,严格的法律管控是必要手段,完备的农膜使用和处理技术体系是基本条件。

### 5.2 国内农田残膜污染相关的政策措施

农田残膜污染问题已经引起政府高度关注,我国 2014—2017 年中央一号文件均明确指出加大农业面源污染防治力度,推广高标准农膜和残膜回收等试点,加强农业生态治理,开展农田残膜回收区域性示范。国务院制定了《土壤污染防治行动计划》,明确了农用地膜的回收和再利用目标。农业部提出“力争到 2020 年,残膜回收率基本达到 80% 以上”。

农膜应用重点省区建立残膜污染治理相关政策法规规范农膜应用和回收。新疆修订了《聚乙烯吹塑农用地面覆盖薄膜》标准,强制推广厚度为 0.010 mm 以上的地膜。甘肃省颁布了《甘肃省人民政府办公厅关于集中治理残留废旧农膜的通知》、《甘肃省废旧农膜回收利用条例》和《甘肃省农牧厅关于切实加强当前废旧农膜回收利用工作的紧急通知》等政策法规,宁夏、内蒙古、山东等省区也颁布了相关的政策法规。甘肃省农民地膜回收和再利用工作执行较好,新疆地区兵团范围内农膜回收工作执行较好。

残膜污染治理工作是公益性属性较强的工作,30 多年的实践证明,靠技术人员研发机具让农民自发使用的办法不可行。要解决农膜污染,需要政府通过法律法规约束、政策引导、项目推动,完善顶层设计,由科研院校牵头,研究形成适应不同区域的残膜污染治理技术方案,在重点区域开展试验示范,为农民提供成熟的成套技术体系,由上而下进行推进。

### 5.3 治理农田残膜污染的建议

解决我国农田残膜污染问题,一是使用可降解地膜替代不可降解地膜;二是做好普通聚乙烯地膜的回收和处理工作。欧洲地膜覆盖种植面积总量 47 ~ 56 万  $\text{hm}^2$ ,却不存在地膜污染土地的问题,原因是严格的法律制度约束条件,欧洲土地属农民私有,土地保护是农民发自内心的自觉行动。我国土地属于集体所有,部分地区农民承包的土地也经常变换,农民对土地的使用是掠夺式的,秋季农时季节紧张,有的地方不进行残膜回收,这是造成残膜污染土地加剧的重要原因。我国开始推广地膜覆盖种植技术时,地膜厚度 0.012 ~ 0.014 mm。随着工业技术的进步,农民为节约生产成本、商家为赢得市场,农用地膜产品越来越薄,个别地区使用地膜厚度甚至小于 0.005 mm。地膜厚度小、老化速度快,秋后破损程度严重,强度差,人工回收非常困难,机械回收难度大且回收率低。要解决我国农田残膜污染,根本问题在于“膜”,关键环节在于回收机械。

### 5.3.1 用降解膜替代普通不可降解地膜

降解地膜主要有生物降解地膜、光降解地膜、纸地膜、液态喷洒式地膜、麻地膜等,德国、美国、日本等国家在新型地膜材料方面有较早的研究。我国山东、广东、江苏等地也开展了生物降解材料的研究,形成一些产品<sup>[100-105]</sup>。严昌荣等<sup>[99]</sup>试验研究表明,部分降解膜产品能够满足农业生产的需要,尤其是在手工操作的区域,或需要地膜覆盖时间比较短的作物,如西南地区的烟草、蔬菜等。兵团农业技术推广站曾对国内外主要公司生产的可降解地膜进行了试验,2014 年试验面积达到 3 720 万  $\text{hm}^2$ 。试验表明,由于降解时间受光、热、微生物等多种因素影响,目前降解地膜在性能稳定性、价格、使用可靠性及降解后产物对农作物生长的影响方面还有待进一步研究<sup>[106-111]</sup>。

降解膜应用研究关注以下问题:使用材料是否能真正降解,降解后不可在土壤中留下新的污染;使用增产效果应达到或接近普通地膜的效果;使用成本要使农民能够接受。目前,降解膜技术在部分地区的部分经济作物已得到应用,如云南地区的烟草,山东地区的花生、马铃薯,新疆地区的加工番茄等。由于会产生残膜异纤<sup>[112]</sup>,目前的降解膜产品不适宜新疆的棉花生产。

### 5.3.2 做好普通地膜的机械化回收

我国农业生产中,可降解膜和普通地膜将会有一个相当长的共存期。因此,做好普通地膜的回收工作是当务之急,做到“不欠新帐,逐步还老帐”:即当年新覆地膜回收率应达到 80% 以上,逐年回收土壤耕层中的往年残膜。农田地膜机械化回收技术是一项系统工程,前后诸多环节环环相扣,需要紧密衔接。从技术发展趋势来看,需要重视以下问题:

(1) 发展和丰富残膜回收机具的种类和功能,让生产中适宜收膜的时节和表层耕层收膜都有机具可以使用,并相互补充。在机具本身的性能方面,一是因地制宜,农机农艺技术相融合,重点发展和应用秋后残膜回收机械化技术;二是继续攻克瓶颈,重点突破膜杂分离、边膜回收和耕层残膜回收等技术难点,以提高残膜回收率等性能指标;三是注重提高作业效率,特别是作业速度的提升,需要不断创新收膜机构和技术应用模式。

(2) 建立残膜回收机械化技术体系。一是创造机械化回收的基础条件,提升地膜回收时的拉伸强度,满足机械化作业要求,改进农艺作业措施,减少膜面破损和碾压;二是发展残膜捡拾压缩及装运技术<sup>[113]</sup>,减少地膜转运出田间的劳动强度,以提高储运效率和便捷性,防止残膜二次污染<sup>[114]</sup>;三是打通

残膜再利用渠道,开拓残膜变废为宝的途径<sup>[115-119]</sup>。创新焚烧发电和再生利用技术,回收机械田间作业清杂效果有限,发展场上预处理技术,清除回收残膜的杂物。

总之,要解决我国农田残膜污染问题,必须坚持 3 个原则:研究农用地膜满足机械回收的强度指标,通过法律法规约束不可降解农用地膜的性能标准,为机械化回收创造基本条件;确立“谁使用谁回收”的原则,严格规定当年新铺地膜的残膜回收率,地膜加厚补贴在秋后残膜回收达标验收合格后执行,达不到回收标准的,应用经济手段予以处罚;针对残膜治理制定相应政策和法规,构建政府、科研单位、企业和农民多家单位利益相关的体系,使残膜污染治理成为全民的自觉行为。

## 6 结论

(1) 通过研究我国覆盖栽培地膜回收机械的发展可以看出,近三四十年,残膜回收机械的研究是伴随着地膜覆盖栽培技术在我国的应用产生的,国内科研院所针对主要地膜应用区域的重点作物,开展了播前、苗期和秋后等不同时期的残膜回收机械研究,设计原理和核心部件结构随着农作物种植模式和农艺要求及技术措施的变化而不断改变,积累了丰富的基础性研究资料。

(2) 尽管残膜回收机械的研究比较充分,但农民耕地保护意识不到位、作业成本增加和回收残膜附加值低,导致残膜回收的主动性不高。农用地膜厚度和强度达不到机械全回收的技术条件,田间秸秆、残茬干扰收膜部件作业,土壤条件差异性大,不能满足机械化回收的基本条件。在目前的发展水平下,生产中投入使用的机型主要是结构简单、成本低的弹齿式搂膜机具,无法实现高效率、高回收率、低成本、轻简化的生产目标。

(3) 提出解决目前我国农田残膜污染问题的解决方案:不欠新账,逐步还老账。即分区域、分作物采用机械回收或采用可降解地膜,减少新地膜进入土壤的量;通过耕后和播前进行机械化耕层清理,逐年减少往年残膜的含量。要保证新覆地膜当年秋季回收率达到 90% 以上,采用聚乙烯地膜的地区和作物要使用抗老化能力强和拉伸强度大的地膜;对于残膜回收难度大的作物,如花生、烟草、加工番茄等,应采用降解膜替代技术。

(4) 农田残膜污染治理与防控应该从全产业链考虑。目前我国正在解决的是回收问题,还应考虑使用农膜的强度和回收残膜如何处理的问题。目前来看,回收残膜清洗造粒技术成本高,企业入不敷

出,如果没有政府支持将难以为继;作为生物质燃料燃烧发电,需增加助燃剂,生产成本高,残膜含土量大,会导致燃烧炉使用寿命短。因此,需要开展回收残膜的再处理创新技术研究。

参 考 文 献

1 平全荣.旱地农业覆盖栽培技术研究应用进展与展望[J].山西农业科学,2008,36(2):63-66.  
PING Quanrong. Research and using development and prospect of farming in dry land covers technology[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2008,36(2):63-66. (in Chinese)

2 王耀林.地膜覆盖栽培技术大全[M].北京:农业出版社,1988.

3 陈奇恩.中国塑料薄膜覆盖农业[J].中国工程科学,2002,4(4):12-21.  
CHEN Qien. Mulching agriculture using thin plastic film in China[J]. Engineering Science, 2002,4(4):12-21. (in Chinese)

4 王晓方,申茂向.塑料地膜-中国农业发展的希望和曙光[R].北京:中华人民共和国科学技术部农村科技司,1998.

5 严昌荣,何文清,梅旭荣,等.农用地膜的应用与污染防治[M].北京:科学出版社,2010:76-86.

6 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)

7 吕江南,王朝云,易永健.日本农用地膜生产及应用现状考察报告[J].中国麻业科学,2007,29(6):358-363.  
LÜ Jiangnan, WANG Chaoyun, YI Yongjian. The investigation report of plastics mulching film production and application in Japan [J]. Plant Fiber Sciences in China, 2007, 29(6):358-363. (in Chinese)

8 杨惠娣.塑料农膜与生态环境保护[M].北京:化学工业出版社,2000:110-113.

9 王敬国.农用化学物质利用与污染防控[M].北京:北京出版社,2001:73.

10 龙攀,黄璜.作物覆膜温室效应研究进展[J].作物研究,2010,24(1):52-55.

11 原红娟,郝建平.旱作棉田渗水地膜覆盖的生态及产量效应研究[J].中国农学通报,2006,22(5):442-447.  
YUAN Hongjuan, HAO Jianping. Studies of ecological and yield effect of water-osmosis plastic member in rainfed cotton field [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2006, 22(5):442-447. (in Chinese)

12 于荣,武文渊,王连双.黄河宁夏灌区覆膜与土壤温湿度的响应对蓖麻生长的影响[J].中国农学通报,2009,25(20):311-315.  
YU Rong, WU Wenyuan, WANG Lianshuang. Effect of easter growth with plastic mulching and soil moisture in Ningxia Yellow River irrigation area[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(20):311-315. (in Chinese)

13 卜玉山,李伟,周秋香,等.寒旱区地膜覆盖与施肥对土壤作物的效应分析[J].中国农学通报,2013,29(3):69-75.  
BU Yushan, LI Wei, ZHOU Qiuxiang, et al. Effects of film mulching and fertilizations on soil and crop in cold and arid region [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(3):69-75. (in Chinese)

14 张志琴,姚建民,杨瑞平.渗水地膜覆盖栽培技术模式[J].山西农业科学,2005,33(1):37-38.  
ZHANG Zhiqin, YAO Jianmin, YANG Ruiping. Planting technique of mulching by water-permeability plastic film[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2005,33(1):37-38. (in Chinese)

15 门旗,李毅,冯广平.地膜覆盖对土壤棵间蒸发影响的研究[J].灌溉排水学报,2003,22(2):17-20,25.  
MEN Qi, LI Yi, FENG Guangping. Effects of plastic film mulch patterns on soil surface evaporation[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2003, 22(2):17-20, 25. (in Chinese)

16 景东田.全膜覆盖双垄面集雨沟播栽培技术及应用前景分析[J].作物杂志,2007(6):70-71.

17 陈发.新疆残膜回收机械化技术研究、应用与建议[J].新疆农业科学,2008,45(增刊2):127-134.

18 李治国,周静博,张丛,等.农田地膜污染与防治对策[J].河北工业科技,2015,32(2):177-182.  
LI Zhiguo, ZHOU Jingbo, ZHANG Cong, et al. Pollution and control countermeasures of farmland mulching film[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2015, 32(2):177-182. (in Chinese)

19 纪从亮,史伟,邹芳刚,等.关于创新棉花栽培技术的几点思考[J].中国棉花,2008,35(9):2-6.

20 李燕娥,董忠义.旱地棉田全程全覆盖栽培技术[J].山西农业科学,1996,24(3):21-23.

21 武宗信,解红娥.残留地膜对土壤污染及棉花生长发育的影响[J].山西农业科学,1995,23(3):27-30.

22 冯烨,郭峰,李新国,等.我国花生栽培模式的演变与发展[J].山东农业科学,2013,45(1):133-136.  
FENG Ye, GUO Feng, LI Xinguo, et al. Evolution and development of peanut cultivation patterns in China[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2013, 45(1):133-136. (in Chinese)

23 侯慧芝,吕军峰,郭天文,等.全膜覆土栽培对作物的水温效应[J].麦类作物学报,2012,32(6):1111-1117.  
HOU Huizhi, LÜ Junfeng, GUO Tianwen, et al. Effects of technique of cultivation with overall film-mulched soil on soil water and soil temperature of crops[J]. Journal of Triticeae Crops, 2012, 32(6):1111-1117. (in Chinese)

24 王月福,王铭伦,郑建强,等.不同覆盖措施对丘陵地土壤水分和温度及花生生长发育的影响[J].农学学报,2012,2(7):16-21.  
WANG Yuefu, WANG Minglun, ZHENG Jianqiang, et al. Effects of different mulching measures on soil moisture and temperature of hilly land and peanut growth[J]. Journal of Agriculture, 2012, 2(7):16-21. (in Chinese)

- 25 毛树春.我国棉花种植技术的应用和发展[J].中国棉花,2009,36(9):17-22.
- 26 李红梅,苗兴武.山东东营棉花地膜覆盖栽培面临的问题与对策[J].中国棉花,2013,40(8):43.
- 27 陈锡时,郭树凡,汪景宽,等.地膜覆盖栽培对土壤微生物种群和生物活性的影响[J].应用生态学报,1998,9(4):435-439.
- CHEN Xishi, GUO Shufan, WANG Jingkuan, et al. Effect of mulching cultivation with plastic film on soil microbial population and biological activity[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1998, 9(4):435-439. (in Chinese)
- 28 陈永祥,刘孝义,刘明国.地膜覆盖栽培的土壤结构与空气状况研究[J].沈阳农业大学学报,1995,26(2):146-151.
- CHEN Yongxiang, LIU Xiaoyi, LIU Mingguo. Soil air regime and soil structure of the fields under plastic mulching[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 1995, 26(2):146-151. (in Chinese)
- 29 阎明志.地膜覆盖栽培对我国农业发展的作用与影响[J].陕西农业科学,1989(3):11-13.
- 30 翟夏斐,李强,李富翠,等.秸秆和地膜覆盖模式下土壤水热动态分析[J].土壤,2014,46(4):716-724.
- ZHAI Xiafei, LI Qiang, LI Fucui, et al. Soil water and heat dynamic analysis under straw and plastic film mulching modes[J]. Soils, 2014, 46(4):716-724. (in Chinese)
- 31 李世朋,蔡祖聪,杨浩,等.长期定位施肥与地膜覆盖对土壤肥力和生物学性质的影响[J].生态学报,2009,29(5):2489-2498.
- LI Shipeng, CAI Zucong, YANG Hao, et al. Effects of long-term fertilization and plastic film covering on some soil fertility and microbial properties[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5):2489-2498. (in Chinese)
- 32 李丛,汪景宽.长期地膜覆盖及不同施肥处理对棕壤有机碳和全氮的影响[J].辽宁农业科学,2005(6):8-10.
- LI Cong, WANG Jingkuan. Effects of long-term mulching and fertilizer treatments on organic carbon and total nitrogen in brown soil[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2005(6):8-10. (in Chinese)
- 33 陈永祥,刘孝义.覆膜栽培条件下土壤水分动态及运行机制分析[J].沈阳农业大学学报,1997,28(4):283-287.
- CHEN Yongxiang, LIU Xiaoyi. Study on the dynamics and movement mechanism of soil water under cultivation with plastic mulching[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 1997, 28(4):283-287. (in Chinese)
- 34 翁云宣.2016生物基材料专刊序言[J].生物工程学报,2016,32(6):711-714.
- WENG Yunxuan. Preface for special issue on bio-based materials (2016)[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2016, 32(6):711-714. (in Chinese)
- 35 袁旭.光合仿生农膜的作物栽培试验[J].工业 C,2016(3):323-324.
- 36 王颖.残膜污染治理的对策和措施[J].农业工程学报,1998,14(3):185-188.
- WANG Ying. Measures to reduce the pollution of residual of mulching plastic film in farmland [J]. Transactions of the CSAE, 1998, 14(3):185-188. (in Chinese)
- 37 徐刚,杜晓明,曹云者,等.典型地区农用地膜残留水平及其形态特征研究[J].农业环境科学学报,2005,24(1):79-83.
- XU Gang, DU Xiaoming, CAO Yunzhe, et al. Residue levels and morphology of agricultural plastic film in representative areas of China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2005, 24(1):79-83. (in Chinese)
- 38 严昌荣,何文清,刘爽,等.中国地膜覆盖与残留污染防控[M].北京:科学出版社,2015.
- 39 中国农业科学院棉花研究所.中国棉花栽培学[M].上海:上海科学技术出版社,2013:623.
- 40 朱启荣.中国棉花主产区生产布局分析[J].中国农村经济,2009(4):31-38.
- 41 陈奇恩.全国棉花塑膜覆盖栽培技术的考察[J].新疆农垦科技,1983(5):18-23.
- 42 芦平.全国棉花地膜覆盖栽培技术推广概况[J].中国棉花,1985(2):2-5.
- 43 毛树春.中国棉花生产景气报告[M].北京:中国农业出版社,2005—2014.
- 44 严昌荣,王序俭,何文清,等.新疆石河子地区棉田土壤中地膜残留研究[J].生态学报,2008,28(7):3470-3474.
- YAN Changrong, WANG Xujian, HE Wenqing, et al. The residue of plastic film in cotton fields in Shihezi, Xinjiang [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(7):3470-3474. (in Chinese)
- 45 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)
- 46 马彦,杨虎德.甘肃省农田地膜污染及防控措施调查[J].生态与农村环境学报,2015,31(4):478-483.
- MA Yan, YANG Hude. Investigation on pollution caused by mulching plastic film in Gansu Province and the countermeasures [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2015, 31(4):478-483. (in Chinese)
- 47 王旭峰,马少辉,王伟,等.风沙作用下塑料地膜破损现状分析及防治措施探索[J].农机化研究,2012(11):245-252.
- WANG Xufeng, MA Shaohui, WANG Wei, et al. Study analysis about damage of plastic film under the sandstorm and exploration about prevention and control measures [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012(11):245-252. (in Chinese)
- 48 马辉,梅旭荣,严昌荣,等.华北典型农区棉田土壤中地膜残留特点研究[J].农业环境科学学报,2008,27(2):570-573.
- MA Hui, MEI Xurong, YAN Changrong, et al. The residue of mulching plastic film of cotton field in North China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(2):570-573. (in Chinese)
- 49 王瑟,张国圣.“白色污染,难题何解?”[N].光明日报,2014-03-07.
- 50 兰印超,申丽霞,李若帆.不同地膜覆盖对土壤温度及水分的影响[J].中国农学通报,2013,29(12):120-126.

- LAN Yinchao, SHEN Lixia, LI Ruofan. Effects of different film mulching on soil temperature and moisture[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(12):120-126. (in Chinese)
- 51 牛文全,邹小阳,刘晶晶,等. 残膜对土壤水分入渗和蒸发的影响及不确定性分析[J]. 农业工程学报,2016,32(14):110-119.
- NIU Wenquan, ZOU Xiaoyang, LIU Jingjing, et al. Effects of residual plastic film mixed in soil on water infiltration, evaporation and its uncertainty analysis[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(14):110-119. (in Chinese)
- 52 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)
- 53 孙志洁. 棉田残膜污染调查及其危害[J]. 河南农业科学,2006(4):61-62.
- 54 张保民,王兰芝. 残膜污染土壤对小麦生长发育的影响[J]. 河南农业科学,1996(2):9-10.
- 55 张保民,王兰芝. 残膜污染农田危害花生生长模拟试验[J]. 河南农业科学,1994(1):18-19.
- 56 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)
- 57 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]. 农业工程学报,2013,29(8):91-99.
- 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]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(8):91-99. (in Chinese)
- 58 牛瑞坤,王旭峰,胡灿,等. 新疆阿克苏地区棉田残膜污染现状分析[J]. 新疆农业科学,2016,53(2):283-288.
- NIU Ruikun, WANG Xufeng, HU Can, et al. Analysis of the current situations of plastic films residue pollution of cotton field in Xinjiang Aksu area[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2016, 53(2):283-288. (in Chinese)
- 59 王志超,李仙岳,史海滨,等. 农膜残留对砂壤土和砂土水分入渗和蒸发的影响[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(1):198-205. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20170126&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170126&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.01.026.
- WANG Zhichao, LI Xian Yue, SHI Haibin, et al. Effects of residual plastic film on infiltration and evaporation for sandy loam and sandy soil[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(1):198-205. (in Chinese)
- 60 王志超,李仙岳,史海滨,等. 农膜残留对土壤水力参数及土壤结构的影响[J/OL]. 农业机械学报,2015,46(5):101-106,140. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20150515&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150515&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.05.015.
- WANG Zhichao, LI Xian Yue, SHI Haibin, et al. Effects of residual plastic film on soil hydrodynamic parameters and soil structure[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(5):101-106,140. (in Chinese)
- 61 银敏华,李援农,李昊,等. 覆盖模式对农田土壤环境与冬小麦生长的影响[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(4):127-135,227. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20160418&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160418&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.04.018.
- YIN Minhua, LI Yuannong, LI Hao, et al. Effects of mulching patterns on farmland soil environment and winter wheat growth[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(4):127-135, 227. (in Chinese)
- 62 张贵国,吕敬军,赵存花,等. 不同地膜覆盖栽培对花生经济性状及产量和经济效益的影响[J]. 山东农业科学,2011(3):52-53.
- 63 牛琪,陈学庚. 地膜应用与残膜回收技术的研究现状[J]. 农机科技推广,2014(11):38-40.
- 64 王伟伟,裴新民. 国内残地膜回收设备应用现状与发展研究[J]. 安徽农业科学,2015,43(23):368-370.
- WANG Weiwei, PEI Xinmin. Application status and development of domestic plastic film recycling equipment[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2015, 43(23):368-370. (in Chinese)
- 65 张学军,吴成武,王伟,等. 齿形刮板式残膜与残茬输送装置设计与试验[J]. 农业机械学报,2008,39(9):49-51.
- ZHANG Xuejun, WU Chengwu, WANG Wei, et al. Design and experiment on the zigzag scraper transportation device for remnant plastic film and stubble[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(9):49-51. (in Chinese)
- 66 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 for Agricultural Machinery, 2007, 38(9):55-58. (in Chinese)
- 67 张木林,王玮,张全贵. 滚筒式收膜机工作部件的研究与设计[J]. 农业机械学报,1992,23(2):114-116.
- 68 徐伟. 农用残膜回收机主要结构设计和分析的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.
- 69 何义川,王序俭,王吉亮,等. 4SZ-3.0型收膜整地联合作业机的设计与试验[J]. 甘肃农业大学学报,2013,48(4):149-154.
- HE Yichan, WANG Xujian, WANG Jiliang, et al. Design and experiment of 4SZ-3.0 film collecting combined tillage machine[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2013, 48(4):149-154. (in Chinese)
- 70 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.
- YAN Panpan, CAO Silin, LUO Xin, et al. Research on the spring-tooth-chain-rake incomplete plastic film recycling machine

- [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, 38(6):137-142. (in Chinese)
- 71 李刚,张林海,付宇,等. 曲柄摇杆式残地膜捡拾机构研究[J/OL]. 农业机械学报,2014,45(增刊):63-67. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=2014s111&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2014s111&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.S0.011.
- LI Gang, ZHANG Linhai, FU Yu, et al. Crank-rocker mechanism for collecting plastic film[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014,45(Supp.):63-67. (in Chinese)
- 72 SAWYER A G, ROBERSON R L. Plastic sheet take-up implement; US, 5,236,501[P]. 1993-08-17.
- 73 BROOKS T W. Apparatus for removing and baling plastic mulch; US, 5,452,652[P]. 1995-09-26.
- 74 ROCCA A R. Plastic mulch retriever; US, 8,302,699B2[P]. 2012-10-02.
- 75 LAVO G. Machine for removing wide strips laid out on the ground; US, 5,386,876[P]. 1995-02-07.
- 76 陈一丁. 我国“白色污染”状况及治理概述[EB/OL]. (2015-12-23)[2017-03-20]. [http://mp.weixin.qq.com/s?\\_\\_biz=MzAwNTAzNTg2Nw==&mid=401710801&idx=1&sn=4ecb144bbb15c513462546f94a8d0605&scene=0#wechat\\_redirect](http://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzAwNTAzNTg2Nw==&mid=401710801&idx=1&sn=4ecb144bbb15c513462546f94a8d0605&scene=0#wechat_redirect).
- 77 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):147-149.
- 78 娄秀华,张东兴,张淑敏,等. 1MS-II型地膜回收机起膜铲动力性能试验分析[J]. 农业机械学报,2004,35(5):67-69.
- LOU Xiuhua, ZHANG Dongxing, ZHANG Shumin, et al. Experimental investigation on performance of loosening shovel of 1MS-II polythene film collector[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(5):67-69. (in Chinese)
- 79 张炳发,杨宛章. 卷膜式残膜回收机的设计[J]. 农业工程,2015,5(1):79-82.
- 80 王吉亮,王敏,营雨琨,等. 链耙式残膜回收与茎秆粉碎联合作业机设计[J]. 广东农业科学,2013,40(5):189-190,194.
- WANG Jiliang, WANG Min, YING Yukun, et al. Design of chain harrow type film remnant recycle and stem crushing combined machine[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 40(5):189-190,194. (in Chinese)
- 81 何义川,王序俭,王吉亮,等. 棉花秋后残膜回收与茎秆粉碎联合作业机设计[J]. 西北农业学报,2013,22(8):199-204.
- HE Yichan, WANG Xujian, WANG Jiliang, et al. Research and design of cotton plastic film collector & field straw chopper combined machine after autumn[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2013, 22(8):199-204. (in Chinese)
- 82 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]. 农业工程学报,2016,32(24):1-8.
- YU Yunhai, CHEN Xuegeng, WEN Haojun. Development and experiment of straw chopping and plastic film strip-collection combined machine[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(24):1-8. (in Chinese)
- 83 康建明,王士国,颜利民. 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](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2016s022&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.S0.022.
- KANG Jianming, WANG Shiguo, YAN Limin. 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)
- 84 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.
- 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 for Agricultural Machinery,2005, 36(8):38-40. (in Chinese)
- 85 王春耀,陈发,王学农,等. 弧形挑膜齿残膜清理滚筒主要部件的强度分析[J]. 农业机械学报,2007,38(2):76-78.
- WANG Chunyao, CHEN Fa, WANG Xuenong, et al. Analytical research on intensity of the arc spring-finger type plastic film residue pickup cylinder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2007, 38(2):76-78. (in Chinese)
- 86 陈发,史建新,赵海军,等. 固定凸轮残膜捡拾机构的优化设计[J]. 农业机械学报,2005,36(12):43-46.
- CHEN Fa, SHI Jianxin, ZHAO Haijun, et al. Optimum design of fixing cam combination mechanism for collecting plastic residue[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2005, 36(12):43-46. (in Chinese)
- 87 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.
- CHEN Fa, SHI Jianxin, WANG Xuenong, et al. Study on collecting principle of arc-type tooth roller for collecting plastic residue[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2006, 37(6):36-41. (in Chinese)
- 88 李天文,段文献,王吉奎,等. 夹持输送式残膜回收装置的设计与试验[J]. 农业工程学报,2016,32(24):18-25.
- LI Tianwen, DUAN Wenxian, WANG Jikui, et al. Design and test of clamping and conveying device for recycling agricultural residual plastic film[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(24):18-25. (in Chinese)
- 89 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)
- 90 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)
- 91 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]. 农业工程学报,2016,32(19):35-42.
- DUAN Wenxian, WANG Jikui, LI Yang, et al. Design and test of clamping finger-chain type device for recycling agricultural

- plastic film[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(19):35–42. (in Chinese)
- 92 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)
- 93 严伟,胡志超,吴努,等. 铲筛式残膜回收机输膜机构参数优化与试验[J]. 农业工程学报,2017,33(1):17–24.  
YAN Wei, HU Zhichao, WU Nu, et al. Parameter optimization and experiment for plastic film transport mechanism of shovel screen type plastic film residue collector[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(1):17–24. (in Chinese)
- 94 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/OL]. 农业机械学报,2017,48(1):64–72. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20170109&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170109&journal_id=jcsam). DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.01.009.  
DAI Fei, ZHAO Wuyun, SUN Wei, et al. Design and experiment of combined operation machine for potato harvesting and plastic film pneumatic auxiliary collecting[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2017, 48(1):64–72. (in Chinese)
- 95 李勇,赵武云,戴飞,等. 马铃薯挖掘与残膜回收联合作业机的研制与试验[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版,2016,42(1):102–107.  
LI Yong, ZHAO Wuyun, DAI Fei, et al. Development and experiment of combined operation machine for potato harvesting and plastic film collecting[J]. Journal of Hunan Agricultural University:Natural Sciences, 2016,42(1):102–107. (in Chinese)
- 96 严昌荣. 完善法规标准杜绝残膜污染[N]. 农民日报,2015–08–20.
- 97 王频. 残膜污染治理的对策和措施[J]. 农业工程学报,1998,14(3):190–193.  
WANG Pin. Countermeasures and measures for the treatment of residual membrane pollution[J]. Transactions of the CSAE, 1998, 14(3):190–193. (in Chinese)
- 98 陈学庚,刘景德,赵岩. 新疆兵团农业现代化生产技术发展的几点建议[J]. 绿洲农业科学与工程,2016,2(2):3–7.
- 99 严昌荣,何文清,薛颖昊,等. 生物降解地膜应用与地膜残留污染防控[J]. 生物工程学报,2016,32(6):748–760.  
YAN Changrong, HE Wenqing, XUE Yinghao, et al. Application of biodegradable plastic film to reduce plastic film residual pollution in Chinese agriculture[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2016, 32(6):748–760. (in Chinese)
- 100 刘晓伟,何文清,吕军,等. 不同材料的可降解地膜对土壤温度、水分、盐分及棉花产量的影响[J]. 陕西农业科学,2016,62(3):52–56.
- 101 吕江南,王朝云,易永健. 农用薄膜应用现状及可降解农膜研究进展[J]. 中国麻业科学,2007,29(3):150–156.  
LÜ Jiangnan, WANG Chaoyun, YI Yongjian. The development status of agricultural plastics mulching film and progress on degradable mulching films[J]. Plant Fibers Sciences in China, 2007, 29(3):150–156. (in Chinese)
- 102 孙云云,高玉山,窦金刚,等. 半干旱区玉米降解地膜覆盖栽培综合效应研究[J]. 中国农学通报,2011,27(30):27–31.  
SUN Yunyun, GAO Yushan, DOU Jin'gang, et al. Comprehensive effects of degradable plastic film mulching cultivation for maize in semi-arid region[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(30):27–31. (in Chinese)
- 103 李丽霞,纪文义,陈海涛,等. 大豆秸秆纤维制造可降解地膜工艺参数优化[J]. 农业工程学报,2013,29(14):220–226.  
LI Lixia, JI Wenyi, CHEN Haitao, et al. Technology optimization for manufacturing biodegradable mulch using soybean straw fiber[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(14):220–226. (in Chinese)
- 104 康虎,敖李龙,秦丽珍,等. 生物质可降解地膜的田间降解过程及其对玉米生长的影响[J]. 中国农学通报,2013,29(6):54–58.  
KANG Hu, AO Lilong, QIN Lizhen, et al. Effects of biodegradable mulch film by reusing biomass residue on degradation in field and corn growth[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(6):54–58. (in Chinese)
- 105 虞利俊,徐磊,唐玉邦,等. 3 种可降解地膜的合成及应用展望[J]. 江苏农业科学,2013,41(10):10–11.
- 106 申丽霞,王璞,张丽丽,等. 可降解地膜的降解性能及对土壤温度、水分和玉米生长的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(4):111–116.  
SHEN Lixia, WANG Pu, ZHANG Lili, et al. Degradation property of degradable film and its effect on soil temperature and moisture and maize growth[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(4):111–116. (in Chinese)
- 107 袁海涛,王丽红,董灵艳,等. 氧化-生物双降解地膜降解性能及增温、保墒效果研究[J]. 中国农学通报,2014,30(23):166–170.  
YUAN Haitao, WANG Lihong, DONG Lingyan, et al. Degradation performance and the effects on warming and moisture conservation of oxo-biodegradable mulching film[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(23):166–170. (in Chinese)
- 108 赵沛义,康暄,妥德宝,等. 降解地膜覆盖对土壤环境和旱地向日葵生长发育的影响[J]. 中国农学通报,2012,28(6):84–89.  
ZHAO Peiyi, KANG Xuan, SUI Debao, et al. Research of soil environment and sunflower growth in dry land mulching degradable plastic film[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(6):84–89. (in Chinese)
- 109 李振华,张丽芳,康暄,等. 降解地膜覆盖对土壤环境和旱地马铃薯生育的影响[J]. 中国农学通报,2011,27(5):249–253.

- LI Zhenhua, ZHANG Lifang, KANG Xuan, et al. Research of soil environment and fertility of potato grow in dry land mulching degradable plastic film[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(5):249–253. (in Chinese)
- 110 赵彩霞,何文清,刘爽,等. 新疆地区全生物降解膜降解特征及其对棉花产量的影响[J]. 农业环境科学学报,2011, 30(8):1616–1621.
- ZHAO Caixia, HE Wenqing, LIU Shuang, et al. Degradation of biodegradable plastic mulch film and its effect on the yield of cotton in Xinjiang region, China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2011, 30(8):1616–1621. (in Chinese)
- 111 张若宇,丁竹青,李晓良,等. 基于虚拟仪器的籽棉残膜分离装置测试系统[J/OL]. 农业机械学报,2014,45(10):97–102. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20141016&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20141016&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.10.016.
- ZHANG Ruoyu, DING Zhuqing, LI Xiaoliang, et al. Automatic monitor system for mesh roller type unginned cotton and film remnant separator based on virtual instrument[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(10):97–102. (in Chinese)
- 112 牛琪,纪超,赵岩,等. 集条残膜打包机拾捡清理装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(5):101–107. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=20170512&flag=1](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20170512&flag=1). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.05.012.
- NIU Qi, JI Chao, ZHAO Yan, et al. Design and experiment on collecting and separating device for strip plastic film baler[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(5):101–107. (in Chinese)
- 113 赵岩,郑炫,陈学庚,等. CMJY-1500 型农田残膜拾捡打包联合作业机设计与试验[J]. 农业工程学报,2017,33(5):1–9.
- ZHAO Yan, ZHENG Xuan, CHEN Xuegeng, et al. Design and test of CMJY-1500 type plastic film residue collecting and balling machine[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(5):1–9. (in Chinese)
- 114 白云龙,李晓龙,张胜,等. 内蒙古地膜残留污染现状及残膜回收利用对策研究[J]. 中国土壤与肥料,2015(6):139–145.
- BAI Yunlong, LI Xiaolong, ZHANG Sheng, et al. Study on the current situation of plastic film residue pollution and the countermeasures for the recovery and utilization of residual film in Inner Mongolia[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2015(6):139–145. (in Chinese)
- 115 张东兴. 农用残膜的回收问题[J]. 中国农业大学学报,1998,3(6):103–106.
- ZHANG Dongxing. Study on collection of used plastic film in field[J]. Journal of China Agricultural University, 1998, 3(6):103–106. (in Chinese)
- 116 朱梦诗,刘从九. 浅谈我国废旧农膜回收利用现状[J]. 长沙大学学报,2015,29(2):101–104.
- ZHU Mengshi, LIU Congjiu. On the recycle status of agricultural plastic films in China[J]. Journal of Changsha University, 2015, 29(2):101–104. (in Chinese)
- 117 石鑫,牛长河,乔园园,等. 塑料垃圾分选技术在废旧地膜与杂质分离中的应用研究进展[J]. 农业工程学报,2016,32(增刊2):22–31.
- SHI Xin, NIU Changhe, QIAO Yuanyuan, et al. Application of plastic trash sorting technology in separating waste plastic mulch films from impurities[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(Supp.2):22–31. (in Chinese)
- 118 吴小艳,王书,周惠兴,等. 基于 EtherCAT&GPRS 的智能残膜回收装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(9):50–55. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20160908&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160908&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.09.008.
- WU Xiaoyan, WANG Shu, ZHOU Huixing, et al. Design and test of intelligent residual film recovery device based on EtherCAT & GPRS[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(9):50–55. (in Chinese)
- 119 任萍. 立秆残膜回收机的设计研究[D]. 石河子:石河子大学,2016.