

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

XUE Ying-hao, CAO Si-lin, XU Zhi-yu, et al. Status and trends in application of technology to prevent plastic film residual pollution[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(8): 1595–1600.

地膜残留污染防治技术现状及发展趋势

薛颖昊¹, 曹肆林², 徐志宇¹, 靳拓¹, 贾涛¹, 严昌荣^{3*}

(1.农业部农业生态与资源保护总站, 北京 100125; 2.新疆农垦科学院机械装备研究所, 新疆 石河子 832000; 3.中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所/农业部农膜残留污染防治重点实验室, 北京 100081)

摘要:地膜已成为我国农业生产的重要物资之一,地膜覆盖已广泛应用到全国,尤其是北方干旱、半干旱和南方的高山冷凉地区,且呈现持续增长的态势,2015年地膜用量达145.5万t,覆盖面积达1831.8万hm²。地膜覆盖技术对保障中国食物安全供给做出了重大贡献,但是,随着地膜投入量和使用年限不断增加,大量农膜残留在土壤中,不但严重影响了农业生产的持续进行,而且对农业环境安全与健康构成了巨大威胁。通过分析生物降解地膜替代、一膜两(多)用、机械化地膜回收等地膜残留污染防治关键技术的现状,提出未来应对地膜残留污染的技术措施和策略,为地膜覆盖技术合理应用和残膜污染防治提供科学依据。

关键词:地膜残留污染;防控技术;发展趋势

中图分类号:X712 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2017)08-1595-06 doi:10.11654/jaes.2017-0298

Status and trends in application of technology to prevent plastic film residual pollution

XUE Ying-hao¹, CAO Si-lin², XU Zhi-yu¹, JIN Tuo¹, JIA Tao¹, YAN Chang-rong^{3*}

(1. Rural Energy & Environment Agency, Ministry of Agriculture, Beijing 100125, China; 2. Machinery Research Institute, Xinjiang Academy of Land Reclamation Sciences, Shihezi 832000, China; 3. The Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, CAAS/Key Laboratory for Prevention and Control of Residual Pollution in Agricultural Film, MOA, Beijing 100081, China)

Abstract: Plastic film has been recognized as a valuable material within agricultural production in China in recent years. Consequently, plastic film mulching technology has markedly improved grain crop yields and water use efficiency by conserving water, maintaining soil moisture, suppressing weeds, increasing soil temperature, and improving cold tolerance in China's Northern drylands, semiarid regions, high altitude regions, and Southern cold regions. Plastic film coverage in China now covers an area of 18.3 million hectares, and the amount of plastic film used reached 1.45 million tons in 2015. Hence, plastic film mulching has played an important role in Chinese agricultural production. Despite the benefits of plastic film mulching technology, its widespread use has generated large amounts of plastic film mulching residue, which has led to unsustainable farmland use, thereby affecting the agricultural environment. In this paper, we summarized the current state of key technologies to prevent residual pollution by plastic film, including alternative biodegradable film technologies, the multi-purpose plastic film technique, and film machine recycling technologies. We also propose strategies to deal with plastic film pollution, which may provide a scientific basis for the rational application of plastic mulching technology and the corresponding prevention of residual film pollution.

Keywords: plastic film residual pollution; pollution prevention technology; development trends

收稿日期: 2017-03-07

作者简介: 薛颖昊(1984—),男,江苏宜兴人,工程师,主要从事农业生态环境保护工作。E-mail: yhxue010@qq.com

*通信作者: 严昌荣 E-mail: yanchangrong@caas.cn

基金项目: 中国工程院咨询项目“我国地膜覆盖及残留污染防治战略研究”(2017-XZ-18);农业部“农业生态环境保护专项”(2110402)

Project supported: China Academy of Engineering Consulting Project “Plastic Mulching and Residual Pollution Prevention and Control Strategy Research in China”(2017-XZ-18); Ministry of Agriculture “Agricultural Ecological Environmental Protection Specialization”(2110402)

地膜是农业生产的重要物质资料之一,地膜覆盖技术应用极大地促进了农业产量和效益的提高,带动了我国农业生产方式的改变和农业生产力的快速发展^[1]。2015年全国地膜用量达145.5万t,覆盖面积1831.8万hm²^[2],地膜覆盖已广泛应用到全国,尤其是北方干旱、半干旱和南方的高山冷凉地区,且呈现持续增长的态势^[3]。地膜覆盖的增温保墒、抑制杂草等功能,使我国蔬菜、玉米、花生、棉花等农作物产量大幅度提高,为保障食物安全供给做出了重大贡献^[3]。但是,普通PE地膜以聚乙烯为原料,在自然条件下很难降解^[4-6]。随着地膜投入量和使用年限的不断增加,大量地膜残留于土壤中,破坏土壤结构、导致耕地质量下降、作物减产以及农事操作受阻^[7-9],且呈现逐渐加重的态势。本文从降解地膜替代、PE地膜减量化、回收机械化三方面入手,针对覆盖地膜使用、回收两大关键环节,通过实地调研和文献资料梳理,对我国地膜残留污染防治关键技术应用现状、存在的问题进行了分析,并提出我国未来应对地膜残留污染的技术措施和策略,旨在为地膜覆盖技术合理应用和残膜污染防治提供科学依据。

1 生物降解地膜替代技术

生物降解地膜替代PE地膜是新型环境友好型地膜替代技术的主体。生物降解地膜的主要原料有天然生物质和石油基两类,天然生物质包括对淀粉、纤维素、甲壳素等原料进行改性、再合成的高分子化合物,石油基则主要包括二元酸二元醇共聚酯(PBS、PBAT等)、聚羟基烷酸酯(PHA)、聚己内酯(PCL)^[10]、聚羟基丁酸酯(PHB)^[11]、二氧化碳共聚物-聚碳酸亚丙酯(PPC)等。

全国各地开展的相关研究显示,生物降解地膜具有与普通PE地膜相似的增温保墒、抑制杂草等功能,并能彻底解决地膜用后的残留问题。王建武等^[12]研究结果显示,在旱作条件下生物降解地膜覆盖能够提高马铃薯产量与水分利用效率,且均优于PE地膜。白丽婷等^[13]和赵爱琴等^[14]研究了生物降解地膜对小麦和玉米生长的影响,发现二者的作用和功能基本一致。诸多学者(林萌萌等^[15]、张淑敏等^[16]、杨友军等^[17]、杨丹^[18])的研究结果都显示生物降解地膜对花生、大蒜、甘蔗、冬油菜的作用与PE地膜基本一致,能够满足作物生长需要。尤其是王锡春等^[19]研究表明,生物降解地膜能有效促进烤烟生长和烟叶品质改善,烟叶外观质量和经济性状均优于普通PE地膜。

但也有研究显示,生物降解地膜在功能方面与普通PE地膜还存在差异。赵彩霞等^[20]发现新疆棉花生产中,生物降解地膜过快破裂和降解影响了其增温保墒性能,造成了20%以上的减产,尤其是寒旱区,生物降解地膜与普通PE地膜的增产效果存在较大差异,大部分生物降解地膜因破裂和降解过早而无法满足作物生长需求^[21]。生物降解地膜的降解受到外界环境的强烈影响,具有很强的区域性,需要根据区域环境和作物需求研发专用生物降解地膜^[22]。

从农业部2015—2016年的试验和部分地区开展的大面积示范来看,与上述学者的研究成果基本一致。在一定地区和部分作物上,生物降解地膜替代技术具备推广条件,可以开展较大面积的推广示范,如在马铃薯(特别是覆土种植的马铃薯)和南方地区的经济作物(蔬菜、烟草)上。但由于生物降解地膜材料和生产工艺等方面的特性,大规模应用前仍需要解决四个方面的问题:一是操作性,产品抗拉强度能否满足覆膜操作的要求,在大规模的机械化作业农区,抗拉强度要求较高,能够进行机械化铺膜作业,而在西南山区,人工覆膜,则可以对其强度要求相对降低;二是功能性,即覆膜后能够在农田中保持合适的时间后才开始破裂,以满足增温保墒抑草等利于作物生长的特性;三是可控性,即地膜破裂和降解时间应该在完成其基本功能后才开始,尤其是不能过早开裂和降解;四是经济性,产品成本要通过材料生产规模化、产品配方精准化等措施和方法逐渐降低,以求形成与普通PE地膜具有竞争能力的综合成本。

随着人们环境意识的增强、地膜回收法律法规的完善、农村劳动力缺失和回收人工投入成本上升以及地膜回收的困难,普通PE地膜回收和生物降解地膜的综合成本将会越来越接近,生物降解地膜替代普通PE地膜是地膜覆盖技术应用的必由之路,生物降解地膜的应用前景十分良好。

2 一膜两(多)用技术

一膜两(多)用技术是指覆膜前茬作物收获后,不揭膜保护地膜,于当年或翌年春季在原有地膜上播种后茬作物的一种免耕抑蒸保墒增温技术。旨在一次覆膜,连续多年免耕,种植多茬作物,降低生产成本,延长地膜地面覆盖时间,保蓄秋冬降雨,最大限度利用自然降水,有效减少地膜用量,防治地膜残留污染。

苏永中等^[23]研究了玉米免耕与地膜再利用栽培模式,结果表明旧膜仍具较好的增温保墒功能,尤其

是能够减少冬闲期田间无效蒸发,而旧膜直播的玉米产量仅降低 4.4%~10.6%,节本增效的效果明显。史建国^[24]和闫雅菲^[25]研究发现,覆膜玉米后茬免耕种植向日葵能够有效发挥地膜在冬闲期的保墒功能,且省去了地膜投入,减少了农田耕作作业,向日葵产量与新膜覆盖相比仅略有降低,但综合经济效益却有较大幅度提高。吴兵等^[26]和闫志利等^[27]研究了旧膜再种植胡麻的模式,发现利用前茬作物的地膜基本满足胡麻生产对温度和水分需求;同时,地膜二次利用能有效减少地膜投入,减少耩耙地等田间作业次数,简化栽培管理活动,降低劳动强度,达到省工、省力、节本和增效的目的^[28-29]。虽然一膜两用满足了降低地膜投入的目的,但需要在农田管理技术方面进行改进。苏化洲等^[30]研究发现,地膜玉米后茬免耕直播向日葵要特别注重土壤墒情管理;周月君^[31]研究发现旧膜上免耕直播种植应改革前茬作物的基肥施用量,防止肥力不足;艾海舰等^[32]研究表明地膜再利用可提高旧膜覆盖土壤水分并降低土壤盐分,但可能导致地膜之间耕层的土壤盐分提高。以上都是一膜两(多)用中需要加以研究和解决的关键问题。

黄土高原旱作区是一膜两(多)用的主要区域,已经在一定规模上得到了应用。如 2016 年,甘肃省会宁县一膜多年利用种植面积已达 2.55 万 hm^2 ,占 2015 年全膜双垄沟播面积的 36.2%,该县以头茬新膜玉米-二茬旧膜玉米-三茬旧膜胡麻为核心的轮作种植制度,已成为不保灌水区独特的少免耕轮作节水节本增效种植模式,穴播胡麻面积已占胡麻播种面积的 70%以上。一膜两(多)用技术不仅发挥了地膜覆盖的作用,而且通过对前茬作物地膜的再利用,减少了耕作对土壤的扰动,减轻冬春季土壤水蚀和风蚀危害,尤其是减少地膜投入,实现了节本增效并缓解了地膜残留污染的问题。同时,一膜两(多)用技术也存在一些局限和问题,尤其是无法一次大量施肥和穴补追肥作业效率低。此外,一膜两(多)用与机械化作业存在不匹配的问题。这些是影响该项技术应用面积扩大的主要障碍因素。

3 机械化地膜回收技术

地膜回收机具的研究始于 20 世纪 80 年代末,已开发研制的机具达百余种^[33],主要类型包括弹齿式、卷膜辊式、伸缩杆齿式、链耙式、铲筛式、夹指链式等^[33-36]。按照农艺要求和作业时间分为三类:一是苗期地表残膜回收,二是耕前地表残膜回收,三是耕

后的耕层残膜回收^[37]。

苗期地表残膜回收一般是在作物浇头水前将地膜揭去,以便于中耕除草、施肥和灌溉,此时地膜使用时间短、未老化,并有一定强度,而且膜上积土少,起膜容易,有利于收膜。此类机具以起膜后再卷膜的工作方法,结构简单,工作可靠,地膜收净率一般在 80% 以上^[38]。代表机型主要有 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。由于苗期收膜会导致作物灌水量增加,与我国北方旱作区农业生产不相适应,已很少应用。

耕前地表残膜回收则是在作物收获后、耕地前将田间的残膜收起。由于地膜在农田经过了一个作物生长季,存在不同程度的破损,以及地膜与土壤紧密粘连等,农作物秸秆尚存于农田中,回收难度较大,但优势是此时回收不会影响农作物。因此,耕前残膜回收机也是研究热点,并已开发出大量针对特定作物和种植方式的地膜回收机,形成了比较系统的作业体系,主要包括:一是以立秆搂膜机为核心的秸秆粉碎之前立秆搂膜集条作业体系,即用秸秆还田机在垂直于作物种植行方向构建一条 30~50 m 宽的卸膜道,然后用立秆搂膜机将地膜搂集到卸膜通道,最后用铲车等将地膜清理出田间;二是以拔秆起膜机为核心的棉秆(茬)起拔与搂膜集条分段作业体系,先采用特定的拔秆起膜机刀辊入土将棉秆(茬)拔起铺放在地表并完成膜土分离,然后用指盘式搂草机进行集条,最后采用人工分拣地膜与秸秆;三是以秸秆粉碎还田和地膜联合作业机为核心的秸秆粉碎还田与搂膜集条联合作业体系,通过将秸秆粉碎还田机与搂膜工作部件进行有效集成,作业时秸秆粉碎机将秸秆粉碎后抛洒到机具正后方,紧接着搂膜部件进行搂膜作业;四是棉秸秆还田及残膜回收联合作业机为核心的秸秆粉碎还田与残膜捡拾装联合作业,采用卧式秸秆粉碎还田机将棉花秸秆粉碎后抛洒到机具后方,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,如 4JSM 型滚筒式棉秸秆还田及残膜回收联合作业机和 4CMS 型链耙式残膜回收与秸秆粉碎联合作业机,已经在新疆较大规模地进行应用。此外,根茬翻埋与残膜捡拾装联合作业,即先采用旋耕机将棉秆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,如 4CM 型多功能残膜回收机^[39-42]。近几年,我国在茬作作物的田间收膜机研究方面也取得了一定进展,如研发了链条导轨式、铲链式、铲筛式、齿链式与铲掘筛分式等多种残膜

回收机,并形成了比较合理的技术方案^[43-46]。

耕层残膜回收主要针对历年耕层内的残碎膜,结合秋翻、春耕犁地作业(作物播前)进行残膜回收作业。由于残膜主要以碎片状形式分布在耕层,回收难度大,残膜回收率有限。目前在生产中广泛应用的回收机主要是密排弹齿式搂膜机、平地搂膜联合作业机和加装搂膜耙、扎膜辊的整地机,都采用搂或扎的方式回收,作业深度5 cm以内,残膜回收率50%,一般需要人工卸膜,存在作业效率较低、劳动强度大等问题。研究的重点在搂膜和扎膜自动脱膜机构、收膜深度和卸膜方便性等方面,比较成熟的有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^[47-49]。

4 地膜残留污染防控技术发展趋势

由于我国地膜覆盖技术应用的广泛性和模式的多样性,地膜残留污染防控面临着巨大挑战,仅依靠单一技术并不能很好地解决问题,需要因地制宜、多措并举,集成现有技术构建地膜污染综合防控体系,有效减少残膜污染、节约资源,实现农业生态环境可持续健康发展。生物降解地膜替代和机械化地膜回收将是地膜残留污染防控的关键措施。在生物降解地膜替代方面,适合不同区域和特定作物的低成本生物降解地膜将是未来的发展方向。此外,在满足农艺要求的同时,应对生物降解地膜特性进行改进,使之与农艺措施有机匹配和结合。在地膜机械化回收方面,要重视构建残膜回收机械化“立体”作业技术体系,发展和丰富残膜回收机具的种类和功能,满足种植模式和收膜时间多样性的要求。机具本身的性能要强化因地制宜,实现农机农艺技术相融合,提高作业效率,重点发展能够突破膜杂分离、边膜回收和耕层残膜回收等关键技术环节。

参考文献:

- [1] 严昌荣,刘恩科,舒帆,等.我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术[J].农业资源与环境学报,2014,31(2):95-102.
YAN Chang-rong, LIU En-ke, SHU Fan, et al. Review of agricultural plastic mulching and its residual pollution and prevention measures in China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2014, 31(2):95-102.
- [2] 国家统计局农村社会经济调查司.中国农村统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2016:50.
Rural Society Investigation Department of National Statistical Bureau. China rural statistics yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2016:50.
- [3] 严昌荣,何文清,刘爽,等.中国地膜覆盖及残留污染防控[M].北京:科学出版社,2015:76-86.
YAN Chang-rong, HE Wen-qing, LIU Shuang, et al. Application of mulch films and prevention of its residual pollution in China[M]. Beijing: Science Press, 2015:76-86.
- [4] 杨惠娣.塑料薄膜与生态环境保护[M].北京:化学工业出版社,2000:110-113.
YANG Hui-di. Farmland plastic film and ecological environment protection[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000:110-113.
- [5] Liu E K, He W Q, Yan C R. 'White revolution' to 'white pollution': Agricultural plastic film mulch in China[J]. *Environmental Research Letters*, 2014, 9(9):091001.
- [6] Yan C R, He W Q, Turner N C, et al. Plastic-film mulch in Chinese agriculture: Importance and problems[J]. *World Agriculture*, 2014, 4(2):32-36.
- [7] 高青海,陆晓民.残留地膜对番茄幼苗形态和生理特性的影响[J].热带亚热带植物学报,2011,19(5):425-429.
GAO Qing-hai, LU Xiao-min. Effects of plastic film residue on morphology and physiological characteristics of tomato seedlings[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2011, 19(5):425-429.
- [8] 解红娥,李永山,杨淑巧,等.农田残膜对土壤环境及作物生长发育的影响研究[J].农业环境科学学报,2007,26(增刊):153-156.
XIE Hong-e, LI Yong-shan, YANG Shu-qiao, et al. Influence of residual plastic film on soil structure, crop growth and development in fields[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(Suppl):153-156.
- [9] 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 He-gan, LIU Tong, LI Yong-guan, et al. Effects of plastic film residue on cotton yield and soil physical and chemical properties in Xinjiang[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(8):91-99.
- [10] Tokiwa Y, Calabia B P. Biodegradability and biodegradation of poly(lactide)[J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2006, 72(2):244-251.
- [11] Sridewi N, Bhubalan K, Sudesh K. Degradation of commercially important polyhydroxyalkanoates in tropical mangrove ecosystem[J]. *Polym Degrad Stab*, 2006, 91(12):2931-2940.
- [12] 王建成,张雄,段义忠.生物可降解地膜对马铃薯生长及水分利用效率的影响[J].中国农学通报,2016,32(24):97-102.
WANG Jian-wu, ZHANG Xiong, DUAN Yi-zhong. Influence of biodegradable mulch on water use efficiency and growth of dryland potato[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32(24):97-102.
- [13] 白丽婷,海江波,韩清芳,等.不同地膜覆盖对渭北旱塬冬小麦生长及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(4):135-139,162.
BAI Li-ting, HAI Jiang-bo, HAN Qing-fang, et al. Effects of mulching with different kinds of plastic film on growth and water use efficiency of winter wheat in Weibei Highland[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2010, 28(4):135-139, 162.
- [14] 赵爱琴,李子忠,龚元石.生物降解地膜对玉米生长的影响及其田间降解状况[J].中国农业大学学报,2005,10(2):74-78.
ZHAO Ai-qin, LI Zi-zhong, GONG Yuan-shi. Effects of biodegradable mulch film on corn growth and its degradation in field[J]. *Journal of*

- China Agricultural University*, 2005, 10(2): 74-78.
- [15] 林萌萌, 孙涛, 尹继乾, 等. 不同生物降解地膜对花生光合特性和产量的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(27): 190-197.
- LIN Meng-meng, SUN Tao, YIN Ji-qian, et al. Effects of different biodegradable films mulching on the photosynthetic characteristics and yield of peanut[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(27): 190-197.
- [16] 张淑敏, 冯宇鹏, 米庆华, 等. 不同生物降解地膜对大蒜产量的影响[J]. 山东农业科学, 2014, 46(3): 69-71.
- ZHANG Shu-min, FENG Yu-peng, MI Qing-hua, et al. Effects of different biodegradable plastic films on garlic yield[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2014, 46(3): 69-71.
- [17] 杨友军, 谢东, 陈明周, 等. 完全生物降解地膜应用于甘蔗种植的研究[J]. 广东农业科学, 2013(1): 19-20, 23.
- YANG You-jun, XIE Dong, CHEN Ming-zhou, et al. Research of truly biodegradable mulch film applied in sugarcane planting[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2013(1): 19-20, 23.
- [18] 杨丹. 生物降解膜覆盖及垄沟覆盖对冬油菜生理生长、产量及水分利用率的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- YANG Dan. Biodegradable film mulching and furrow mulching impact on winter oilseed rape physiological growth, yield and water use efficiency[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2016.
- [19] 王锡春, 靳志丽, 周向平, 等. 生物降解地膜对烟区土壤温湿度及烤烟产质量的影响[J]. 中国农学通报, 2016, 32(24): 146-152.
- WANG Xi-chun, JIN Zhi-li, ZHOU Xiang-ping, et al. Effects of biodegradable mulch film on soil temperature and moisture and yield and quality of flue-cured tobacco[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32(24): 146-152.
- [20] 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 Cai-xia, HE Wen-qing, 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.
- [21] 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 Chang-rong, HE Wen-qing, XUE Ying-hao, 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.
- [22] 温善菊, 伍维模, 战勇, 等. 可降解地膜的生物降解作用研究[J]. 河南农业科学, 2012, 41(6): 71-74.
- WEN Shan-ju, WU Wei-mo, ZHAN Yong, et al. Study on biodegradation of degradable mulching film[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2012, 41(6): 71-74.
- [23] 苏永中, 张珂, 刘婷娜, 等. 免耕旧膜再利用对玉米产量及灌溉水生产力的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(5): 491-498.
- SU Yong-zhong, ZHANG Ke, LIU Ting-na, et al. Effects of no-tillage combined with reused plastic film mulching on maize yield and irrigation water productivity[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2016, 33(5): 491-498.
- [24] 史建国. 覆膜玉米后茬免耕种植向日葵农田效应研究[D]. 内蒙古: 内蒙古农业大学, 2012.
- SHI Jian-guo. Effects of re-used plastic film mulching on sunflower's field in Hetao area, China[D]. Inner Mongolia: Inner Mongolia Agricultural University, 2012.
- [25] 闫雅非. 地膜再利用免耕栽培向日葵的增产效应研究[D]. 内蒙古: 内蒙古农业大学, 2013.
- YAN Ya-fei. Effects of no-tillage planting sunflower with the plastic film reuse on yield increase[D]. Inner Mongolia: Inner Mongolia Agricultural University, 2013.
- [26] 吴兵, 高玉红, 赵利, 等. 旧膜再利用方式对旱地胡麻干物质生产及水分利用效率的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(11): 1457-1463.
- WU Bing, GAO Yu-hong, ZHAO Li, et al. Effects of used plastic film disposal patterns on dry matter production and water use efficiency of oil flax in arid areas[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(11): 1457-1463.
- [27] 闫志利, 吴兵, 党占海, 等. 农田旧膜再利用方式对胡麻生理指标及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(2): 197-202.
- YAN Zhi-li, WU Bing, DANG Zhan-hai, et al. Effect of treatment patterns of used plastic film in field on oilflax physiological index and yield[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(2): 197-202.
- [28] 张永清. 巴彦淖尔市推广地膜二次利用免耕栽培技术[J]. 中国农技推广, 2008, 24(10): 11-12.
- ZHANG Yong-qing. Popularization of no-tillage combined with reused plastic film mulching technique in BayanNur[J]. *China Agricultural Technology Extension*, 2008, 24(10): 11-12.
- [29] 陈浩, 贾利欣, 融晓萍, 等. 地膜二次利用免耕种植小麦套晚播向日葵栽培技术[J]. 现代农业, 2010(9): 47-48.
- CHEN Hao, JIA Li-xin, RONG Xiao-ping, et al. No-tillage combined with reused plastic film mulching technique used to plant wheat and sunflower[J]. *Modern Agriculture*, 2010(9): 47-48.
- [30] 苏化洲, 韩成, 张瑞琴, 等. 地膜玉米后茬免耕直播向日葵栽培技术[J]. 内蒙古农业科技, 2005(7): 357.
- SU Hua-zhou, HAN Cheng, ZHANG Rui-qin, et al. No-tillage combined with reused plastic film mulching technique used to plant sunflower after maize[J]. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 2005(7): 357.
- [31] 周月君. 地膜西瓜后茬免耕直播向日葵栽培技术[J]. 宁夏农林科技, 2011, 52(4): 71, 85.
- ZHOU Yue-jun. No-tillage combined with reused plastic film mulching technique used to plant sunflower after watermelon[J]. *Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology*, 2011, 52(4): 71, 85.
- [32] 艾海舰, 李志熙, 边利军. 地膜再利用对土壤水盐及油菜幼苗生长的影响[J]. 水土保持通报, 2014, 34(3): 14-18, 241.
- AI Hai-jian, LI Zhi-xi, BIAN Li-jun. Effects of reuse technique of plastic film mulch on soil moisture, soil salt and oil sunflower seedling growth[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2014, 34(3): 14-18, 241.
- [33] 曹肆林, 王序俭, 沈从举, 等. 残膜回收机械化技术的专利分析研究

- [J]. 中国农机化, 2009(4):48-50.
- CAO Si-lin, WANG Xu-jian, SHEN Cong-ju, et al. Patent analysis on mechanization technology of retrieving the used plastic film[J]. *Chinese Agricultural Mechanization*, 2009(4):48-50.
- [34] 谢建华, 侯书林, 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(增刊1):94-99.
- XIE Jian-hua, HOU Shu-lin, 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(Suppl 1):94-99.
- [35] 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(5):189-190, 194.
- WANG Ji-liang, WANG Min, YING Yu-kun, et al. Design of chain harrow type film remnant recycle and stem crushing combined machine[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2013(5):189-190, 194.
- [36] 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 Wen-xian, WANG Ji-kui, LI Yang, et al. Design and test of clamping finger-chain type device for recycling agricultural plastic film[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(19):35-42.
- [37] 中华人民共和国农业部. 2016 年农业主导品种和主推技术(上册)[M]. 北京:中国农业出版社, 2016:188-189.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. 2016 Agricultural leading varieties and main push technology (Volume 1)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016:188-189.
- [38] 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):148-150.
- XUE Wen-jin, WANG Chun-yao, ZHU Zhen-zhong, et al. Design on roll film residual film recovery machine for cotton fields during seedling period[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2005, 36(3):148-150.
- [39] 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.
- CHEN Fa. Research, application and advice on farmland residual film recycling mechanization technology in Xinjiang[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2008, 45(Suppl 2):127-134.
- [40] 王学农, 史建新, 郭俊先, 等. 悬挂式棉秆粉碎还田搂膜机搂膜机构的设计与试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1):135-140.
- WANG Xue-nong, SHI Jian-xin, GUO Jun-xian, et al. Experimental study and design on film raking mechanism of hanging film raker with cotton-stalk crushing and returning to field[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(1):135-140.
- [41] 王学农, 冯 斌, 陈 发, 等. 4JSM-1800 棉秸秆还田及残膜回收联合作业机研制[J]. 新疆农机化, 2003(4):53-54.
- WANG Xue-nong, FENG Bin, CHEN Fa, et al. Research on 4JSM-1800 cotton stalk returning and used polythene film collecting combined machine[J]. *Xinjiang Agricultural Mechanization*, 2003(4):53-54.
- [42] 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 Yi-chuan, WANG Xu-jian, WANG Ji-liang, 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.
- [43] 游兆延, 胡志超, 吴朋来, 等. 铲链式茎作残膜回收机性能试验与结构优化[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2016, 37(1):86-90.
- YOU Zhao-yan, HU Zhi-chao, WU Peng-lai, et al. Performance research and structure optimization of shovel-chain typed ridge residue plastic film recycling machines[J]. *Journal of Yangzhou University(Agricultural and Life Science Edition)*, 2016, 37(1):86-90.
- [44] 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 Zhi-chao, 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 Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(1):17-24.
- [45] 吕钊钦, 张 磊, 张广玲, 等. 链条导轨式地膜回收机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(18):48-54.
- LÜ Zhao-qin, ZHANG Lei, ZHANG Guang-ling, et al. Design and test of chain guide rail-type plastic film collector[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(18):48-54.
- [46] 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 Wu-yun, 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.
- [47] 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(6):137-142.
- YAN Pan-pan, CAO Si-lin, LUO Xin, et al. Research on the spring-tooth-chain-rake incomplete plastic film recycling machine[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2016(6):137-142.
- [48] 张学军, 吴成武, 王旭东, 等. 残膜分离筛机构的运动仿真与分析[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7):113-116.
- ZHANG Xue-jun, WU Cheng-wu, WANG Xu-dong, et al. Motion simulation and analysis of separating sieve mechanism for scrap plastic film[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23(7):113-116.
- [49] 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 Chang-he, QIAO Yuan-yuan, et al. Application of plastic trash sorting technology in separating waste plastic mulch films from impurities[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(Suppl 2):22-31.