

引用本文格式 李伟, 李明军, 赵恒章, 等. 地膜覆盖种植技术及残膜污染防控[J]. 农业工程, 2024, 14(6): 65-71. DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.2024.06.012. LI Wei, LI Mingjun, ZHAO Hengzhang, et al. Plastic film covering planting technology and residual film pollution prevention and control[J]. Agricultural Engineering, 2024, 14(6): 65-71.

## 地膜覆盖种植技术及残膜污染防控

李伟<sup>1</sup>, 李明军<sup>1</sup>, 赵恒章<sup>2</sup>, 孙冬霞<sup>1</sup>, 李树兵<sup>1</sup>, 韩小伟<sup>1</sup>

(1. 滨州市农业科学院, 山东 滨州 256600; 2. 滨州市农业技术推广中心, 山东 滨州 256600)

**摘要:** 地膜覆盖种植技术, 经过几十年的应用, 产生了严重的残膜污染危害, 但现阶段对于保障我国农产品安全供应依然发挥着不可或缺的积极作用, 故残膜污染防控不可回避。残膜污染防控措施主要有地膜减量化应用、降解膜替代普通聚乙烯地膜和残膜回收3种。阐述了我国农用地膜发展应用概况、覆膜种植积极作用、残膜污染危害及残膜污染防控技术措施, 展望残膜污染防控技术, 以期残膜污染防控提供参考。

**关键词:** 地膜; 残膜污染; 防控措施; 残膜回收机

中图分类号: X712 文献标识码: A 文章编号: 2095-1795(2024)06-0065-07

DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.2024.06.012

## Plastic Film Covering Planting Technology and Residual Film Pollution Prevention and Control

LI Wei<sup>1</sup>, LI Mingjun<sup>1</sup>, ZHAO Hengzhang<sup>2</sup>, SUN Dongxia<sup>1</sup>, LI Shubing<sup>1</sup>, HAN Xiaowei<sup>1</sup>

(1. Binzhou Academy of Agricultural Sciences, Binzhou Shandong 256600, China; 2. Binzhou Agricultural Technology Promotion Center, Binzhou Shandong 256600, China)

**Abstract:** Plastic film covering planting technology has been applied for decades and residual plastic film has become a serious pollution hazard. Given its positive role in safe supply of agricultural products in China, plastic film mulch is indispensable and thus it is inevitable to prevent and control residual film pollution. At present, there are three main measures for prevention and control of residual film pollution, namely, reducing use of plastic-film mulch, replacing common polyethylene film with degradable ones, and recycling residual mulch film. Development and application of agricultural plastic film in China, positive effect of plastic film on planting, harm of residual film, and measures for prevention and control of residual film pollution were introduced. Prevention and control technology of residual film pollution was prospected, hoping to provide a reference in this respect.

**Keywords:** plastic film, residual film pollution, prevention and control measures, residual film recycling machine

### 0 引言

地膜覆盖种植技术具有提温保墒等改善农作物生长环境的效果, 其延长作物适种时间、扩展作物适种区域功能在我国农业生产中得到充分展现, 为农产品品质提升、农业增产和保障农产品安全供给作出巨大贡献, 提质增产效果得到了广大农民的一致认可, 我国地膜覆盖种植技术得以迅速普及<sup>[1-3]</sup>。目前, 我国地膜使用量居世界各国之首, 以极难降解的普通聚乙烯地膜应用为主, 聚乙烯地膜降解时间长达200~400年,

其及时有效回收的缺失导致大量地膜在土壤中残留, 造成土壤结构破坏、土壤通透性降低、水肥运移受阻, 进而导致作物减产和品质下降, 还会出现残膜缠绕农机具造成机械作业受阻等一系列农业生产问题<sup>[4-9]</sup>。随着覆膜年限增加, 残膜污染对农田生态的潜在威胁逐年加大, 农田生态面临严峻挑战, 残膜污染防控已成为农业生产可持续发展难以绕开的话题。

残膜污染防控可主要从地膜减量使用、地膜回收、降解膜替代聚乙烯地膜3个方面进行<sup>[10-12]</sup>。本研究对我国地膜发展应用概况、覆膜种植积极作用、残膜污

收稿日期: 2023-12-16 修回日期: 2024-04-08

基金项目: 2023年度滨州市农社领域科技创新政策引导计划项目(市科技特派员助力乡村振兴行动计划项目)(2023KTPY002)

作者简介: 李伟, 高级工程师, 主要从事农业机械化研究 E-mail: LW163126@163.com

赵恒章, 通信作者, 农艺师, 主要从事农业技术推广工作 E-mail: zh28712515@163.com

在线投稿  
www.d1ae.com

染危害及残膜污染防控技术措施等进行归纳梳理,阐明现阶段残膜污染防控的必要性和技术路径,结合我国国情对残膜污染防控提出建议。

## 1 应用概况

国外 20 世纪中叶已开始覆膜种植技术研究应用,日本自 1948 年开始研究覆膜种植技术,1955 年首先在草莓种植中应用,1977 年覆膜面积已高达 20 万  $\text{hm}^2$  以上<sup>[13-14]</sup>。1978 年我国农牧渔业部从日本引进了包含作业方法、覆膜机械等在内的一整套地膜覆盖技术,并于次年开始在一些地区试验、推广,积累了技术经验,随即我国生产出厚度 0.015~0.020 mm 的聚乙烯薄膜,具备了大面积发展覆膜种植技术的物质条件;1982 年开始大规模推广覆膜种植技术,由于地膜覆盖的增产效果明显,配套机械化覆膜技术也不断完善,2015 年我国推广面积已达到 1 833 万  $\text{hm}^2$  以上<sup>[13-16]</sup>。近年,我国地膜使用量占全球总使用量的 70%,地膜覆盖面积已占全球的 90%,据估算,地膜覆盖种植技术可为我国带来直接经济效益 1 200 亿~1 400 亿元/年,是我国农业生产不可或缺的重要增产技术,相当一段时期内,地膜覆盖种植技术持续应用对我国农业发展仍然具有重要意义<sup>[17]</sup>。

## 2 覆膜种植积极作用

### 2.1 提温保温

农用覆盖薄膜的提温保温作用主要是通过增加净辐射、阻碍水分蒸发散失对热量耗损、阻碍近地面气层热量交换等实现,地膜覆盖的提温保温作用可以解决一些高纬度地区春季气温低等不利因素,保证在春季土壤化冻时深翻、施肥、覆盖地膜播种。地膜覆盖后可有效增加积温,有效增加反射光,实现作物早熟、增产、提质。地膜覆盖种植的提温保温作用不仅延长了作物适种时间,还可以扩展多种作物的适种区域,使不适宜种植区变为适宜种植区<sup>[18]</sup>。覆膜种植已在我国寒冷地区得以广泛应用。

### 2.2 节水保墒、抑制盐碱

由于农用地膜气密性强,具有阻隔水汽的作用,地膜覆盖后水分蒸发明显减少,使得土壤长期保湿,在较干旱地区,耕层 0~25 cm 土壤含水率一般高于露地 50%,有效实现了干旱、半干旱地区土壤保墒<sup>[19-21]</sup>。此外,覆盖地膜减少了因水分蒸发导致盐分随水分向土壤表层的聚集,抑制了表层土壤盐碱,减轻了盐渍危害,有利于作物的出苗和提高幼苗成活率。覆膜种植技术已在我国旱作区、盐碱地区得以广泛应用。

### 2.3 提高土壤肥力

地膜覆盖的提温保墒作用,可增加土壤稳性团粒

1.5%,增加土壤孔隙度 1%~10%,降低容重 0.02~0.3  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,使土壤中肥、水、气、热条件更加利于微生物增殖和活动,加快有机物分解转化成植物可吸收养分的速度,从而有效提高养分利用率<sup>[19-23]</sup>。据测定,覆膜后可增加土壤中速效性氮 30%~50%、速效钾 10%~20%、速效磷 20%~30%<sup>[19-23]</sup>。此外,地膜覆盖可减少因灌溉、雨水冲淋、风蚀挥发等造成的养分损失,降低养分流失率。

### 2.4 抑制杂草

覆膜种植,地表地膜间的高温能够导致草芽、杂草枯死,此外地膜的机械阻碍作用也起到防止杂草肆意生长的作用。覆膜前向地表喷施除草剂,更可防止杂草丛生,节省除草的人力成本。其中黑色地膜具有更为明显的抑草效果,主要原因是黑色地膜透光率不足 10%,膜下杂草进行光合作用必需的可见光通过量严重不足,无法正常生长<sup>[24]</sup>。

### 2.5 其他功用

目前除一般透明地膜外,还有耐候、流滴、渗水、转光、有色、配色、有孔和降解等功能地膜<sup>[25]</sup>。随着地膜种类的增多,针对不同作物生长的需要,地膜功能已从最初的保温、保墒、抑草向调温、调墒、抑菌、反光、防虫和适期降解等多功能及作物专用方向发展。如覆盖银灰色反光膜能更好防蚜虫,还可减少病毒病传播危害,在马铃薯种植时使用配色地膜可降低马铃薯青头率等。

## 3 残膜污染危害

随着我国地膜覆膜面积的增加和长期以来未能及时有效回收,大量地膜残留土壤耕层,残膜污染危害也逐渐凸显。

### 3.1 破坏土壤结构

土壤耕层残留的地膜能够导致土壤结构的破坏,能够切断或改变土壤孔隙连续性,致使重力水移动时产生较大阻力,可削弱土地抗旱能力,引发土壤次生盐碱化。由于残膜切断或改变土壤孔隙连续性,会降低土壤透气性,影响土壤中微生物增殖和活动,从而会影响有机物的转化分解,降低土壤肥力<sup>[26]</sup>。耕层残膜增加还会导致土壤团聚体减少,影响土壤保水保肥性能,灌溉后易板结。残膜数量的增加使得土壤颗粒分散性增强,土壤抗蚀性降低。

### 3.2 影响种子发芽和作物生长

播在残膜之上的种子,萌发所需的水分及养分被残膜阻隔,会出现无法发芽、烂种、烂芽和幼苗枯死等问题,残膜之下的种子出芽后幼芽难以穿透残膜出土,对于采用单粒精播的作物,残膜极易造成缺苗断垄而影响产量。残膜对根系生长穿插也影响明显,根

系无法穿透残膜，触及残膜穿插受阻导致发育不良，根系发育不良影响到水分养分吸收进而影响作物生长发育，也导致作物产量下降。研究表明，残膜超标可导致蔬菜减产 14.6%~59.2%、小麦减产 9%~16%、玉米减产 11%~23%、棉花减产 10%~23% 及大豆减产 5.5%~9.0%<sup>[26-29]</sup>。

### 3.3 影响农机作业

随着农机技术飞速发展和人工成本不断攀升，农业机械化程度逐年提高，农机已成为现代农业的新主角。而残留于耕层的残膜极易缠绕农机入土转动工作部件造成停机清理，延误作业时间，影响农机作业效率，或者堵塞肥管、种管造成肥料漏施、种子漏播，甚至有直接导致机具损坏的情况发生。由残膜污染致使根系发育不良进而植株倒伏会影响化控、植保、打顶和收获等多个环节的机械作业，不利于农作物全程机械化的实现。

### 3.4 影响人畜身体健康

牲畜误食混杂于秸秆、饲草中的残膜会影响消化吸收，甚至导致死亡。残膜经漫长降解后产生微塑料，微塑料可直接或间接影响人畜身体健康。研究表明，小麦、莴苣等作物能够吸收微塑料累积在体内，微塑料可通过人类直接食用这类谷物、蔬菜摄入体内，也可以通过食物链间接向人体富集威胁人类健康。

## 4 残膜污染防控

残膜污染防控主要有减量使用地膜、降解膜替代普通聚乙烯地膜和残膜回收 3 种方式，目前应用最多的方式为残膜回收。

### 4.1 减量使用地膜

减量使用地膜的实现方式有节约型地膜技术和无膜种植技术两种。

节约型地膜技术主要通过高强度耐老化地膜产品结合轮作种植模式减少地膜投入，前茬作物收获后在原有地膜上免耕播种后茬作物（可多茬），延长地膜覆盖时间，减少单位时间内地膜用量，缓解残膜污染。如甘肃省会宁县以头茬新膜玉米-二茬旧膜玉米-三茬旧膜胡麻的轮作种植技术缓解残膜污染问题<sup>[30]</sup>。但该技术也存在穴补追肥作业效率低、与机械化作业不匹配等问题，并且在最后一茬作物收获后仍需进行地膜回收。

无膜种植技术主要在不影响作物生长前提下，采用农艺、品种等其他技术减少地膜覆盖度或完全不使用地膜，如中国农业科学院棉花研究所的无膜短季棉（中棉 619 等）种植，杜绝了棉花种植中的地膜使用，但在杂草控制及棉花产量等方面与覆膜棉花还有差距。

### 4.2 降解膜替代普通聚乙烯地膜

降解地膜是应土壤环境保护而生的普通聚乙烯地

膜替代品，以淀粉、作物秸秆等为主要原料，可降解为二氧化碳、水和生物质等，目前主要有光降解地膜、全生物降解地膜、光/生物双降解地膜、液态地膜、植物纤维地膜等<sup>[31]</sup>。

（1）光降解地膜。制备材料主要以聚乙烯为主，附加光敏剂及其他助剂，利用光氧化反应导致聚乙烯分子链断裂完成地膜降解<sup>[31-32]</sup>。光降解地膜应用目前有甘蔗、烟草等种植。光降解地膜需要充足光照才能降解，被掩埋、遮阴的部分不能如期完成降解，原料不足、成本高、降解时间不可控等局限性制约了其应用推广。

（2）生物降解地膜。降解材料资源丰富，分合成型降解材料和天然高分子降解材料，天然高分子降解材料可再生，包括淀粉、动植物蛋白质、纤维素、木质素和天然橡胶等<sup>[31-32]</sup>。生物降解地膜自然环境下通过微生物或植物体内酶的作用完成分解，目前在蔬菜、粮食等作物种植中应用较广泛，但降解周期短限制了其在生长期较长的作物中应用，同时与普通聚乙烯地膜相比其成本偏高也阻滞了其快速推广。

（3）光/生物双降解地膜。利用淀粉等可被微生物分解的物质与聚乙烯、合成树脂等共混制成<sup>[31-32]</sup>。光/生物降解地膜兼具光降解与生物降解的优点，光照不足可利用微生物完成降解，土壤环境中微生物不足时可利用光降解，降解效果好，但技术难度大，生产成本低。在玉米等多种作物大田试验表明，光/生物双降解地膜性能上可与普通地膜类似，但增产效果不明显。

（4）液态地膜。以作物秸秆为原料，由木质素、胶原蛋白、表面活性剂等天然高分子物质加工而成，通过均匀喷洒凝固形成薄膜，可在一定时间内自然降解<sup>[31-33]</sup>。液态地膜在玉米、花生、蔬菜等作物种植及植树造林等方面有应用，主要缺点是储运不便、环境适应性较差。

（5）植物纤维地膜。主要以作物秸秆、牧草等可再生资源为原料经加工处理而制成，但在提温保墒、机械强度、降解性能等方面还不成熟，仅在水稻等作物种植中进行了小范围应用<sup>[31-32]</sup>。

以上 5 种常见可降解地膜普遍生产成本较高，性能方面还存在一些不足，因此，大面积推广受到限制，但以生物质为主要原料的可降解地膜替代聚乙烯地膜是我国覆膜种植技术的发展趋势，降解地膜的应用面积将不断增加。

### 4.3 残膜回收

现阶段聚乙烯地膜依然是我国农田地膜覆盖的主流，残膜回收在相当一段时期内将继续是残膜污染防控的主要技术路径，目前残膜回收主要有手工回收、

机械化回收两种方式。

### 4.3.1 人工回收

目前人工回收地膜较少采用,主要原因是人工回收残膜缺点是作业环境恶劣、作业效率低、劳动强度大及雇工成本较高。据山东省无棣县景国农机服务专业合作社统计,每个劳动力仅能完成 $0.08\sim 0.10\text{ hm}^2/\text{d}$ 残膜回收,雇工成本 $80\sim 120\text{ 元}/\text{d}$ ,并且人工无法很好地回收耕层地膜,地膜回收率较低,仅适用于不适宜机械回收作业的地块或小农户农闲时自己进行残膜回收。

### 4.3.2 机械化回收

残膜机械化回收技术是使用残膜回收机对地表残膜及耕层残膜进行回收的一种残膜污染防控技术。

(1) 残膜回收机具和作业形式多样化。长期以来,我国地膜较国外厚度小、强度低、韧性差、覆盖周期长及完整性不佳,国外卷收式机具不适合直接套用于我国残膜回收。自20世纪80年代来经过40多年的研究应用,我国研制的适于不同作业时间、不同作业区域的残膜回收机具已有100余种,随着我国研发的残膜回收机具种类多样化,作业形式也逐步多样化。按拾膜原理分,有弹齿式回收、钉齿式回收、齿链式回收、指盘式回收、滚筒缠绕式回收、链扒式回收和气流式回收等<sup>[34-39]</sup>。按作业时间分,有播前残膜回收、苗期残膜回收、秋后残膜回收;按作业功能分,有单功能作业、联合作业,联合作业又分作物(主要是根茎类作物)收获与残膜回收联合作业、秸秆还田与残膜回收联合作业、播前整地与残膜回收联合作业等。按回收残膜完整性,有整膜卷收、碎膜回收、整膜碎膜兼收等。我国在残膜回收机械的研究应用方面已走在世界前列,机具类型、作业形式的多样化为残膜机械化回收技术的应用提供了技术装备保障。典型机具如固原鑫宇农机具有限公司的11FMJS-170型残膜回收机,结构型式为弹齿式,作业效率高,经济适用。新疆科神农业装备科技开发股份有限公司的4JMS-2.0型残膜回收与秸秆还田联合作业机,残膜拾拾机构采用弹齿链耙式,可一次完成残膜回收和秸秆粉碎还田联合作业,卸膜采用液压强制卸膜,可有效减少非作业时间,作业效率 $1\text{ hm}^2/\text{h}$ 左右。新疆农业科学院农业机械化研究所的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挑膜齿残膜清理滚筒机构,回收地膜含杂少。宁夏智源农业装备有限公司1FMX-150型气吸式膜杂分离回收机,可完成马铃薯收获和残膜回收联合作业,其吸风口设置5级分离系统,膜杂分离率95%。武城县大力农业机械有限公司的11SM-1.2型残膜回收机可实现整膜的卷收,并可通过液压控制实现自动卸膜。新疆科神农业装备

科技开发股份有限公司的CMJY-1500型农田残膜捡拾打包联合作业机可完成残膜捡拾并将收集的残膜压缩成方包,方便运输,同时可避免残膜随意飘散造成二次污染。此外,江苏沃得农业机械有限公司、常州汉森机械有限公司等国内知名企业也同石河子大学等科研单位合作在棉田残膜回收机研制方面取得新进展,将继续丰富残膜回收机械品类。

(2) 地膜品质提升降低了残膜机械化回收难度。国家标准GB 13735—2017《聚乙烯吹塑农用地面覆盖薄膜》2018年5月1日正式实施,标准对地膜的厚度和偏差、拉伸性能、耐候性能等多项指标进行了有利于地膜机械化回收的修订,提高了地膜厚度、力学性能、耐候性能。2020年9月1日开始实施的农业农村部等4部门联合颁布的《农用薄膜管理办法》、2020年1月国家发展改革委和生态环境部印发的《关于进一步加强塑料污染治理的意见》等都禁止销售厚度 $<0.01\text{ mm}$ 的聚乙烯农用地膜,各省区也相继颁布实施相关政策法规,严格监管地膜产品生产、流通环节,从源头杜绝不合格地膜产品流入农田,这些政策法规等的落地实施都是有利于地膜机械化回收,可有效降低地膜机械化回收的难度,为机械化回收提供地膜强度保障。

(3) 机收残膜资源化再利用成为短板。将回收残膜资源化再利用,可以从根本上解决随意弃置田间地头被大风吹散、填埋、焚烧等对环境造成二次污染,但含杂多、膜秆缠绕的机收残膜再生利用分拣成本高,加工流程复杂、利润有限,导致了再生利用生产投入乏力,加之建立的残膜回收点不足,残膜不能就近收储,大量已机收的残膜被废弃于田间地头,而地膜机械化回收又会产生机械作业成本,这将严重影响到农户进行残膜机械化回收的积极性,即使出于增产目的进行机收,大量残膜遗弃、焚烧、填埋也会造成二次污染<sup>[40-44]</sup>。残膜的资源化利用问题是关乎残膜机械化回收能否实现市场推动的关键影响因素,加快完善实施针对弥补这一短板的支持性政策,安排专项资金对残膜收储点建设、资源化利用生产线建立改进进行补助、贴息等,支持残膜资源化利用产业化势在必行。

## 5 结束语

未来相当一段时期,地膜覆盖种植技术仍将作为我国农产品安全供应的必要举措而继续发挥作用,同时也必须直面地膜残留污染造成的危害,结合我国国情继续完善防控技术体系。

(1) 地膜减量化应用方面,坚持少使用、少污染的原则。一是应科学评估作物覆膜带来的经济效益,对于覆膜种植经济效益不明显的农作物建议不使用地

膜覆盖。二是应加强无膜新品种和对应种植技术的研究应用，弱化地膜覆盖的作用。三是因地制宜探索一膜多用等其他农艺技术合理减少地膜投入，充分考虑人工成本过高的实际，完善农机配套，完善相关的农机农艺融合体系建设。

(2) 降解膜替代方面。一要充分考虑降解膜在不同土壤、气候条件下降解性能差别较大，不同作物对地膜降解的时间要求也不同的实际，进行大量细致的区域、品种试验研究，研究应用能满足不同区域、不同作物保温、保墒要求，可精准按时降解的多样化降解地膜。二要尽可能降低降解膜原料、工艺成本，提高性价比，让农户用得起、愿意用。三要继续提高降解地膜强度性能，以更好适应机械化覆膜作业的需要。四要加强相应的市场监督管理，防止不合格降解膜产品使用对土壤造成潜在污染风险。

(3) 残膜回收方面。一要大力引导支持残膜机械化回收，研制回收率更高、含杂率更低的先进适用机械。二要加强从生产到使用全过程监管，确保地膜覆盖中使用符合国家标准的地膜。三要在有条件地区推广应用高强度耐候地膜，为整膜卷收和降低含杂率提供地膜性能基础。四要加强残膜储运体系建设，采用残膜压捆运输解决运输不便的问题，通过科学合理布控残膜回收点，方便已回收残膜的售卖，实现定点收购存储，避免残膜二次污染。五要大力支持残膜再生利用产业发展，优化残膜膜杂分离技术、降低膜杂分离成本，同时拓宽资源化再应用领域，寻找对残膜含杂率要求更低的资源化利用方式。六要在以上几条基础上，政府引导激发各方活力，尽快构建农户、回收主体、加工企业皆可获益的市场运行机制，实现地膜回收可持续健康发展。

总的来说，我国幅员辽阔，气候、土壤类型各异，作物品种繁多，区域间农艺技术差异大，要根据区域、作物、技术条件等因素科学评估、合理选择、结合运用回收、降解膜替代和地膜减量化使用等技术手段，确立适用于不同区域、作物的残膜污染防控技术体系，并系统做好法律法规宣传执行、标准指导、补贴政策的落地实施，才能有效实现农田残膜污染防控。

#### 参考文献

- [1] 康建明, 王小瑜, 彭强吉, 等. 图说残膜机械化回收技术漫谈[M]. 北京: 中国农业出版社, 2022.
- [2] 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.
- [3] 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 Changrong, LIU Enke, 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.
- [4] 高团结, 马俊贵, 坎杂. 残膜机械化回收技术[J]. *农业工程*, 2014, 4(3): 10-13.  
GAO Tuanjie, MA Jungui, KAN Za. Mechanical recovery technology of residual film[J]. *Agricultural Engineering*, 2014, 4(3): 10-13.
- [5] 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(S2): 127-134.
- [6] 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(S1): 153-156.  
XIE Honge, LI Yongshan, YANG Shuqiao, et al. Influence of residual plastic film on soil structure, crop growth and development in fields[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(S1): 153-156.
- [7] 董合干, 刘彤, 李勇冠, 等. 新疆棉田地膜残留对棉花产量及土壤理化性质的影响[J]. *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 Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(8): 91-99.
- [8] 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 Qinghai, LU Xiaomin. 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.
- [9] 马兴旺, 赵靓, 李磐, 等. 捡拾方式对绿洲棉田地膜残留和棉花产量的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2020, 39(10): 2489-2494.  
MA Xingwang, ZHAO Jing, LI Pan, et al. Located researching effects of plastic film picking-up methods on soil residual film and cotton yield in oasis[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(10): 2489-2494.
- [10] 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.
- [11] 靳拓, 薛颖昊, 张明明, 等. 国内外农用地膜使用政策、执行标准与回收状况[J]. *生态环境学报*, 2020, 29(2): 411-420.  
JIN Tuo, XUE Yinghao, ZHANG Mingming, et al. Research advances in regulations, standards and recovery of mulch film[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2020, 29(2): 411-420.
- [12] 喻树迅. 无膜棉对中国棉花产业转型升级的意义[J]. *农学学报*, 2019, 9(3): 1-5.  
YU Shuxun. The significance of filmless cotton to promote the transformation and upgrading of China's cotton industry[J]. *Journal of Agriculture*, 2019, 9(3): 1-5.
- [13] 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.
- [14] 王耀林. 地膜覆盖栽培技术大全[M]. 北京: 农业出版社, 1988.
- [15] 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.
- [16] 赵岩, 陈学庚, 温浩军, 等. 农田残膜污染治理技术研究现状与展望[J]. 农业机械学报, 2017, 48(6): 1-14.  
ZHAO Yan, CHEN Xuegeng, WEN Haojun, et al. Research status and prospect of control technology for residual plastic film pollution in farmland[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(6): 1-14.
- [17] 严昌荣. 我国农田地膜残留污染的解决之道在哪[EB/OL]. (2022-12-05). [http://agri.china.com.cn/2022-12/05/content\\_42194235.htm](http://agri.china.com.cn/2022-12/05/content_42194235.htm).
- [18] 曹玉军, 程兆东, 郑百行, 等. 地膜覆盖残留的危害及防治对策研究[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(6): 258-259.  
CAO Yujun, CHENG Zhaodong, ZHENG Baihang, et al. Harm and prevention countermeasures of plastic film mulching residue[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(6): 258-259.
- [19] 韩休海, 邢占强, 于磊, 等. 水稻机械覆膜插秧试验研究[J]. 农机化研究, 2020, 42(12): 176-179.  
HAN Xiuhai, XING Zhanqiang, YU Lei, et al. Study on transplanting rice seedlings with mechanical film mulching[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2020, 42(12): 176-179.
- [20] 张美琴. 地膜覆盖的技术探讨[J]. 湖南农机, 2012, 39(3): 240, 242-242.  
ZHANG Meiqin. Plastic film mulching techniques[J]. Hunan Agricultural Machinery, 2012, 39(3): 240, 242-242.
- [21] 张丹, 刘宏斌, 马忠明, 等. 残膜对农田土壤养分含量及微生物特征的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(2): 310-319.  
ZHANG Dan, LIU Hongbin, MA Zhongming, et al. Effect of residual plastic film on soil nutrient contents and microbial characteristics in the farmland[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(2): 310-319.
- [22] 魏莹莹, 刘伟, 王晓, 等. 地膜覆盖垄式栽培对黄芩品质及土壤环境的影响[J]. 作物杂志, 2015(2): 134-139.  
WEI Yingying, LIU WEI, WANG Xiao, et al. The influence of covering plastic mulch on active component content in scutellaria baicalensis georgi and environment of soil[J]. Crops, 2015(2): 134-139.
- [23] 邹小阳, 牛文全, 刘晶晶, 等. 残膜对土壤和作物的潜在风险研究进展[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(7): 47-54.  
ZOU Xiaoyang, NIU Wenquan, LIU Jingjing, et al. Potential risks of plastic film residuals on soils and crops: a review[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2017, 36(7): 47-54.
- [24] 张金瑞, 任思洋, 戴吉照, 等. 地膜对农业生产的影响及其污染控制[J]. 中国农业科学, 2022, 55(20): 3983-3996.  
ZHANG Jinrui, REN Siyang, DAI Jizhao, et al. Influence of plastic film on agricultural production and its pollution control[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(20): 3983-3996.
- [25] 周燕, 王建军, 郝金凯. 地膜覆盖在农业生产中的利与弊[J]. 农业科技通讯, 2014(9): 39-41.
- [26] 张鸿超. 秸秆纤维地膜覆盖栽培对土壤环境和作物生长发育的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.  
ZHANG Hongchao. Influence of straw film mulching on soil environment and crop growth and development[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2017.
- [27] 陈魁, 张生军. 当前影响昌吉州棉花产量的农机化因素与对策[J]. 新疆农机化, 2008(2): 44-45.
- [28] 陈东城. 我国农用地膜应用现状及展望[J]. 甘蔗糖业, 2014(4): 50-54.  
CHEN Dongcheng. Application status and development of mulch film in China[J]. Sugarcane and Canesugar, 2014(4): 50-54.
- [29] 李伟, 嵇冬玲, 刘玉京, 等. 棉田残膜污染及机械化回收技术探讨[J]. 中国农机化学报, 2017, 38(1): 136-140, 145.  
LI Wei, ZHUO Dongling, LIU Yujing, et al. Discussion on remnant film pollution and mechanized residual film recovery technology in cotton fields[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2017, 38(1): 136-140, 145.
- [30] 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 Yinghao, CAO Silin, XU Zhiyu, 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.
- [31] 曹晓庆, 李璐, 张锋伟, 等. 五种常见可降解地膜的研究应用现状和展望[J]. 核农学报, 2023, 37(5): 1076-1087.  
CAO Xiaoqing, LI Lu, ZHANG Fengwei, et al. Research and application status of five common types of degradable mulching films[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2023, 37(5): 1076-1087.
- [32] 刘含俭. 山东省地膜残留及回收影响因素研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022.  
LIU Hanyu. Study on the influencing factors of mulch film residue and recycling in Shandong Province[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2022.
- [33] 宋莉, 秦洁, 黎轩, 等. 液态地膜对花生农艺性状、产量及土壤肥力的影响[J]. 中国农学通报, 2023, 39(33): 33-37.  
SONG Li, QIN Jie, LI Xuan, et al. Effects of liquid mulching film on agronomic traits, yield of peanut and soil fertility[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2023, 39(33): 33-37.
- [34] 平英华. 我国残膜机械化回收装备存在的问题及对策[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(22): 7678-7679, 7682.
- [35] 杨莹, 白圣贺, 赵守瑞, 等. 耕层残膜回收机的研究[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(7): 184-186.  
YANG Ying, BAI Shenghe, ZHAO Shourui, et al. Study on soil residual film recycling machine[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(7): 184-186.
- [36] 马少辉, 张学军. 1QZ-3900型耕层残膜收获机的研制[J]. 农机化研究, 2011, 33(7): 93-96.  
MA Shaohui, ZHANG Xuejun. Development on 1QZ-3900 plastic film collector[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011, 33(7): 93-96.
- [37] 张攀峰, 胡灿, 王旭峰, 等. 旋耕钉齿式耕层残膜回收机起膜部件动力学分析[J]. 农机化研究, 2018, 40(4): 14-18, 25.  
ZHANG Panfeng, HU Can, WANG Xufeng, et al. Kinetic analysis of rotary tillage nail tooth plastic film recycling machine hook film

- unit[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2018, 40(4): 14-18, 25.
- [38] 赵攸乐, 张学军, 靳伟, 等. 链齿耙式耕层残膜回收机捡拾机构的设计[J]. *农机化研究*, 2019, 41(2): 119-122, 127.  
ZHAO Youle, ZHANG Xuejun, JIN Wei, et al. Design of pick-up mechanism for the chain-teeth-rake topsoil incomplete plastic film recycling machine[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2019, 41(2): 119-122, 127.
- [39] 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.
- [40] 李伟, 廖培旺, 于家川, 等. 浅议地膜机械化回收[J]. *湖北农业科学*, 2021, 60(8): 17-22.  
LI Wei, LIAO Peiwang, YU Jiachuan, et al. Study on the mechanized recovery of mulch film[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2021, 60(8): 17-22.
- [41] 石鑫, 牛长河, 王学农, 等. 滚筒筛式废旧地膜与杂质风选装置设计[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(18): 19-26.  
SHI Xin, NIU Changhe, WANG Xuenong, et al. Design of roller sieve waste plastic film and trash winnowing machine[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(18): 19-26.
- [42] 蒋德莉, 陈学庚, 颜利民, 等. 农田残膜资源化利用技术与装备研究[J]. *中国农机化学报*, 2020, 41(1): 179-190.  
JIANG Deli, CHEN Xuegeng, YAN Limin, et al. Research on technology and equipent for utilization of residual film in farmland [J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2020, 41(1): 179-190.
- [43] 李俊虹, 罗昕, 胡斌, 等. 机收残膜混合物水洗清选装置的研究与试验[J]. *农机化研究*, 2019, 41(5): 152-156.  
LI Junhong, LUO Xin, HU Bin, et al. Research and experiment of the water-separating device for residual film mixture[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2019, 41(5): 152-156.
- [44] 梁荣庆, 陈学庚, 张炳成, 等. 新疆棉田残膜回收方式及资源化再利用现状问题与对策[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(16): 1-13.  
LIANG Rongqing, CHEN Xuegeng, ZHANG Bingcheng, et al. Problems and countermeasures of recycling methods and resource reuse of residual film in cotton fields of Xinjiang[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(16): 1-13.