农业环境科学学报
JOURNAL OF AGRO-ENVIRONMENT SCIENCE
中文核心期刊/CSCD
请通过网上投稿系统投稿
网址：http://www.aes.org.cn

安徽省典型区域农田地膜残留特征研究

刘莹, 武升, 童童, 郑晶, 曹迟, 姜家生, 黄文星, 施俊生, 马友华

引用本文:
刘莹, 武升, 童童, 郑晶, 曹迟, 姜家生, 黄文星, 施俊生, 马友华. 安徽省典型区域农田地膜残留特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2024, 43(1): 79–90.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.11654/jaes.2023–0178

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

张掖绿洲农田地膜残留量分布特征及影响因素
杜泽玉, 孙多鑫, 杨荣, 苏永中
农业环境科学学报. 2020, 39(12): 2789–2797 https://doi.org/10.11654/jaes.2020–0690

山东省花生种植区耕层土壤残膜赋存特征
王学霞, 宋宁宁, 薛颖昊, 王甲辰, 梁丽娜, 李梦佳, 刘淑丽, 刘东生
农业环境科学学报. 2021, 40(8): 1729–1737 https://doi.org/10.11654/jaes.2021–0059

捡拾方式对绿洲棉田地膜残留和棉花产量的影响
马兴旺, 赵靓, 李磐, 杨涛, 冶军, 闵伟, 侯振安
农业环境科学学报. 2020, 39(10): 2489–2494 https://doi.org/10.11654/jaes.2020–0956

地膜厚度对作物产量与土壤环境的影响
张丹, 王洪媛, 胡万里, 杨虎德, 徐钰, 马兴旺, 赵沛义, 刘宏斌
农业环境科学学报. 2017, 36(2): 293–301 https://doi.org/10.11654/jaes.2016–1008

地膜残留污染防控技术现状及发展趋势
薛颖昊, 曹肆林, 徐志宇, 靳拓, 贾涛, 严昌荣
农业环境科学学报. 2017, 36(8): 1595–1600 https://doi.org/10.11654/jaes.2017–0298

关注微信公众号，获得更多资讯信息

刘莹, 武升, 童童, 等. 安徽省典型区域农田地膜残留特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2024, 43(1): 79-90.
LIU Y, WU S, TONG T, et al. Characteristics of mulch film residue in typical areas of Anhui Province, China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2024, 43(1): 79-90.

开放科学 OSID

安徽省典型区域农田地膜残留特征研究

刘莹[1], 武升[1], 童童[1], 郑晶[1], 曹迟[1], 姜家生[1], 黄文星[2], 施俊生[2], 马友华[1*]

(1.农田生态保育与污染防控安徽省重点实验室, 安徽农业大学资源与环境学院, 合肥 230036; 2.安徽省农业生态环境总站, 合肥 230001)

摘　要: 为探究安徽省典型区域覆膜作物地膜残留特征及影响因素,于2019—2021年选择安徽省8个代表性地市13个县区共计15个监测点,利用典型样点采集的方法开展地膜残留监测,同时随机选取周边的10个农户或合作社开展问卷调查。结果表明:2019—2021年安徽省地膜平均残留量为10.80 kg·hm^{-2},未超出国家标准限值(75.00 kg·hm^{-2})。各监测点3 a平均残膜量在0~30 kg·hm^{-2}之间,残膜量为5~15 kg·hm^{-2}的监测点占53.33%。从不同区域来看,江淮丘陵区地膜残留量较多,其农田地膜残留量为3.62~25.76 kg·hm^{-2}。不同作物平均残膜量为马铃薯>露地蔬菜>烟草>果树>保护地蔬菜>大豆>瓜类>花生。保护地蔬菜地膜残留系数为1.59%,在沿用当前的覆膜生产模式下,此后连续覆膜8 a,残膜量将会超过国家标准限值。影响残膜量的因素有作物类型、覆膜年限、地膜规格。覆膜<10、10~19 a和20~30 a土壤的残膜含量存在显著差异,且不同厚度地膜的不规范使用在一定程度上加大了地膜回收的难度。研究表明:目前安徽省各监测点覆膜作物区地膜污染状况较轻,主要回收方式为人工捡拾,机械化程度较低。回收后的地膜主要作为农村生活垃圾处理,占比为52.91%。安徽省应通过调整种植结构、推广使用标准地膜、加强回收意识、提高回收率等方法来降低地膜污染。

关键词: 地膜残留;回收;分布特征;残留系数;农作物
中图分类号: X71　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1672-2043(2024)01-0079-12　　doi:10.11654/jaes.2023-0178

Characteristics of mulch film residue in typical areas of Anhui Province, China

LIU Ying[1], WU Sheng[1], TONG Tong[1], ZHENG Jing[1], CAO Chi[1], JIANG Jiasheng[1], HUANG Wenxing[2], SHI Junsheng[2], MA Youhua[1*]
(1. Key Laboratory of Farmland Ecological Conservation and Pollution Control of Anhui Province, College of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 2. Anhui Provincial Agro-Ecological Environment Station, Hefei 230001, China)

Abstract: To explore the characteristics and influencing factors of mulch film residues in typical areas and mulched crops in Anhui Province, in 2019—2021, 15 monitoring points in 13 counties and districts in 8 representative prefectures and cities of Anhui Province were selected, and positioning and typical sample collection methods were used to carry out mulch film residue monitoring, with 10 surrounding farmers or cooperatives randomly selected to carry out questionnaire surveys. The results showed that the average residue of mulch film in Anhui Province during 2019—2021 was 10.80 kg·hm^{-2}, which did not exceed the national standard limit (75.00 kg·hm^{-2}). The average residual film amount at each monitoring point in the three years was 0-30 kg·hm^{-2}, and the residual film amount was 5-15 kg·hm^{-2}, accounting for 53.33%. From the perspective of different regions, the amount of mulch film residue in the Jianghuai hilly area was higher, with the amount in farming areas being 3.62-25.76 kg·hm^{-2}. The average residual film amount for different crops decreased in the following order: potato>open-field vegetable>tobacco>fruit tree>protected area vegetable>soybean>melon>peanut. The residual coefficient of vegetable mulch film in protected areas was 1.59%, and the amount of residual film was expected to exceed the residual film limit

收稿日期: 2023-03-10　　**录用日期:** 2023-04-28
作者简介: 刘莹(1999—),女,山西忻州人,硕士研究生,从事农业面源污染研究。E-mail:424432167@qq.com
***通信作者:** 马友华　E-mail:yhma@ahau.edu.cn
基金项目: 安徽省农业农村厅项目(皖农环〔2021〕375)
Project supported: Department of Agriculture and Rural Affairs of Anhui Province, China (Anhui Nonghuan〔2021〕375)

standard set by the state after eight years of continuous lamination. The factors affecting the amount of residual film included the crop type, mulching age, and mulch film specification. There were significant differences in the residual film contents of mulching <10 a, 10−19 a, and 20−30 a soils, and the irregular use of mulch film of different thicknesses increased the difficulty of mulch film recovery, to a certain extent. The results showed that, at present, the pollution status of mulch film in the mulching crop area at each monitoring point in Anhui Province was relatively low, the main recycling method was manual picking, and the degree of mechanization was low. The recycled mulch film was mainly treated as rural household waste, accounting for 52.91%. Anhui Province should reduce mulch film pollution by adjusting the planting structure, promoting the use of standard mulch film, strengthening recycling awareness, and improving the recycling rate.

Keywords: mulch film residue; reclamation; distribution characteristic; carryover coefficient; cropper

我国是农业大国，2022年全国粮食播种面积为1.18亿hm^2，连续3 a保持增长趋势，全国粮食总产量为6 865.3亿kg，较2021年增产36.8亿kg，粮食产量连续8 a稳定在6 500亿kg以上，粮食生产再获丰收[1]。粮食丰收离不开地膜覆盖技术的应用，尤其对于干旱地区缺水导致作物减产发挥的增温、保墒、节水等优势，地膜覆盖不仅可以实现水果蔬菜的反季节生产，而且可以提高作物的产量。自1979年从日本引进地膜覆盖技术后，农用地膜就被广泛应用于我国各省市，同时作物适作范围从经济作物覆盖到大宗粮食作物[2-5]。

地膜覆盖具有抗旱节水、增温保墒等显著优势，但地膜的难以降解及不合理使用，会造成土壤板结，阻碍水分下渗[6-7]及土壤矿质养分的释放，削减土壤肥力[8]，影响土壤重金属的含量及移动性[9-10]，同时会显著影响作物的生长状况、产量及品质[11-14]，阻碍农作物的生长发育。Li等[15]的研究表明地膜降解速度极慢，在土壤中可降解为宏观、微观及纳米塑料，作物可以从土壤中吸收纳米塑料，从而危及粮食安全。此外，土壤中残留的地膜碎片可以通过风或地表径流输送到空气、河流和其他淡水水体中，从而影响周围环境[16]。据估计，每年有100万t地膜用于农业生产[17]，仅美国2004年就使用了13万t地膜[18]。《中国农村统计年鉴》显示，2016年地膜使用量最多，为147万t，随着我国地膜污染受重视程度和监测力度的加大，地膜使用量开始呈下降的趋势[19]，2020年地膜使用量较2016年下降了11.3万t，下降幅度达7.68%。2010—2020年间单位面积地膜使用量在628.992~798.913 kg·hm^{-2}之间，整体趋于平稳。由于各地农作物种植结构及模式、回收处理方式的不同，地膜残留量有着明显的区域特征。地膜残留主要集中在西北地区和华北平原，而在南方和东北地区的地膜残留量较低[20]。新疆和山东是累积残膜量最多的两个省份，分别占总残膜量的43.6%和14.9%。调查显示，新疆长期种植的棉田的地膜平均残留量为200 kg·hm^{-2}，最高可达540 kg·hm^{-2}，而内蒙古东部、山西北部的地膜平均残留量为100 kg·hm^{-2}[21]。

地膜残留量与覆膜年限、覆膜方式、作物类型、回收方式等因素密切相关。随着覆膜时间的延长，地膜残留量会显著增加[22]。不同覆膜方式下地膜残留量会有所差异，杜泽玉等[23]的研究表明张掖绿洲105个农田样地全覆膜、人工覆膜、机械覆膜下地膜残留量会呈现显著差异（P<0.05），全覆膜下地膜残留量分别是人工、机械覆膜的1.36、2.45倍，机械覆膜下地膜残留量最少，为15.26 kg·hm^{-2}。作物类型也是影响地膜残留量的关键因素。四川宜宾烟区地膜残留量表现为高粱地（7.054 kg·hm^{-2}）>烤烟地（6.878 kg·hm^{-2}）>玉米地（0.083 kg·hm^{-2}），高粱地残膜量最多可能是由于高粱地种植密度较大，垄宽较烤烟地窄，同一面积覆膜量多于烤烟地[24]。江西省典型地块六大作物地膜残留量规律为蔬菜（15.46 kg·hm^{-2}）>烟叶（13.02 kg·hm^{-2}）>水果（11.70 kg·hm^{-2}）>瓜果（10.47 kg·hm^{-2}）>油菜（10.35 kg·hm^{-2}）>菇类（5.58 kg·hm^{-2}），但作物间残膜量不具有显著差异[25]。吉林省连续覆膜10 a后，典型覆膜作物地膜残留量呈现为瓜菜模式>玉米连作模式>花生连作模式，瓜菜模式下地膜残留量最高，为30 kg·hm^{-2}，分别是玉米和花生连作模式下残膜量的1.06、1.89倍[22]。地膜是否回收及回收的力度同样也影响着残膜量，影响地膜回收的驱动机制有政府回收政策、农户认知和经济因素等，政策宣传和政策支持起着关键影响因素，通过政府对废旧地膜回收的宣传，建设政府规制实施体系，以激励、约束、引导的方式，提升农户的感知价值能力，增强农户的生态保护意识[26]。农户对残膜污染的认知、是否参加相关农业培训，影响对于废旧地膜的回收[27-28]。经济层面，补贴制度的确立会增强农户回收地膜的意愿，徐菊祯等[29]利用二元Logistic和解释结构模型（ISM）分析农户地膜回收的影响因素时发现经济补贴是深层根源因素，残膜回收是否有补贴影响当地回收企业的

建立。Caterina等[30]发现可采用经济补贴、税收抵免等举措来促进地膜回收。

国内外学者目前主要研究地膜残留的危害[31-34]、影响因素[35]及区域差异[36-40]。安徽省地处华东地区,气候适宜,适于粮食作物种植。前期已经进行了一些地膜污染方面的调查,但研究的样本量偏少,且代表性不高,目前亟需增加样本数量,对安徽省全省地膜污染情况及影响因素做进一步了解。因此,本研究于2019—2021年通过取样检测、问卷调查的方法探明安徽省地膜残留特征以及影响因素,以期为该区域的地膜残留污染防治提供决策依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

安徽省地处我国华东地区,地理位置29°41′~34°38′N,114°54′~119°37′E。安徽省在气候上属暖温带与亚热带的过渡地区,淮河以北属暖温带半湿润季风气候,淮河以南属亚热带湿润季风气候。该地区多年平均气温15.92 ℃,年平均降水量1 121.52 mm,年平均日照时数2 059.14 h,全年平均无霜期237.37 d。安徽省是全国粮食作物主产省之一,耕地面积超过587万hm²,常年农作物种植面积超过867万hm²,主要覆膜作物有蔬菜、甘薯、烟草等。

1.2 研究方法

(1)定位监测:2019—2021年安徽省地膜残留定位监测点位于8个地市13个县区,共计15个监测点,调查区域详见图1。在调查区域内选取主要覆膜作物,同时根据覆膜面积及覆膜年限选取有代表性的样点进行取样。各监测点基本信息详见表1。

(2)典型样点采样:考虑田块位置,地块地势平坦,避开建筑、河流、沟渠、坟地等,距铁路、省级以上公路300 m以上。选择覆膜作物,采样点选在相对平坦、稳定的农田里,以便长期监测,选取本地种植面积较大、覆膜时间较长(3 a以上)、覆膜结构(如时间、方式)相对稳定的农作物,包括露地蔬菜、保护地蔬菜、瓜果类、果树、玉米、大豆、烟草、马铃薯等。

采样时间:通常每年9—10月,在当年作物收获后到下一季作物播种覆膜前进行采样,采样时应保证农田未翻耕或旋耕,同时需揭除当季地表仍覆盖的地膜。每年采样时间尽量保持一致。

采样频次:一年一次。

(3)地膜样品采集与处理:每个样方大小为1 m×1 m,监测1 m²样方内0~30 cm耕层土壤的残膜量。

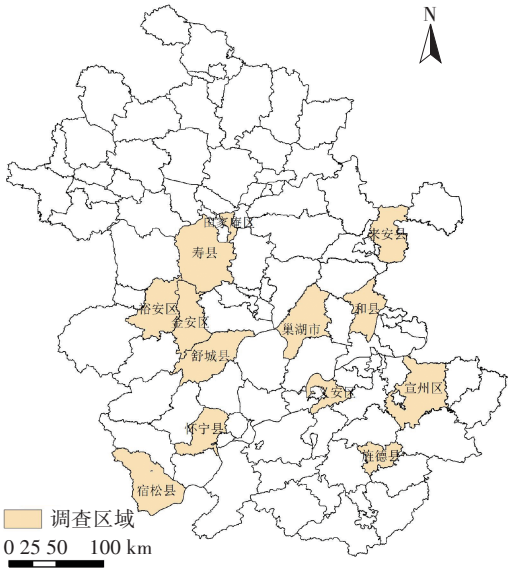


图1 调查区域

Figure 1 Survey area

表1 安徽省15个监测点基本信息

Table 1 Basic information of 15 monitoring points in Anhui Province

监测点 Monitoring point	种植作物 Grow crop	面积 Area/hm²	覆膜年限 Laminating age/a	采样方法 Sampling method
安庆市宿松县	露地蔬菜	48.00	26	蛇形线法
安庆市怀宁县	瓜类	1.00	25	对角线法
马鞍山市和县	番茄	0.11	5	对角线法
六安市金安区	保护地蔬菜	0.67	4	对角线法
六安市裕安区	保护地蔬菜	33.33	5	蛇形线法
六安市舒城县	露地蔬菜	0.60	6	对角线法
淮南市寿县	露地蔬菜-甘薯	1.00	13	对角线法
淮南市田家庵区	果树-瓜类	8.00	19	对角线法
宣城市旌德县	大豆	0.33	3	对角线法
宣城市宣州区	烟草-水稻	0.33	6	对角线法
滁州市来安县半塔镇	甘薯	26.67	20	蛇形线法
滁州市来安县杨郢乡	花生	6.67	7	对角线法
铜陵市义安区	保护地蔬菜	20.00	8	蛇形线法
合肥市巢湖市栏杆集镇	露地蔬菜-瓜类	4.00	9	对角线法
合肥市巢湖市炯炀镇	大豆-水稻	9.33	3	蛇形线法

去除附着在残膜上的泥土,仔细展开,放入清水中进行初步清洗后利用超声波清洗仪进一步清洗,用吸水纸吸去表层水分,放置阴凉干燥处晾干至质量恒定后称取质量[41]。

在2019、2020、2021年作物收获后进行土壤残膜的采集工作,测定地膜残留量,计算地膜残留系数(F)。

$$F=(C1-C2)/3A\times100\%$$

式中：$C1$为地膜铺设3 a后的残留量，kg·hm^{-2}；$C2$为初始年份地膜残留量，kg·hm^{-2}；3为实验周期；A为年均地膜用量，kg·hm^{-2}。

（4）问卷调查：随机选取采样点周边的10个农户或合作社，开展问卷调查。调查内容包括农户或合作社的耕地与播种面积、地块与住处间距离、灌溉方式等农业基本生产情况，作物用膜情况、覆膜年限、覆膜方式、残膜回收方式与去向等地膜使用与回收情况，3 a共收集有效调查问卷429份。其中2019年回收调查表165份，可参与统计分析的调查表有110份；2020年一共回收有效问卷154份；2021年一共回收有效问卷165份。

作物覆膜面积占比为某年份某作物覆膜面积占该年份全部作物覆膜面积的百分比。

作物地膜用量占比为某年份某作物地膜用量占某年份全部作物地膜用量的百分比。

户每公顷地膜用量（kg）为某年份该作物每公顷的地膜用量（kg）与某年份种植此作物户数的比值。

1.3 数据统计与分析

试验数据采用Excel 2010进行处理，采用SPSS 20.0软件进行处理间差异显著性分析，用Origin 2021b绘图。

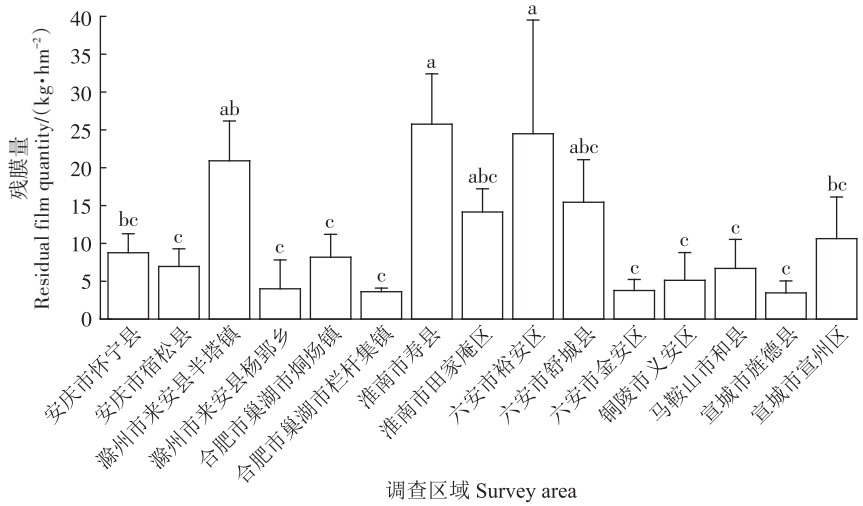
2 结果与分析

2.1 安徽省各监测点地膜残留情况

2019—2021年安徽省15个监测点0~30 cm土层中地膜残留量如图2所示。安徽省2019—2021年作物耕层土壤中残膜量介于3.46~25.76 kg·hm^{-2}，平均残膜量为10.80 kg·hm^{-2}，变异系数为30.78%，对比《农田地膜残留量限值及测定》（GB/T 25413—2010）中的农田地膜残留量标准限值（75 kg·hm^{-2}），安徽省3 a的地膜平均残留量未超出该标准限值。其中淮南市寿县地膜残留量最高，为25.76 kg·hm^{-2}，其次为六安市裕安区，残膜量为24.49 kg·hm^{-2}，残留量最低的为宣城市旌德县，为3.46 kg·hm^{-2}。综上可见安徽省覆膜种植区残膜污染状况较轻。

各监测点3 a平均残膜量在0~30 kg·hm^{-2}之间，其中残膜量为5~15 kg·hm^{-2}的监测点占53.33%，覆盖监测点为安庆市怀宁县、安庆市宿松县、合肥市巢湖市烔炀镇、淮南市田家庵区、六安市舒城县、铜陵市义安区、马鞍山市和县及宣城市宣州区。残膜量<5 kg·hm^{-2}和>15 kg·hm^{-2}的监测点分别占26.67%和20.00%。残膜量>15 kg·hm^{-2}的监测点主要位于滁州市来安县半塔镇、淮南市寿县及六安市裕安区，说明这3个监测点地膜污染情况相对严重。

安徽省15个监测点各年份地膜残留量如表2所示，2019年安徽省各监测点地膜残留量区间为2.66~41.81 kg·hm^{-2}，平均残留量为14.49 kg·hm^{-2}，残留量最大的为六安市裕安区。2020年安徽省各监测点地膜残留量为1.48~22.99 kg·hm^{-2}，平均残留量为8.85 kg·hm^{-2}，残留量最多的监测点为淮南市寿县，宣城市旌德县的地膜残留量最少。2021年各监测点地膜残留量为



不同小写字母表示处理间差异显著（P<0.05）。下同。

Different lowercase letters indicate significant differences between treatments（P<0.05）. The same below.

图2 2019—2021年0~30 cm土层中的平均残膜量

Figure 2 Average residual film in 0-30 cm soil layer from 2019 to 2021

表2 15个监测点各年份残膜量

Table 2 Amount of film residue in each year of the 15 monitoring points

监测点 Monitoring point	年份 Year	残膜量 Residual film quantity/(kg·hm^{-2})						
		平均值 Average	标准偏差 Standard deviation	样方一 Sample one	样方二 Sample two	样方三 Sample three	样方四 Sample four	样方五 Sample five
安庆市怀宁县	2019	7.72	2.43	4.68	9.29	9.76	4.83	10.03
	2020	12.24	6.71	9.33	13.57	24.54	8.56	5.18
	2021	6.36	1.17	7.58	5.30	6.71	4.70	7.52
安庆市宿松县	2019	4.56	2.84	1.16	5.21	5.10	2.09	9.26
	2020	3.46	1.17	1.84	3.67	3.76	5.33	2.69
	2021	10.12	4.84	9.53	8.05	19.43	5.40	8.20
滁州市来安县半塔镇	2019	26.06	9.56	24.34	19.89	15.51	27.07	43.49
	2020	5.07	2.14	2.01	7.71	3.18	6.54	5.93
	2021	13.71	3.27	19.55	11.02	10.24	14.21	13.52
滁州市来安县杨郢乡	2019	9.38	3.22	8.91	9.71	3.59	12.01	12.69
	2020	5.18	1.36	5.27	5.29	3.85	3.89	7.59
	2021	1.16	0.34	1.25	1.67	1.31	0.77	0.81
合肥市巢湖市炯炀镇	2019	11.21	10.83	5.49	30.42	15.77	1.54	2.82
	2020	9.83	2.31	11.10	9.66	10.36	5.59	12.43
	2021	9.28	4.83	9.28	18.58	6.76	6.43	5.35
合肥市巢湖市栏杆集镇	2019	3.46	3.71	10.53	1.20	0.83	0.90	3.82
	2020	12.89	3.47	19.17	12.49	13.23	8.97	10.58
	2021	4.26	0.69	5.56	4.27	3.71	3.68	4.08
淮南市寿县	2019	34.82	13.76	32.42	20.24	22.46	40.94	58.03
	2020	22.99	2.30	25.24	19.49	25.65	21.56	23.03
	2021	23.43	6.94	35.09	21.77	21.27	25.33	13.75
淮南市田家庵区	2019	16.13	6.78	14.41	10.08	28.90	16.35	10.91
	2020	6.19	1.57	4.80	6.27	6.10	9.06	4.71
	2021	16.50	2.05	16.47	15.88	20.39	15.27	14.49
六安市裕安区	2019	41.81	7.48	51.51	49.00	31.67	40.45	36.40
	2020	5.67	1.94	6.76	7.89	6.27	5.25	2.18
	2021	26.48	12.20	35.51	27.31	16.34	43.34	9.92
六安市舒城县	2019	23.24	4.36	16.56	20.27	28.95	24.47	25.97
	2020	4.04	1.42	1.69	4.51	4.57	5.97	3.46
	2021	10.18	1.92	10.21	13.71	8.35	8.56	10.08
六安市金安区	2019	4.53	2.18	7.45	6.52	1.48	3.31	3.88
	2020	11.28	4.42	19.38	8.50	9.38	6.82	12.32
	2021	1.73	0.54	0.81	1.85	1.56	2.00	2.44
铜陵市义安区	2019	2.66	0.13	2.59	2.84	2.48	2.60	2.78
	2020	19.02	4.78	17.07	20.30	19.90	26.26	11.57
	2021	2.40	0.73	3.31	2.49	1.09	2.79	2.32
马鞍山市和县	2019	12.08	2.28	13.69	12.77	11.43	14.52	8.01
	2020	10.31	6.48	6.42	21.71	5.46	13.34	4.61
	2021	4.55	2.02	3.84	5.05	1.43	4.74	7.68
宣城市旌德县	2019	2.67	0.84	3.19	1.07	2.62	3.38	3.10
	2020	1.48	0.60	1.19	0.79	1.30	2.56	1.57
	2021	2.03	0.30	2.04	2.15	2.49	1.57	1.90
宣城市宣州区	2019	17.03	1.95	20.56	17.65	15.79	15.91	15.21
	2020	3.14	2.50	1.42	2.81	1.56	8.04	1.84
	2021	3.59	0.37	3.21	4.05	3.23	4.03	3.42

1.16~26.48 kg·hm^{-2}，平均地膜残留量为9.05 kg·hm^{-2}，地膜残留量最多的是六安市裕安区，其次为淮南市寿县，残膜量最少的监测点为滁州市来安县杨郢乡。

安徽省地形地貌呈现多样性，长江和淮河自西向东横贯全境，将全省分为淮北、江淮、江南三大自然区。淮河以北地势辽阔；中部江淮之间，曲折起伏，岗冲相间；长江两岸和巢湖周围地势低平，属于著名的长江中下游平原。南部以山地、丘陵为主。全省大致可分为5个自然区域：淮北平原、江淮丘陵、皖西大别山区、沿江平原、皖南山区。不同区域内的地形地貌会对残膜量有一定影响。选取的15个监测点主要位于除淮北平原外的4个区域。江淮丘陵区覆盖8个监测点，包括滁州市来安县2个监测点，合肥市巢湖市2个监测点，淮南市寿县、田家庵区，六安市裕安区、金安区，其农田地膜残留量为3.62~25.76 kg·hm^{-2}，平均残膜量为14.57 kg·hm^{-2}。沿江平原区覆盖4个监测点，包括安庆市宿松县、铜陵市义安区、马鞍山市和县及宣城市宣州区，其残膜量为5.12~10.63 kg·hm^{-2}，平均残膜量为7.35 kg·hm^{-2}。六安市舒城县及安庆市怀宁县2个监测点位于皖西山地丘陵区，宣城市旌德县位于皖南山地丘陵区，因两区域实际监测点只有1~2个，监测点数量少，代表性不足，无法科学代表皖西、皖南山地丘陵区的实际地膜残留情况，故不具有参考意义。

2.2 安徽省典型农作物地膜残留特征

2019—2021年不同作物地膜覆盖面积及用量详见表3。基于所有农户的有效调查数据，不同作物每公顷地膜用量为0.267~0.467 kg，不同类型作物每公顷地膜用量差异不大。依据主要覆膜作物，15个监测点共有露地蔬菜、烟草、果树、保护地蔬菜、马铃薯、瓜类、花生及大豆8类，分别计算不同类型作物田间的地膜

表3 2019—2021年不同作物地膜覆盖面积及用量

Table 3 Mulch film coverage area and dosage of different crops from 2019 to 2021

品种 Variety	年份 Year	覆盖面积 Coverage area/hm^2	覆膜面积占比 Percentage of area covered/%	地膜用量 Mulch film dosage/kg	地膜用量占比 Proportion of mulch film consumption/%	户每公顷用量 Household usage per hectare/kg
露地蔬菜	2019	60.79	32.78	5 794.40	25.70	0.382
	2020	41.56	92.28	3 132.58	5.03	0.410
	2021	41.49	92.04	3 605.94	5.79	0.238
烟草	2019	54.80	29.55	5 530.00	24.53	0.450
	2021	99.56	98.18	8 765.80	5.87	0.458
果树	2019	39.33	21.21	8 800.00	39.03	0.526
	2020	6.23	89.33	504.00	5.39	0.421
	2021	11.87	91.88	976.10	5.48	0.395
保护地蔬菜	2019	13.56	7.31	992.50	4.40	0.309
	2020	102.36	94.72	9 941.38	6.48	0.478
	2021	146.81	90.79	14 716.10	6.68	0.546
马铃薯	2019	5.43	2.93	456.30	2.02	0.327
	2020	21.55	88.75	2 265.10	7.01	0.448
	2021	4.39	78.33	346.40	5.26	0.140
瓜类	2019	2.66	1.43	143.50	0.64	0.239
	2020	49.77	96.67	4 819.49	6.46	0.353
	2021	32.03	94.67	3 342.96	6.96	0.282
花生	2019	2.23	1.20	167.50	0.74	0.337
	2020	1.90	91.92	127.80	4.47	0.339
	2021	2.18	92.35	179.22	5.49	0.073
大豆	2019	0.08	0.04	8.50	0.04	0.417
	2020	6.22	97.86	489.00	5.24	0.367
	2021	2.78	100.00	339.30	8.14	0.137
玉米	2019	0.05	0.03	3.50	0.02	0.333
	2020	0.64	91.67	28.40	2.98	0.272
	2021	0.10	90.00	8.20	5.47	0.003

残留量,结果如表4所示。3 a不同作物平均残膜量规律为马铃薯>露地蔬菜>烟草>果树>保护地蔬菜>大豆>瓜类>花生,马铃薯地膜残留量最高,为22.54 kg·hm^{-2},花生地膜残留量最低,为5.36 kg·hm^{-2}。

2019年农作物地膜残留量最高的是马铃薯,为26.06 kg·hm^{-2},最低是保护地蔬菜,为4.53 kg·hm^{-2}。2020年地膜残留量最高的是马铃薯,为19.02 kg·hm^{-2},残留量最低的是花生,为1.48 kg·hm^{-2}。2021年地膜残留量最高的是露地蔬菜,为16.77 kg·hm^{-2},残膜量最低的是大豆,为2.03 kg·hm^{-2}。通过对比发现,2019、2020年马铃薯残膜量都较高,大豆的地膜残留量3 a间连续降低,2021年露地蔬菜和花生的地膜残留量相比于2019年有所降低,但明显高于2020年。2020年和2021年保护地蔬菜地膜残留量都较2019年高出较多。随着覆膜年限的增加,果树和保护地蔬菜两种覆膜作物的地膜残留量均呈增加趋势。

由表4可知,果树的地膜残留量从9.83 kg·hm^{-2}增加到10.38 kg·hm^{-2},年均地膜残留量增加0.275 kg·hm^{-2},地膜残留系数为0.34%;保护地蔬菜的地膜残留量从4.53 kg·hm^{-2}增加到9.19 kg·hm^{-2},年均地膜残留量增加1.55 kg·hm^{-2},增加速度是果树地块的5.65倍,地膜残留系数为1.59%。根据地膜残留系数计算,保护地蔬菜在沿用当前的覆膜生产模式下,此后连续覆膜8 a,地膜残留量将会超过国家制定的残膜限值标准(75.00 kg·hm^{-2})。

2.3 安徽省残膜污染的影响因素

2.3.1 覆膜年限

从不同作物残膜量来看,残膜量与覆膜年限有关,覆膜<10、10~19 a和20~30 a的平均残留量分别为6.78、14.17、32.35 kg·hm^{-2}(图3),连续覆膜10~19 a和20~30 a的残膜量分别是覆膜<10 a地块的2.09、4.77倍。方差分析表明覆膜<10 a、10~19 a和20~30 a土壤的残膜量存在显著差异,表明覆膜时间越长,土壤中残膜量越高。

2.3.2 作物类型

不同作物因地膜用量、覆膜比例、地膜使用周期等差异而对残膜量产生影响。

3 a间平均残膜量较高的作物有马铃薯、保护地蔬菜及烟草等。由表4可以看出,覆膜3 a不同作物的地膜残留系数有所差异,除果树和保护地蔬菜外,其余作物地膜残留系数均为负数,说明2021年较初始年份2019年地膜残留量有所减少。

2.3.3 地膜规格

如表5所示,2019年农户使用的地膜厚度介于0.004~0.030 mm之间,种植甘薯使用的地膜最薄。调查农户使用的地膜宽度在500~6 000 mm之间,其中种植果树的农户使用的地膜最宽。2020年使用的地膜厚度在0.004~0.020 mm之间,种植花生和瓜类使用的地膜最薄。调查农户使用的农用地膜宽度在600~3 500 mm之间,其中种植保护地蔬菜和瓜类的农户使用的地膜最宽。2021年农户使用的地膜厚度在0.005~0.030 mm之间,其中种植露地蔬菜和花生使用的地膜最薄,种植保护地蔬菜使用的地膜最厚。使用的农用地膜宽度在750~3 500 mm之间,其中种植马铃薯、番

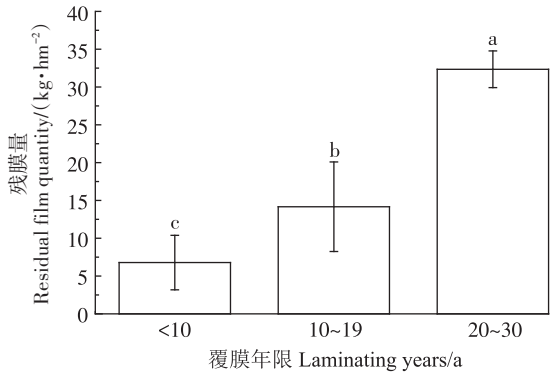


图3 不同覆膜年限下残膜量

Figure 3 Amount of residual film under different lamination years

表4 2019—2021年不同作物残膜量及残留系数

Table 4 Residual film amount and residue coefficient of different crops from 2019 to 2021

项目 Item	露地蔬菜 Open field vegetable	烟草 Tobacco	果树 Fruit tree	保护地蔬菜 Protected vegetable	马铃薯 Potato	瓜类 Melon	花生 Peanut	大豆 Soybean
2019年残膜量/(kg·hm^{-2})	18.29	17.03		4.53	26.06	7.72	9.38	11.21
2020年残膜量/(kg·hm^{-2})	10.08		9.83	9.92	19.02	5.47	1.48	8.48
2021年残膜量/(kg·hm^{-2})	16.77	3.59	10.38	9.19			5.22	2.03
年均地膜残留量/(kg·hm^{-2})	15.05	10.31	10.10	7.88	22.54	6.60	5.36	7.24
年均地膜用量/(kg·hm^{-2})	87.13	92.61	81.78	97.63	100.84	94.65	75.23	92.18
地膜残留系数/%	−0.58	−7.25	0.34	1.59	−3.49	−1.19	−1.84	−3.32

茄和玉米的农户使用的地膜最宽。不同厚度地膜的不规范使用也一定程度上加大了地膜回收的难度。

2.3.4 地膜处理和回收方式

如表6所示，2019年调查区域残膜按捡拾面积计算，17户农户未回收，平均回收率为91%，按地膜用量计算，残膜回收率为91%。2020、2021年残膜按捡拾面积计算，回收率可达100%，但从捡拾量看，平均回收率在92%左右。将数据进行对比可以发现，农户捡拾残膜只能解决地表残膜，而无法有效回收耕作层中的残膜。总体上，2019—2021年安徽省调查区域残膜回收率呈现增加趋势。

安徽省调查区域内地膜的回收方式以人工捡拾为主，机械化程度较低。429户农户中有411户采用人工捡拾地膜，占调查农户的95.80%，1户采用机械回收，占调查农户的0.23%，还有17户不回收地膜，直接翻耕到农田中，占调查农户的3.97%。回收方式主要采用人工捡拾而较少使用机械回收的主要原因是该地多处于丘陵地区，机械回收的地域适应性较差且

表5 2019—2021年不同作物地膜规格

Table 5 Specifications of mulch film of different crops in 2019—2021

年份 Year	作物 Crop	地膜厚度 Mulch film thickness/mm			地膜宽度 Mulch width/mm		
		平均厚度 Average thickness	最小厚度 Minimum thickness	最大厚度 Maximum thickness	平均宽度 Average width	最小宽度 Minimum width	最大宽度 Maximum width
2019	露地蔬菜	0.008	0.005	0.010	1 245	600	2 000
	烟草	0.010	0.006	0.010	1 191	1 100	1 200
	果树	0.022	0.006	0.030	2 667	1 000	6 000
	设施蔬菜	0.009	0.005	0.020	1 829	800	2 500
	草莓	0.012	0.008	0.030	1 150	700	1 300
	马铃薯	0.006	0.006	0.006	1 200	1 200	1 200
	瓜类	0.008	0.004	0.014	871	500	1 400
	花生	0.006	0.004	0.010	946	700	1 600
	甘薯	0.004	0.004	0.004	833	800	1 000
	大豆	0.008	0.008	0.008	1 500	1 000	2 000
	玉米	0.009	0.008	0.010	1 500	1 000	2 000
2020	露地蔬菜	0.010	0.004	0.020	1 481	1 000	2 000
	水稻	0.010	0.010	0.010	1 100	1 100	1 100
	马铃薯	0.011	0.007	0.017	1 625	1 000	2 000
	果树	0.011	0.008	0.020	1 080	800	1 300
	番茄	0.008	0.006	0.014	2 360	1 000	2 500
	保护地蔬菜	0.012	0.006	0.020	1 724	600	3 500
	玉米	0.011	0.004	0.020	2 000	2 000	2 000
	大豆	0.010	0.004	0.020	1 864	1 000	2 000
	花生	0.009	0.006	0.020	1 500	1 000	2 000
	瓜类	0.009	0.006	0.020	1 968	800	3 500
2021	马铃薯	0.014	0.010	0.017	2 000	1 000	3 000
	露地蔬菜	0.011	0.005	0.020	1 339	800	2 000
	烟草	0.010	0.010	0.010	1 200	1 200	1 200
	果树	0.011	0.010	0.017	1 156	1 000	2 000
	菊花	0.014	0.014	0.014	1 200	1 200	1 200
	水稻	0.010	0.010	0.010	1 100	1 100	1 100
	番茄	0.014	0.014	0.014	2 000	2 000	2 000
	保护地蔬菜	0.012	0.008	0.030	1 697	750	2 000
	玉米	0.010	0.010	0.010	2 000	2 000	2 000
	大豆	0.013	0.010	0.014	1 900	1 100	2 000
	花生	0.010	0.005	0.010	1 312	800	2 000
	瓜类	0.012	0.010	0.020	1 950	1 000	3 500

表6 安徽省调查地区残膜回收率

Table 6 Residual film recovery rate in Anhui Province

年份 Year	类型 Type	按面积计算 Residual film recovery rate by area/%	按用量计算 Residual film recovery rate by dosage/%
2019	最低回收率	0	0
	最高回收率	100	100
	平均回收率	91	91
2020	最低回收率	100	67
	最高回收率	100	100
	平均回收率	100	92
2021	最低回收率	100	80
	最高回收率	100	100
	平均回收率	100	93

回收成本较高。

回收后的地膜如何处理也是一个重要环节,地膜回收的去向调查结果表明(图4),地膜作为农村生活垃圾处理占主流,有218户,占调查农户的52.91%;95户农户地膜被收购,占调查农户的23.06%;33户农户就近焚烧,占比为8.01%;31户堆置于田头,占调查农户的7.52%;另外10户农户采取就近填埋的方式,25户采取多种方式处理地膜,分别占调查农户的2.43%、6.07%。

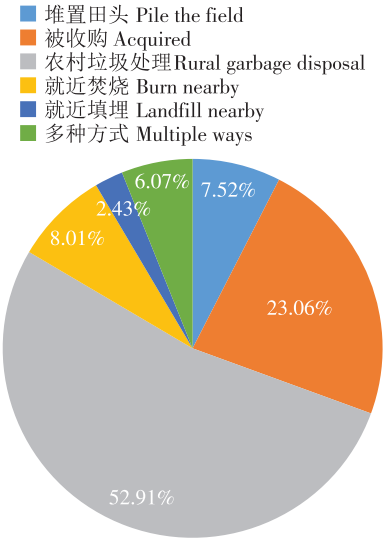


图4 安徽省15个监测点残膜回收去向

Figure 4 Recycling destination of residual film at 15 monitoring points in Anhui Province

3 讨论

3.1 安徽省典型区域作物残膜分布特征及发展趋势

2019—2021年3 a间安徽省地膜平均残留量为10.80 kg·hm^{-2},与《农田地膜残留量限值及测定》(GB/T 25413—2010)的标准(75.00 kg·hm^{-2})相比,未超出标准限值,属于清洁阈值范围,与南方平原残膜量相当,这可能是因为南方地形以山地丘陵为主,耕地面积小、人工+机械种植,连续覆膜年限短,残膜回收率在70%左右[42]。安徽省残膜量明显低于内蒙古、新疆、甘肃地区,这是因为内蒙古、新疆等地区气候寒冷、水资源短缺,地膜的使用可为农作物提供适宜的温湿度环境,同时减少水分的蒸发,提高水分的利用率,这使得地膜用量较大且覆盖面积广,导致区域残膜污染较为严重[43]。

安徽省15个残膜监测点中8个监测点位于江淮丘陵区,此地形区域内地膜残留量较高,这可能与气候、地形等因素有关。江淮丘陵区地处亚热带湿润季风气候向暖温带半湿润季风气候的过渡带,气候交汇频繁,降雨的季节分布、地区分布不均衡,与农作物的正常需水不协调。同时该地地形主要以低山丘陵和低岗为主,地形破碎,蓄水能力差,这也是该地区常发生季节性干旱的原因之一[44]。江淮丘陵区以种植粮食作物为主,地膜的广泛应用不仅可以抗旱节水、增温保墒,更能提高农作物品质和产量,促进农业的健康发展。但地势起伏不平使得机械回收残膜困难,且土壤质地黏重等也会加重地膜回收的难度。该地区地膜治理可以从加大水利基础设施的投入、调整种植结构、适时回收地膜等方面着手进行。

种植不同类型的农作物,地膜残留量会有所差异。众多学者通过对地膜残留污染区域典型作物的研究证明了这一结论[22-23,33,38,41-42]。本调查区马铃薯和蔬菜作物的残膜污染程度最高,这可能是因为安徽地区马铃薯和蔬菜是主要种植作物,地膜用量大、覆盖面积广,且使用周期较长,导致其地膜残留量较高。2019、2020年马铃薯残膜量都较高,这可能与马铃薯穴深、地膜使用周期和耐候期有关。魏娟等[45]的研究表明大田种植马铃薯时,适宜穴深为15~20 cm,较深的土层中残膜碎片不容易清理。同时马铃薯平均地膜使用周期在3.5个月以上,耐候性在半年以上,难以老化降解,土壤中残留地膜还未分解,种植马铃薯又引入新的地膜,加剧了耕层土壤中残膜量的累积。地膜防治应重点关注残膜量高的农作物,探究及应用地膜覆盖方式及减量化栽培措施,逐步减少地膜的使用量。

3.2 调查区域影响残膜污染的因素

综合多个地膜残留影响因素分析:地膜残留量与

覆膜年限、作物类型、地膜厚度等因素有关，但地膜回收情况、距离村庄远近、土壤质地、不同耕作管理模式等对地膜残留量变化也有较大影响。随着覆膜年限的增加，表层土壤中残膜量显著增加。包明哲等[46]发现河套地区覆膜年限>30 a和<10 a的残膜量存在极显著差异，随着覆膜年限的增加，地膜残留量增加。本实验结果与之相似，覆膜年限为20~30 a的残膜量显著高于<10 a和10~19 a的，这可能是因为覆膜时间越长，农田中残留地膜由于自然和人为因素破损，破碎度增大，不同面积的地膜碎片不利于地膜的回收。地膜厚度越薄，农田土壤中残膜量越大，王金玲等[47]发现地膜厚度为0.01~0.02 mm的残膜量显著低于0.004~0.008 mm和0.01 mm的地膜残留量，地膜厚度与残膜量呈负相关关系（$P>0.05$）。地膜回收方式、处理方式等会影响地膜的残留。农民或合作社的地膜回收主要以人工捡拾为主，95.80%的农户选择人工捡拾，这与蔡金洲等[42]的研究结果相似，南方平原区地膜回收方式主要以人工捡拾为主，少数以人工+机械方式回收。回收的地膜一半以上作为农村垃圾处理，近1/5的地膜被收购，近3/5的农户或合作社周边没有回收地膜网点。集中处理残膜会产生运输、处理等费用，大多数农户在没有补偿的情况下，为了便利和效益，一般不会采取集中处理的方式[48]。同时这也侧面反映出相关机制的不完善，因此应建立完整的收、贮、运一体化网络，从试点到面，建立地膜回收网点，逐步完善地膜回收机制。

大量研究表明，推广地膜的标准化生产及应用，加强各级政府的监督管理，同时落实污染者“处罚”制度，明确处罚标准，对于地膜污染的防治和治理有重大意义。但目前对于不同耕作管理模式、不同地膜使用周期下的残膜量变化国内外相关报道较少，还需对不同田间管理模式下地膜残留量变化特征进一步研究，这对因地制宜地进行地膜污染防治具有指导性作用，有利于加强农业面源污染防治。

3.3 地膜残留防治方案

目前安徽省种植作物区地膜污染情况较轻，但对于地膜污染防治的力度不能减弱，可从以下3方面来治理残膜污染：一是加强政策和经济支持，通过物质补贴、经济奖励等提高农户回收的边际成本；同时政府要规范地膜的生产标准，加强宣传培训，提高农户回收地膜的意愿[24]。二是积极研发和推广可降解地膜，开展地膜的替代品和新农业技术的研究。三是要因地制宜地制定本区域主要覆膜作物地膜回收和防治方案。

4 结论

（1）安徽省3 a地膜平均残留量为10.80 kg·hm^{-2}，未超出国家标准限值（75.00 kg·hm^{-2}），属于清洁阈值范围。地膜残留主要集中在六安市、淮南市及滁州市部分县区。从地形来看，安徽省内江淮丘陵区和沿江平原区残膜污染较为严重。

（2）研究区种植马铃薯、保护地蔬菜和露地蔬菜的农田普遍存在较为严重的残膜污染，保护地蔬菜地膜残留系数较高，为1.59%，如果继续沿用当前覆膜生产模式连续覆膜8 a，残膜量将会超过国家标准限值。

（3）安徽省农田存在残膜中污染风险，覆膜年限、回收方式和地膜规格是影响残膜量变化的关键因素，建议加强政策和经济支持，提高农户回收地膜的意识，加强地膜回收力度，因地制宜规范地膜使用。

参考文献：

[1] 王贵荣. 粮食生产再获丰收 畜牧业稳定发展[EB/OL]. (2023-01-18)[2023-04-11]. http://www.stats.gov.cn/xxgk/jd/sjjd2020/202301/t20230118_1892279.html. WANG G R. Grain production has regained a bumper harvest and animal husbandry has developed steadily [EB/OL]. (2023-01-18)[2023-04-11]. http://www.stats.gov.cn/xxgk/jd/sjjd2020/202301/t20230118_1892279.html.

[2] 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 R, WU W Y, WANG L S. Effect of caster growth with plastic mulching and soil moisture in Ningxia Yellow River irrigation area[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(20): 311-315.

[3] 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]. 中国农学报, 2013, 29(3): 69-75. BU Y S, LI W, ZHOU Q X, 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.

[4] 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(1): 37-38. ZHANG Z Q, YAO J M, YANG R P. Planting technique of mulching by water-permeability plastic film[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2005(1): 37-38.

[5] 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. MEN Q, LI Y, FENG G P. Experimental research on crop water requirement under water-saving irrigation[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2003, 22(2): 17-20.

[6] 邹小阳, 牛文全, 许健, 等. 残膜对土壤水分入渗的影响及入渗模型适用性分析[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(9): 1-7. ZOU X Y, NIU W Q, XU J, et al. Water deficit diagnose during mid-growth period of winter wheat based on leaf-air temperature difference[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2016, 35(9): 1-7.

[7] 邹小阳, 牛文全, 刘晶晶, 等. 残膜对土壤水分水平运动的阻滞作用[J]. 水土保持学报, 2016, 30(3):96-102. ZOU X Y, NIU W Q, LIU J J, et al. Ability of retarding water horizontal movement for residual plastic film mixed in soil[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2016, 30(3):96-102.

[8] 董合干. 地膜残留对棉花产量影响的极限研究[D]. 石河子:石河子大学, 2013:13-18. DONG H G. The limit effect of film residue on cotton yield[D]. Shihezi:Shihezi University, 2013:13-18.

[9] 于立红, 王鹏, 于立河, 等. 地膜中重金属对土壤-大豆系统污染的试验研究[J]. 水土保持通报, 2013, 33(3):86-90. YU L H, WANG P, YU L H, et al. Experiental sudy of pollution by heavy metals of plastic film in soil-soybean system[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2013, 33(3):86-90.

[10] ZHANG S L, HAN B, SUN Y Y, et al. Microplastics influence the adsorption and desorption characteristics of Cd in an agricultural soil[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2020, 388:121775.

[11] 耿智广, 宋亚丽, 林子君, 等. 地膜残留量对玉米和胡麻生长发育的影响[J]. 甘肃农业科技, 2019(1):48-51. GENG Z G, SONG Y L, LIN Z J, et al. Effect of plastic film residue on growth and development of corn and flax[J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2019(1):48-51.

[12] 黄少辉, 李俊良, 王继芳, 等. 残留地膜对马铃薯生长及产量的影响[J]. 中国马铃薯, 2019, 33(1):28-33. HUANG S H, LI J L, WANG J F, et al. Effects of residual plastic film in soil on growth and yield of potato[J]. *Chinese Potatoes*, 2019, 33(1):28-33.

[13] 李卓然, 马娟娟, 郑利剑, 等. 地膜残留对设施番茄生长及果实品质的影响[J]. 节水灌溉, 2022(4):65-70. LI Z R, MA J J, ZHENG L J, et al. Effects of plastic film residues on soil moisture and growth characteristics of protected tomatoes[J]. *Water Saving Irrigation*, 2022(4):65-70.

[14] SUN X D, YUAN X Z, JIA Y B, et al. Differentially charged nanoplastics demonstrate distinct accumulation in *Arabidopsis thaliana*[J]. *Nature Nanotechnology*, 2020, 15(9):755.

[15] LI L Z, LUO Y M, LI R J, et al. Effective uptake of submicrometre plastics by crop plants via a crack-entry mode[J]. *Nature Sustainability*, 2020, 3(11):929-937.

[16] FAN D, JONES D L, CHADWICK D R, et al. Environmental impacts of agricultural plastic film mulch:fate, consequences, and solutions [J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 836:155668.

[17] PETE H, RULANDE R, STEVE C, et al. Developing biodegradable mulch films from starch:based polymers[J]. *Starch-Stärke*, 2001, 53(8):362-367.

[18] WARNICK J P, CHASE C A, ROSSKOPF E N, et al. Weed suppression with hydramulch, a biodegr-adable liquid paper mulch in development[J]. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 2006, 21(4):216-223.

[19] 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, 2010-2020. Department of Rural Socio-Economic Survey, National Bureau of Statistics. China rural statistical yearbook[M]. Beijing:China Statistics Press, 2010-2020.

[20] ZHANG D, NG E L, HU W L, et al. Plastic pollution in croplands threatens long-term food security[J]. *Global Change Biology*, 2020, 26(6):3356-3367.

[21] 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 Y, CHEN X G, WEN H J, 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.

[22] 胡会军, 张秀芝, 李强, 等. 吉林省主要覆膜作物地膜残留情况调查[J]. 农业资源与环境学报, 2013, 30(6):50-52. HU H J, ZHANG X Z, LI Q, et al. Mulch plastic film residue investigation of the main crops in Jilin Province, China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2013, 30(6):50-52.

[23] 杜泽玉, 孙多鑫, 杨荣, 等. 张掖绿洲农田地膜残留量分布特征及影响因素[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(12):2789-2797. DU Z Y, SUN D X, YANG R, et al. Spatial distribution characteristics and influencing factors of plastic film residue in Zhangye Oasis[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(12):2789-2797.

[24] 周先国, 饶在生, 杨洋, 等. 四川宜宾烟区地膜残留量及影响因素研究[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(19):70-71. ZHOU X G, RAO Z S, YANG Y, et al. Analysis on membrane residue and influence factors of Yibin tobacco area in Sichuan[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2018, 46(19):70-71.

[25] 董爱琴, 刘晖, 俞莹, 等. 江西省农田地膜残留状况研究:基于典型地块样方调查数据[J]. 江西农业学报, 2022, 34(12):128-135. DONG A Q, LIU H, YU Y, et al. Study on residual condition of farmland plastic film in Jiangxi Province based on survey data of typical plots[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2022, 34(12):128-135.

[26] 张静, 雍会. 政府规制对农户地膜回收意愿的影响机制研究:基于感知价值的中介效应[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(11):90-98. ZHANG J, YONG H. Influence mechanism of government regulation on farmers′ willingness to recycle plastic film[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2022, 36(11):90-98.

[27] 郑兆峰, 朱润云, 路遥, 等. 农户地膜回收决策影响因素实证研究:基于云南省9个典型农业县的调查数据[J]. 生态与农村环境学报, 2020, 36(7):890-896. ZHENG Z F, ZHU R Y, LU Y, et al. An empirical study on the influence factors of farmers′ plasticfilm recycling choice:based on the survey data of 9 typical agricultural counties in Yunnan Province[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2020, 36(7):890-896.

[28] 那扎提古丽·堆森别克, 阿依吐尔逊·沙木西. 废旧地膜回收意愿及影响因素研究:以新源县为例[J]. 农业与技术, 2022, 42(22):91-94. BIEKE, SHAMUXI. Research on the willingness and influencing factors of waste mulch film recycling:a case study of Xinyuan County[J]. *Agriculture and Technology*, 2022, 42(22):91-94.

[29] 徐菊祯, 张梦璐, 徐忆楠, 等. 基于二元Logistic与ISM模型的农户地膜回收的影响因素分析:以新疆为例[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(12):57-65. XU J Z, ZHANG M L, XU Y N, et al. Influencing factors of farmers′ plastic film recycling behavior based on binary Logistic-ISM modeling:a case study in Xinjiang, China[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(12):57-65.

[30] CATERINA D L, PASQUALE P. Market-based tools for a plastic waste reduction policy in agriculture: a case study in the south of Italy [J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 250: 109468.

[31] RUIMIN Q, DAVEY L J, ZHEN L, et al. Behavior of microplastics and plastic film residues in the soil environment: a critical review[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 703: 134722.

[32] 张丹, 王洪媛, 胡万里, 等. 地膜厚度对作物产量与土壤环境的影响[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(2): 293-301. ZHANG D, WANG H Y, HU W L, et al. Effect of film thickness on crop yield and soil environment[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(2): 293-301.

[33] 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 Y, YANG H D. 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.

[34] ZHANG G S, HU X B, ZHANG X X, et al. Effects of plastic mulch and crop rotation on soil physical properties in rain-fed vegetable production in the mid-Yunnan plateau, China[J]. *Soil & Tillage Research*, 2015, 145: 111-117.

[35] 蒙永军, 杨虎德. 河西走廊覆膜方式和地块面积对地膜残留量的影响调查[J]. 甘肃农业科技, 2012(10): 6-9. MENG Y J, YANG H D. Investigation on effect of film-covering modes and land area on plastic film residue in Hexi Corridor[J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2012(10): 6-9.

[36] 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 W Q, YAN C R, ZHAO C X, et al. Study on the pollution by plastic mulch film and its counter-measures in China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(3): 533-538.

[37] 毕继业, 王秀芬, 朱道林. 地膜覆盖对农作物产量的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 172-175. BI J Y, WANG X F, ZHU D L. Effect of plastic-film mulch on crop yield[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(11): 172-175.

[38] 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 H, MEI X R, YAN C R, 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.

[39] XIE Z K, WANG Y J, LI F M. Effect of plastic mulching on soil water use and spring wheat yield in arid region of northwest China[J]. *Agricultural Water Management*, 2004, 75(1): 28-29.

[40] 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 P. Countermeasures and measures for the treatment of residual film pollution[J]. *Transactions of the CSAE*, 1998, 14(3): 190-193.

[41] 张福胜, 芦雪, 姚影, 等. 通辽地区农田地膜残留污染现状分析及防治对策[J]. 北方农业学报, 2020, 48(5): 125-129. ZHANG F S, LU X, YAO Y, et al. Present situation of the residue pollution of farmland mulch in Tongliao area and its control measures[J]. *Journal of Northern Agricultural*, 2020, 48(5): 125-129.

[42] 蔡金洲, 张富林, 范先鹏, 等. 南方平原地区地膜使用与残留现状调查分析[J]. 农业资源与环境学报, 2013, 30(5): 23-30. CAI J Z, ZHANG F L, FAN X P, et al. The status quo of film application and residue in the southern plains of China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2013, 30(5): 23-30.

[43] LI Y Q, ZHAO C X, YAN C R, et al. Effects of agricultural plastic film residues on transportation and distribution of water and nitrate in soil[J]. *Chemosphere*, 2020, 242: 125131.

[44] 于凤存, 蒋尚明, 金菊良, 等. 江淮丘陵区干旱成因与减灾措施分析[J]. 人民长江, 2016, 47(7): 1-5. YU F C, JIANG S M, JIN J L, et al. Analysis on causes of drought of Jianghuai hilly area and measures[J]. *Yangze River*, 2016, 47(7): 1-5.

[45] 魏娟, 王金霞. 旱作马铃薯-地膜玉米间作栽培技术要点[J]. 农家参谋, 2022(1): 73-75. WEI J, WANG J X. Dry farming potatoes - key points of mulch corn intercropping cultivation technology[J]. *Farm Staff Officer*, 2022(1): 73-75.

[46] 包明哲, 红梅, 赵巴音那木拉, 等. 内蒙古河套灌区农田地膜残留量分布特征及影响因素[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(1): 45-54. BAO M Z, HONG M, ZHAO B, et al. Distribution characteristics and influencing factors concerning residual quantity of agricultural mulch film in Hetao irrigation area, Inner Mongolia[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2023, 40(1): 45-54.

[47] 王金玲, 武岩, 刘宏金, 等. 内蒙古自治区农田地膜残留现状及特征研究[J]. 现代农业科技, 2022(12): 108-112. WANG J L, WU Y, LIU H J, et al. Study on residual status and characteristics of plastic film in farmland in Inner Mongolia Autonomous Region[J]. *Modern Agricultural Technology*, 2022(12): 108-112.

[48] 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 M S, LIU C J. On the recycle status of agricultural plastic films in China[J]. *Journal of Changsha University*, 2015, 29(2): 101-104.

(责任编辑: 李丹)