

衡阳市设施农业农膜残留污染防治研究

肖亚强

衡阳市农业农村局, 湖南 衡阳

收稿日期: 2025年3月11日; 录用日期: 2025年4月9日; 发布日期: 2025年4月16日

摘 要

设施农业作为现代农业的重要组成部分, 通过调控农业设施内环境, 极大地提升了农业生产效率和作物产量。然而, 农膜的大量使用也给当地生态环境带来了严峻挑战。本文以衡阳市为例, 分析了设施农业农膜的使用现状, 探讨了农膜残留带来的环境污染问题, 并提出了相应的污染防治措施, 为设施农业的可持续发展提供参考。

关键词

防治, 修复, 资源利用

Research on the Prevention and Control of Residual Pollution of Agricultural Films in Facility Agriculture in Hengyang City

Yaqiang Xiao

Hengyang Agricultural and Rural Bureau, Hengyang Hunan

Received: Mar. 11th, 2025; accepted: Apr. 9th, 2025; published: Apr. 16th, 2025

Abstract

As an important part of modern agriculture, facility agriculture has greatly improved agricultural production efficiency and crop yields by regulating the internal environment of agricultural facilities. However, the extensive use of agricultural films has also posed severe challenges to the local ecological environment. Taking Hengyang City as an example, this paper analyzes the current situation of the use of agricultural films in facility agriculture, explores the environmental pollution problems caused by the residual agricultural films, and proposes corresponding pollution prevention and control measures, providing a reference for the sustainable development of facility agriculture.

Keywords

Prevention and Control, Restoration, Resource Utilization

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

设施农业在现代农业中占据重要地位,其通过优化农业设施内的环境条件,显著提高了农业生产效率和作物产量。农膜作为设施农业的关键组成部分,发挥着保温、保湿、防止病虫害等作用。然而,随着农膜使用量的增加,其残留问题也日益凸显,对生态环境造成了严重威胁。衡阳市作为湖南省的重要农业产区,设施农业发展迅速,但农膜残留问题也日益突出[1]。本文通过对衡阳市设施农业农膜使用现状的分析,探讨了农膜残留带来的环境污染问题,并提出了相应的污染防治措施,以期为设施农业的可持续发展提供科学依据和实践指导。

2. 设施农业农膜使用现状

近年来,衡阳市设施农业发展迅速,农膜使用量持续攀升。2023年,全市设施农业农膜用量达1.35万吨,占农膜总用量的38%,覆盖塑料大棚、连栋温室等8.2万亩设施,主要用于茄果类蔬菜、花卉、草莓等高附加值作物生产。然而,设施农业农膜年均残留量高达8.5 kg/亩,远超大田农业的3.2 kg/亩,棚膜回收率仅68%,地膜回收率不足41%,残留污染问题突出。

目前,衡阳市设施农业中,普通PE棚膜是主导类型,占比达78%。其核心优势在于成本低廉(12~15元/kg),且短期保温性能稳定,能够满足农户对投入成本的敏感需求。尽管PE膜的使用寿命较短(0.5~1年),但其低投入使其成为大多数农户的首选。EVA多功能膜和PO膜则主要用于连栋温室,分别占比15%和5%。这两种农膜的透光率超过90%,抗老化性强,使用寿命可达2~3年。虽然单价较高(18~30元/kg),但它们能显著提升越冬作物的产量与品质。例如,草莓温室使用PO膜后,收益可增加25%。此外,生物降解膜在生态示范区试点,占比仅2% [2]。尽管其环保优势明显,但由于完全降解周期与作物生长季不匹配,且亩均成本超过120元(无补贴情况下),推广受到限制。

3. 农膜残留带来的环境污染问题

农膜残留对生态环境的影响是多维度的,涉及土壤、水体、景观、生物多样性以及农业经济等多个方面。

3.1. 土壤系统破坏

农膜残留对土壤系统的破坏是全方位的,涉及物理结构、化学性质和生物活性等多个方面。首先,残膜碎片(面积小于4 cm²的碎片占比达62%)阻隔了土壤孔隙,导致土壤容重增加12%~15%,透水率下降30%,直接削弱了土壤的蓄水保墒能力。在衡南县的设施蔬菜基地,监测数据显示,连续覆膜5年的地块,20 cm土层内残膜密度达到42片/m²,土壤孔隙度较未污染区减少了18%。这种物理结构的恶化不仅影响了土壤的透气性和水分保持能力,还对作物根系的生长发育造成了阻碍。

化学污染方面,PE膜降解释放的邻苯二甲酸酯(PAEs)类增塑剂进一步加剧了土壤污染。衡东县的土

壤样本中, DEHP (邻苯二甲酸二乙酯)浓度达到 3.8 mg/kg, 超出《土壤环境质量》标准的 1.9 倍[3]。此外, 残膜还吸附镉、铅等重金属, 形成复合污染。在祁东县的花生田, 残膜富集的镉含量达到 0.82 mg/kg, 较周边未污染土壤高出 2.3 倍。这种复合污染不仅影响了土壤的化学性质, 还通过食物链传递, 对人类健康构成潜在威胁。

生物活性方面, 残膜富集区的土壤微生物多样性显著降低。中南林业科技大学 2022 年的研究显示, 残膜富集区的细菌丰度下降了 35% [4], 固氮菌数量减少了 42%。同时, 蚯蚓等土壤动物的密度也急剧下降。在石鼓区的污染严重地块, 蚯蚓密度仅为 3.2 条/m², 而清洁区的蚯蚓密度可达 18.5 条/m²。这种生物活性的抑制不仅影响了土壤的生态功能, 还对整个生态系统的稳定性造成了负面影响[5]。

3.2. 水体污染扩散

农膜残留不仅局限于土壤, 还通过雨水冲刷进入地表水和地下水系统, 引发广泛的水体污染。湘江衡阳段及其主要支流(如蒸水、耒水、舂陵水等)的监测数据显示, 农膜碎片的平均密度达到 9.3 片/m³ [5], 其中小于 5 mm 的微塑料占比高达 68%。这种污染不仅降低了水体的透光率, 影响藻类的光合作用, 还堵塞了水利设施。例如, 衡山港区的藻类生物量因残膜污染下降了 27%, 而耒阳市灌区泵站每年清理的残膜杂物超过 15 吨。地下水也未能幸免于难。残膜阻碍了雨水的下渗, 导致硝酸盐等污染物的侧向迁移加剧。衡阳县的监测数据显示, 井水硝酸盐的超标率从 2018 年的 12% 上升到 2023 年的 23% [3]。这种地下水污染不仅影响了居民的饮用水安全, 还对整个生态系统的水循环造成了负面影响。

3.3. 视觉与景观污染

残膜污染不仅对生态环境造成了破坏, 还对视觉景观和旅游经济产生了负面影响。在衡阳市的农村地区, 随风飘散的残膜常常挂在树枝和电线上, 成为一种视觉污染。2021 年的数据显示, 衡阳市农村环境整治中 23% 的清理支出用于残膜收集。珠晖区的调查显示, 76% 的农户认为田间残膜严重影响了耕作体验和农田的美观。在南岳区的设施农业观光园, 残膜污染问题导致游客满意度评分下降了 14%, 年均经济损失预估达到 120 万元[3]。这种视觉污染不仅影响了游客的体验, 还对当地的旅游经济造成了直接的冲击。这种从农田到旅游经济的连锁影响, 进一步凸显了农膜污染治理的紧迫性。

3.4. 生物多样性影响

农膜残留对生物多样性的影响是多方面的, 涵盖了陆生和水生生态系统。在陆生生态系统中, 家畜误食残膜的事件频繁发生。衡山县 2022 年的数据显示, 牛羊因误食残膜死亡的案例达到 37 起, 直接经济损失超过 50 万元[3]。常宁市的观测还发现, 12% 的鸟巢中混入了残膜碎片, 导致雏鸟的存活率降低了 18%。在水生生态系统中, 蒸水河鱼类消化道中残膜的检出率达到了 21%, 导致幼鱼的死亡率升高 15% [3]。这种从陆生到水生生态系统的连锁危机, 不仅影响了生物多样性, 还对整个生态系统的稳定性和健康性构成了严重威胁[6]。

3.5. 农业经济损失

农膜残留对农业生产的负面影响是显而易见的。残膜阻碍了作物根系的发育, 导致花生、油菜等经济作物减产 8%~12%。衡阳市农科院 2023 年的试验数据显示, 设施蔬菜因土壤板结被迫增加化肥投入, 亩均施肥成本上升了 25% [6]。这种减产和成本上升的双重压力, 对农民的收入造成了直接的冲击。治理成本也在不断攀升。人工捡拾残膜的成本高达 1200 元/吨, 而再生 PE 颗粒的售价仅为 6500 元/吨, 价格倒挂率达到 45%。2023 年, 全市农膜污染治理的专项经费超过 3800 万元, 较 2018 年增长了 160%。这种高昂的治理成本, 不仅加重了政府的财政负担, 也对农业的可持续发展构成了严峻挑战。

4. 农膜残留污染防治措施

近年来，衡阳市通过构建“政策引领－科技赋能－全域治理”的三位一体防治体系，取得了显著的治理成效，探索出了一条具有南方丘陵特色的农膜污染治理路径。

4.1. 政策推广

构建制度保障与激励机制衡阳市通过政策引领，从源头管控、回收激励和法规约束三个方面，为农膜污染防治提供了坚实的制度保障。

1) 源头管控政策衡阳率先实施“地膜生产准入制度”，严控超薄膜流通。具体措施包括：一是白名单管理。发布《农膜生产销售企业名录》，禁止厚度小于 0.01 mm 的地膜进入市场。2023 年，衡阳市查处违规企业 12 家，罚没劣质膜 320 吨^[1]；二是责任延伸制度。要求生产企业按销量配套回收体系。例如，某农膜企业在石鼓区建立“1 吨新膜回收 0.8 吨旧膜”的闭环机制，确保农膜的全生命周期管理；三是生态补偿机制。对连栋温室实施“膜耗配额”，超额部分按 200 元/吨征收环境调节税。2023 年，衡阳市累计征收 460 万元用于污染修复，有效遏制了农膜的过度使用。

2) 回收激励政策衡阳市通过经济激励措施，提高农户回收农膜的积极性：一是阶梯式补贴：建立“以旧换新”分级补贴标准。例如，残膜洁净度达到一级(含杂<5%)的补贴 3.5 元/kg，二级(5%~15%)补贴 2.8 元/kg，三级(>15%)补贴 1.2 元/kg。2023 年，衡阳市带动农户交膜积极性提升 53%；二是绿色金融创新：推出“地膜置换贷”，农户凭回收证明可获年利率 3%的专项贷款。2023 年，衡阳市发放贷款 1.2 亿元，覆盖 2.6 万农户，有效缓解了农户的资金压力。

3) 法规约束体系衡阳市通过法规约束，明确各方责任，确保农膜污染防治的长效性：一是颁布《衡阳市农膜污染防治条例》，明确“谁使用、谁回收”的责任，对未履行回收义务的种植大户处以每亩 200 元罚款；二是将残膜回收率纳入县区绩效考核，2023 年对 3 个未达标县区实施约谈问责，确保政策落地生根。

4.2. 治理体系

建立全链条回收与修复网络衡阳市通过构建全链条回收与修复网络，从机械化回收、资源化利用、污染土壤修复和跨区域联防联控四个方面，形成了系统化的治理模式。

1) 机械化回收网络建设针对传统人工捡拾效率低的问题，衡阳市构建了“三级回收＋智能分拣”体系：一是设施农业区：推广履带式残膜联合回收机，作业效率达 20 亩/日，拾净率 85%。衡南县建成 42 个机械化回收点，有效提高了回收效率；二是大田作物区：应用北斗导航残膜捡拾车，通过光谱识别技术精准定位残膜，使丘陵地带回收成本降低 40%；三是分拣中心：市级分拣基地引进德国静电分选线，实现残膜与杂质分离精度达 92%，年处理能力 5 万吨，为资源化利用提供了高质量的原料^[2]。

2) 资源化利用技术创新通过多种技术手段，实现了农膜的资源化利用：一是物理再生：采用干法清洗－熔融造粒工艺，将 PE 膜转化为再生塑料颗粒，纯度 > 90%，用于市政管道生产。2023 年，衡阳市消纳残膜 1.8 万吨；二是化学转化：在常宁市建成热解油化示范厂，通过催化裂解将 1 吨残膜转化为 650 kg 燃料油，热值达 42 MJ/kg，为资源化利用开辟了新路径；三是生物降解：联合中科院研发复合菌剂，使 PE 膜在 90 天内生物降解率突破 60%，已在珠晖区试验推广，为农膜的生态化处理提供了新思路。

3) 污染土壤修复工程衡阳市通过多种修复技术，改善了污染土壤的生态环境：一是物理修复：在重度污染区(残膜 > 5 kg/亩)应用激光诱导击穿光谱(LIBS)定位技术，配合土壤筛分设备，使耕作层残膜密度下降 73%。二是生物修复：投放耐污染蚯蚓品种(如赤子爱胜蚓)，通过生物扰动改善土壤结构。衡东县试验显示，土壤孔隙度提升 15%。三是植物修复：种植超积累植物(如芥菜、蜈蚣草)，同步吸附残膜降解

产物与重金属。祁东县复合污染区修复成本降低 35%，为土壤修复提供了经济高效的解决方案。

4) 跨区域联防联控衡阳市牵头建立“湘南农膜污染防治联盟”，与株洲、永州等市共享监测数据，统一残膜转运标准。在湘江流域布设 28 个残膜拦截点，采用浮筒式格栅 + 生物膜过滤技术，年拦截残膜碎片超 800 吨，有效减少了水体污染[5]。

4.3. 农技革新

推广绿色替代与生态模式通过农技革新，从加厚高强度地膜应用、全生物降解膜示范、生态种植模式创新和智能监测与精准施膜四个方面，推动了农业生产的绿色转型。

1) 加厚高强度地膜应用衡阳市推广 0.015 mm 加厚膜，抗拉强度 ≥ 2.8 kN/m，使用寿命延长至 18 个月。2023 年，覆盖面积达 45 万亩。同时，配套“一膜多用”技术，如衡南县“辣椒 - 油菜”轮作模式，使亩均用膜量减少 30%，有效降低了农膜的使用强度。

2) 全生物降解膜示范衡阳市开发双季稻专用降解膜(PBAT/PLA 基)，在珠晖区实现 60 天功能期 + 120 天完全降解，亩产提升 8%。同时，建立“政府补贴 60% + 企业让利 20% + 农户承担 20%”的成本共担机制，终端价格从 28 元/kg 降至 11.2 元/kg，为生物降解膜的广泛应用提供了经济基础。

3) 生态种植模式创新衡阳市推广多种生态种植模式：一是稻膜轮作：在水旱轮作区实施“早稻覆膜 - 晚稻裸栽”，利用稻田淹水加速残膜破碎，使回收率提升至 78%。二是间作控膜：推广“玉米/大豆带状种植”，利用高秆作物遮荫减少地膜需求。南岳区示范田用膜量下降 40%，为生态种植提供了新思路。

4) 智能监测与精准施膜衡阳市部署物联网监测系统，实时采集土壤温湿度数据，动态调整覆膜面积。例如，当湿度 $> 70\%$ 时自动停止覆膜。同时，应用无人机光谱扫描技术，精准识别残膜富集区，指导差异化治理，为精细化管理提供了技术支持。

5. 结语

农膜残留污染治理是衡阳市实现农业绿色转型的关键战役，也是践行“绿水青山就是金山银山”理念的生动实践。研究表明，通过构建“政策约束 - 技术革新 - 社会共治”的协同治理体系，农膜污染防治已取得显著成效：全市农膜回收率突破 67%，土壤残膜密度下降 58%，湘江水体微塑料污染减少 39%，石鼓区“三级回收网络”与珠晖区“生物降解膜推广”等模式更成为全省典范。这些成果印证了科技创新与制度创新双轮驱动的有效性，揭示了农业生产与生态保护协同发展的可行路径。然而，农膜污染治理仍面临深层挑战：生物降解膜成本居高不下、残膜资源化利用附加值低、农户行为惯性难以破除等问题，亟需通过市场化机制创新破局。未来应进一步探索“碳汇交易 + 残膜治理”的价值转化模式，推动区块链技术在农膜全生命周期监管中的应用，并构建覆盖生产、使用、回收各环节的责任共担体系。唯有以系统思维统筹生态效益与经济效益，以技术创新降低治理成本，以制度设计重塑行为逻辑，方能实现农田洁净化、生产低碳化、乡村宜居化的长远目标。衡阳的实践表明，农膜污染治理不仅是环境保卫战，更是一场推动农业生产方式深刻变革的绿色革命，其经验将为长江经济带农业面源污染治理提供重要参考。

参考文献

- [1] 衡阳市农业农村局. 衡阳市农膜污染防治三年行动计划(2021-2023) [R]. 衡阳: 衡阳市人民政府, 2021.
- [2] 中国农用塑料应用技术学会. 农用薄膜行业绿色发展白皮书(2022) [R]. 北京: 中国农业出版社, 2022.
- [3] 衡阳市生态环境监测中心. 衡阳市土壤污染状况调查报告(2023) [R]. 衡阳: 衡阳市环保局, 2023.

-
- [4] 张伟, 李红梅, 陈立华. 农膜残留对土壤微生物群落结构的影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(3): 567-574.
 - [5] 中国科学院亚热带农业生态研究所. 湘江流域微塑料污染迁移规律研究报告[R]. 长沙: 中科院亚热带所, 2023.
 - [6] 湖南省农业科学院课题组. 设施农业农膜应用效益与残留风险评估[J]. 中国生态农业学报, 2021, 29(8): 1321-1330.