

# 农田微塑料污染现状及分析评价方法研究

吴兴祥<sup>1\*</sup>, 王帅兵<sup>1#</sup>, 张新沙<sup>1</sup>, 史应仙<sup>2</sup>, 陈波<sup>1</sup>, 高婷<sup>1</sup>, 杜近松<sup>3</sup>, 鲁黎<sup>3</sup>

<sup>1</sup>玉溪师范学院化学生物与环境学院, 云南 玉溪

<sup>2</sup>玉溪市江川区农业机械和农田建设管理站, 云南 玉溪

<sup>3</sup>玉溪市农业环境保护和农村能源工作站, 云南 玉溪

收稿日期: 2024年3月4日; 录用日期: 2024年4月3日; 发布日期: 2024年4月11日

## 摘要

随着生产技术的不断进步, 塑料这一高分子合成材料在经济性、效率性和可替代性方面展现出明显的优势, 使用量也逐年增加。然而, 由于处理不当, 大部分废弃塑料未能得到有效回收, 而是大量积聚在水域和陆地环境中。这些塑料在自然环境中经过物理和化学作用, 逐渐破碎成微小的塑料颗粒, 即微塑料。微塑料污染已经成为环境问题的重要代表。本文将重点探讨农田中微塑料污染现状及现有的分析评价方法, 并提出相应的防控策略, 为解决这一问题提供参考。

## 关键词

微塑料, 分析评价, 环境保护

# Research on the Current Situation and Analysis and Evaluation Methods of Microplastic Pollution in Farmland

Xingxiang Wu<sup>1\*</sup>, Shuaibing Wang<sup>1#</sup>, Xinsha Zhang<sup>1</sup>, Yingxian Shi<sup>2</sup>, Bo Chen<sup>1</sup>, Ting Gao<sup>1</sup>, Jinsong Du<sup>3</sup>, Li Lu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of Chemistry, Biology and Environment, Yuxi Normal University, Yuxi Yunnan

<sup>2</sup>Yuxi City Jiangchuan District Agricultural Machinery and Farmland Construction Management Station, Yuxi Yunnan

<sup>3</sup>Yuxi City Agricultural Environmental Protection and Rural Energy Workstation, Yuxi Yunnan

Received: Mar. 4<sup>th</sup>, 2024; accepted: Apr. 3<sup>rd</sup>, 2024; published: Apr. 11<sup>th</sup>, 2024

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 吴兴祥, 王帅兵, 张新沙, 史应仙, 陈波, 高婷, 杜近松, 鲁黎. 农田微塑料污染现状及分析评价方法研究[J]. 农业科学, 2024, 14(4): 416-423. DOI: 10.12677/hjas.2024.144053

## Abstract

With the continuous progress of production technology, plastics, as a polymer synthetic material, have shown obvious advantages in economy, efficiency, and substitutability, and their usage has also increased year by year. However, due to improper handling, most of the discarded plastic has not been effectively recycled, and instead accumulates in large quantities in water and land environments. These plastics undergo physical and chemical reactions in the natural environment, gradually breaking into tiny plastic particles, known as microplastics. Microplastic pollution has become an important representative of environmental problems. This article will focus on exploring the current situation of microplastic pollution in farmland and existing analysis and evaluation methods, and propose corresponding prevention and control strategies to provide reference for solving this problem.

## Keywords

Microplastics, Analysis and Evaluation, Environmental Protection

Copyright © 2024 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

### 1.1. 微塑料污染对农田环境的影响

由于微塑料的大量存在,土壤正面临着严重的污染问题。这些微小的塑料颗粒通过各种途径进入土壤生态系统。目前土壤已经成为全球最大的微塑料汇之一。据估计,土壤中容纳的微塑料数量可能是海洋中的1~4倍[1]。据估计,到2050年全球将会生产330亿吨塑料[2]。

由此可见,微塑料污染已然成为当前农田环境面临的一个严重问题,一定程度上阻碍了我国农业经济可持续发展。微塑料污染对农田环境的影响主要体现在以下几个方面:

**破坏土壤结构:**微塑料可引起土壤结构完整性的破坏,造成土壤团聚体结构、粒度结构、孔隙率等变化。土壤紧密度增加,土壤的渗透性随之降低,土壤中水分的存储受限,最终影响了作物对水分和养分的吸收利用。

**影响农作物生长:**微塑料的存在在不同程度上抑制了农作物的生长发育,可能导致农作物减产,使耕地劣化。

**污染土壤:**微塑料降解后可能会污染土壤,影响生物多样性和土壤健康。这些微塑料可能来源于肥皂、洗发水、化妆品等日用产品,也可能通过废弃的香烟滤嘴、轮胎部件、合成衣物纤维等进入供水系统,进而进入土壤,农业生产中常用地膜降解周期长,处置不当,极易形成土壤污染。

**影响人类健康:**微塑料还可能通过食物链转移到人体内,通过富集效应影响人类健康。

### 1.2. 农田微塑料污染的来源及分布特征

农田微塑料污染的来源主要包括农业操作中的塑料制品使用、垃圾填埋,以及周边城市和工业生产的影响。在农业生产过程中,塑料薄膜、农膜和塑料温室等广泛应用的塑料制品会产生微塑料颗粒并留在土壤中。同时,废弃的塑料制品往往被填埋,导致填埋场周边的土壤和地下水受到微塑料的污染。此

外, 城市和工业排放的微塑料也会随风和水的流动进入农田环境, 加剧了农田的微塑料污染。这种污染的形成主要源于微塑料颗粒在农田环境中的累积, 以及它们对土壤和作物生长的负面影响。

全球范围广泛的研究已经证明在七大洲的土壤中均检出微塑料, 国外土壤中微塑料检出平均丰度从 0~15,880 items/kg (items/kg 表示每千克干土中 微塑料检出数量)不等。其中, 巴伊亚州, 巴西红树林地中检出微塑料丰度最高, 达 15,880 items/kg [3]。而在国内各地已有数据显示, 我国各地农用地微塑料检出量最高的是辽宁沈阳的粮田用地, 达 14,146 items/kg [4]。

刘丽娟等[5]使用 Meta 分析方法研究, 根据作物种植类型的不同将农用地划分为菜地、园地、粮田、林地和草地 5 类前提下, 得出不同农用地利用方式与微塑料丰度的一般关系模式为: 菜地 > 果园 > 粮田 > 草地。

## 2. 农田微塑料监测与分析

### 2.1. 土壤微塑料污染国内外研究现状

相较于海洋生态环境, 土壤环境中微塑料的研究起步较晚, 但近几年来土壤中微塑料污染受到全球广泛关注, 相关领域的研究逐渐活跃, 中国学者的贡献逐步提升。根据 Web of Science 数据库检索关键词“Microplastic”和“Soil”, 2017年1月至2022年6月国内外学者共发表科研成果618篇, 其中2020年以后的科研成果513篇, 占近5年来成果总数的83%; 其中中国学者发表的相关论文达267篇, 占全球论文总数的43% [6]。微塑料是一种固态有机聚合物, 会在土壤中与其颗粒发生团聚, 且不溶于常规酸、碱和有机溶剂, 使用常规的化学分析方法无法被检测到。同时, 受土壤质地、有机质和团聚体结构等因素的制约, 其去除难度远大于水、沙等环境介质。土壤微塑料污染是近年来备受关注的环境问题, 国内外有许多研究对其进行了深入探讨。一些研究表明, 微塑料颗粒在土壤中的积累会对土壤生物多样性和生态系统功能产生负面影响, 甚至可能对人类健康造成潜在风险。国内外研究现状包括对土壤中微塑料颗粒的来源、分布、迁移转化、生物有效性等方面展开了研究。研究者们通过野外调查、实验室模拟等方法, 不断深入探讨土壤微塑料污染的机制和影响, 为减少和防治土壤微塑料污染提供了重要参考[6]。

现有研究表明, 国内外均呈现工业园区土壤中微塑料污染水平显著高于农用地土壤的分布特征。在国外, 澳大利亚悉尼工业园区的污染水平较高, 在塑料制品生产工业区土壤中检出微塑料的丰度最高达 67,500 mg·kg<sup>-1</sup> [7], 与农用地土壤中微塑料的污染水平呈现数量级的差异。我国的工业园区周边土壤的微塑料污染同样不容忽视, 广东贵屿某电子垃圾拆解工业区土壤中微塑料含量达(9450 ± 9520)个 mg·kg<sup>-1</sup> [8], 北京市区塑料防尘网覆盖地区土壤中微塑料丰度最高可达 13,752 个 mg·kg<sup>-1</sup> [9]在我国调查的农田区域中, 云南省[10]和武汉市[8]农田土壤中微塑料丰度显著高于西藏、青海等内陆干旱地区, 这可能农业、旅游业发达带来的人为活动和污泥还田、污水灌溉等农业生产特点有关。研究发现污泥回用是土壤中微塑料的主要来源之一, 长期施用污泥农田的点位微塑料丰度为未施用污泥农田微塑料含量的 2 倍以上, 施用次数越多土壤污染状况越严重。

### 国内外土壤微塑料污染分析评价方法总体进展

由于微塑料污染问题日益受到关注, 其在土壤中的污染已成为学术界的研究热点, 并取得了一定的研究进展[6]。研究不仅涉及微塑料的来源、分布和迁移降解特点, 还包括其对土壤生态系统稳定性的影响在分析评价方法上, 虽然已有傅立叶红外光谱法(FT-IR)、拉曼光谱法及 Pyr-GCMS 热解分析法等定量检测方法, 但是, 由于土壤组成的复杂性和方法自身的发展水平, 这两种方法的使用都受到了制约。因此, 在评估和控制微塑料污染方面, 采用分析技术、联合或联用技术是至关重要的。土壤中微塑料的分离方法主要包括筛分法、密度分离法、泡沫浮选法等[9]。这些方法的发展有助于提高从土壤样本中提取

微塑料的效率和准确性。目前国内外关于微塑料污染的研究主要集中在其理化特征方面，也在探讨其可能导致土壤物理性能变化等方面。此外，统一的定量分析标准方法也被提出并建立，准确的可追溯分析技术不断发展，对土壤中微塑料污染的科学研究也在加强。

## 2.2. 农田微塑料污染的监测方法与技术

农田微塑料污染的监测方法及技术是有效治理微塑料污染的前提。首先，常用的监测方法包括野外调查和实地取样，结合实验室分析。野外调查主要通过实地考察和采样，获取农田土壤、农作物等样品，利用现场分析仪器对农田微塑料污染进行初步检测。其次，实验室分析则通过采集的样品进行精细化定量分析，运用显微镜、红外光谱等设备对微塑料颗粒的种类、数量和分布进行精确测定。此外，还可利用先进的光谱仪器对微塑料颗粒进行光谱检测，实现对微塑料的高效捕捉和快速分析。这些监测方法的结合运用可全面了解农田微塑料污染的分布情况和污染程度，为后续治理与评价提供科学依据。

当前，国际上主要采用红外光谱、光学显微镜、流式细胞仪等技术对农田微塑料进行监测。其中，红外光谱技术通过对微塑料颗粒进行红外光谱分析，可以准确鉴别不同类型的塑料颗粒，为污染源的溯源提供技术支持。光学显微技术则通过显微镜观察和图像处理，对土壤和农作物样品中的微塑料颗粒进行形态和数量的分析，实现对微塑料污染的可视化监测。而流式细胞技术则可实现对微塑料颗粒的自动化检测和快速计数，提高了监测效率和精准度。这些监测技术的不断创新和应用，为农田微塑料污染的监测提供了更加科学、高效的技术手段。

### 微塑料污染的监测方法

农田土壤中微塑料以碎片和薄膜状的聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)为主，其中聚丙烯(PP)以纤维状、薄膜状、碎片状和微珠状存在土壤中，聚乙烯(PE)主要以纤维状和膜状存在，而碎片状的微塑料成分较为复杂，其主要成分还有聚甲基丙烯酸酯(PMMA)、聚氯乙烯(PVC)、聚丙烯腈(PAN)和聚苯乙烯(PS) [8]。纤维状微塑料由于来源众多，在土壤中的积累量仅次于薄膜和碎片状微塑料，在农田土壤中也有着较深的影响。目前的分析技术主要有直接分析法和间接分析法。直接分析法是通过聚合物热降解产物的特定片段信息，利用气相色谱实现产物分离，随后采用气相质谱仪对微塑料的种类进行分析，得出微塑料质量分数。该类热解技术现已广泛应用于各种聚合物，例如聚丙烯(PP)、聚乙烯(PE)、聚苯乙烯(PS)等的检测。对于这些聚合物，至少匹配一种特征降解产物用于在土壤基质中进行鉴定。

**Table 1.** Analysis methods of micro plastics

**表 1.** 微塑料主要分析技术

分析方法	分析技术	检测原理	适用范围	可检测指标	存在优缺点
直接分析法	热分析法	利用热裂解技术等使微塑料分解后，然后利用质谱检测	适合单一组分的塑料检测，前处理简单，灵敏度高	可检测微塑料种类、质量浓度指标	难以分辨质量和降解温度数据相似的复合物，尤其是成分复杂、纯度不高的回收塑料
	显微镜观察法	光学放大，人工挑拣	可用于 100 μm 以上微塑料检测	可检测微塑料形状、微观型貌指标	简单方便，但耗人力，且在微塑料材质鉴别上准确度较低
间接分析法	傅里叶红外光谱法 (FTIR)	利用不同塑料材料的特征红外干涉光谱进行样品识别。光谱范围 400~4000 cm <sup>-1</sup>	可用于 20 μm 以上的微塑料检测。傅里叶红外光谱仪是市场占比最多的设备	可检测微塑料种类、丰度指标	需要用显微镜人工挑选，再红外光谱逐一定性，检测周期长



续表

间接分析法	拉曼光谱法 (Raman)	利用不同塑料材质的特征拉曼散射光谱进行样品识别。光谱范围 50~3000 $\text{cm}^{-1}$	可用于 2 $\mu\text{m}$ 以上的微塑料。不受测量颗粒形状、大小或厚度等干扰	可检测微塑料形态信息、化学成分、丰度指标	会受到具有荧光效应的有机物干扰。运行时间较长, 不适用于批量检测
	激光红外光谱法 (LDIR)	利用不同塑料材质的特征红外激光光谱进行样品识别。光谱范围 900~1800 $\text{cm}^{-1}$	20~500 $\mu\text{m}$ 的微塑料检测, 可以连续扫描。检测效率非常高, 适用于批量样品测试	可检测微塑料形态信息、化学成分、丰度	光谱范围相对较窄, 仪器价格相对较高
	液相色谱(串联三重四级质谱)法 (HPLC/LC-MS/MS)	选择性解聚或制备样品以供分离和定量	适合单一组分的微塑料解聚物的检测, 前处理简单, 灵敏度高	可检测微塑料质量含量、化学成分	仅限于特定的聚合物, 对土壤实际样品的适用性尚需验证。

采用间接分析法进行土壤微塑料检测时, 首先需要对土壤样品进行预处理, 以排除外部物质的干扰。然后, 通过分离、消解和鉴定等流程, 依次进行微塑料的提取、纯化和分析鉴定。分离阶段包括密度分离、静电分离、气浮提取和油提取等方法, 以分离微塑料并消除土壤颗粒的干扰。随后, 通过酸碱酶等方法对微塑料进行消解, 以便纯化样品以备后续鉴定工作。最后, 利用光谱分析和显微分析等方法对微塑料进行鉴定, 以获取其大小、类别等信息。为了获得更完整的微塑料样本信息, 一般将这两种方法联合使用[9]。该类方法主要包括显微镜观察法、拉曼光谱法(Raman)、激光红外光谱法(LDIR)、液相色谱(串联三重四级质谱)法(HPLC/LC-MS/MS)傅里叶红外光谱法(FTIR)。各类技术优缺点及可检测指标、适应范围详见表 1。

## 2.3. 农田微塑料污染评价的关键指标与方法

### 2.3.1. 评价指标与方法

Table 2. Main evaluation methods for microplastics

表 2. 微塑料主要评价方法

评价方法	原理	适用条件	效果评价指标
野外调查和监测	通过对自然环境中的微塑料进行直接观察、取样和分析, 来了解其污染状况、空间分布和动态变化。	适用于对自然环境中微塑料污染状况进行初步了解; 监测微塑料污染的空间分布和动态变化。	微塑料的种类和数量、污染分布、微塑料污染的动态变化趋势。
实验室分析	通过物理、化学和生物手段对野外调查和监测中收集的微塑料样品进行深入的研究和分析。	适用于对微塑料的物理、化学和生物特性进行深入研究及验证野外调查和监测结果的准确性。	微塑料的形态和结构、化学成分、毒性和生物效应。
数学模型模拟	通过建立数学模型来模拟微塑料在环境中的行为、分布和影响, 以预测其未来的发展趋势和潜在风险。常用的数学模型包括质量平衡模型、扩散模型、生态风险评估模型等。	适用于预测微塑料污染的发展趋势和潜在风险; 优化微塑料污染防控措施。	预测准确性、敏感性分析、决策支持效果等。

农田微塑料污染评价是对农田环境微塑料污染程度和影响的科学评估，其目的是为科学决策和有效管理提供依据。在进行评价时，需要考虑一系列关键指标。首先，农田土壤中的微塑料颗粒数量是评价的重要指标之一。通过对土壤中微塑料含量的定量研究，能够更好地掌握其在农田土壤中的污染水平，从而为评价其生态功能和生态功能提供科学依据。其次，农作物中微塑料的富集程度也是评价的重要指标之一。通过对农作物样品进行微塑料颗粒的提取和分析，可以了解微塑料在农作物中的富集情况，判断微塑料对农作物的影响程度。此外，还需考虑土壤微生物数量和多样性、土壤理化性质、农田周边环境等因素，综合评估农田微塑料污染的整体影响。

在评价方法方面，目前常用的方法包括野外调查和监测、实验室分析和数学模型模拟等。野外调查和监测是评价的起始步骤，通过实地考察和采样，获取农田土壤、农作物等样品，进行初步评估。实验室分析则是对采集的样品进行精细化定量分析，运用显微镜、红外光谱等设备进行微塑料颗粒的鉴定和数量分析。数学模型模拟则是利用数学和计算机模拟手段，对农田微塑料污染的扩散和影响进行模拟和评估。这些评价方法的综合运用，可实现对农田微塑料污染的全面评估，为后续的治理和管理提供科学依据。评价方法原理、适用条件及评价效果指标详见表 2。

### 2.3.2. 农田微塑料污染评价方法的应用与局限性分析

微塑料是一类新型环境污染物，颗粒粒径小于 5 毫米。由于其密度轻、粒径小、迁移性强等特点，极易影响水生生物，造成环境灾害。微塑料的污染评价方法主要包括采样分析、环境监测、生物毒性评价等方面。常见的评价方法包括颗粒计数、化学分析、生物富集等。通过对不同环境介质中微塑料的分布和浓度进行测定，可以评估微塑料的污染状况。例如，可以采集水样、土壤样品、空气样品等，通过测定其中的微塑料数量、粒径、形态等指标，评估微塑料的污染程度和潜在生态风险。

农田微塑料污染评价方法的应用是为了全面了解微塑料污染的分布和影响，为环境保护和农田可持续发展提供技术支持。通过评价方法的应用，可以有针对性地采取措施，加强对微塑料污染的治理和预防。此外，评价方法的应用还可以为相关研究提供数据支持，促进农田微塑料污染领域的研究与交流。

然而，在应用过程中也存在一些局限性。首先，评价方法的技术和成本限制着评价的深度和广度。一些先进的评价技术需要昂贵的设备和专业的技术支持，限制了其在农田环境中的实际应用。其次，评价方法的标准化和规范化程度有待提高。不同的评价方法和标准存在差异，缺乏统一的评价指标和标准，使得评价结果的比较和分析存在一定困难。最后，评价方法的局限性还表现在对微塑料对农田生态系统的长期影响和累积效应的评估上。目前对这方面的研究仍相对薄弱，需要进一步加强。

## 3. 农田微塑料污染治理与预防对策

### 3.1. 农田微塑料污染治理方法

目前，我国农田中的微塑料污染治理技术主要有物理去除、化学去除、生物降解和其它新型技术[11]。本文主要对生物降解法进行阐述和分析。

尽管农田土壤中微塑料存在周期较长，但仍能被真菌酶动物、某些细菌降解，并且由于生物降解过程对环境的益处较大，其应用前景也很好。该过程主要包括表面降解、解聚、同化和矿化 4 个阶段[11]。功能微生物在微塑料表面富集并发生降解，从而影响其理化特性，随后，通过分泌一些类似于酶类的物质，将其分解为寡聚体或单体，进而通过同化、矿化，将其转变为二氧化碳、水等无毒产品[12]。近有研究表明，某些昆虫可以取食可降解的微塑料，如黄粉虫、黑粉虫、大蜡弹尾蚋、印度稻曲病菌等[13]，这些土壤动物是通过体内的微生物降解微塑料。据结果显示，在特定的环境中，还可以分离出能降解微塑料的细菌，比如从玉米螟的肠道中分离到的黄曲菌，它们可以降解 HDPE 膜中的塑料[14]；从粉虫的肠

道可分离得到降解 PS 微塑料的微杆菌[15]等。

土壤中存在大量的微生物，它们之间存在着交互作用，可以通过两种或两种以上的微生物实现对微塑料的协同降解。已有研究表明，采用菌群对微塑料进行降解是可行的[16]。虽然利用微生物降解处理微塑料已有了一定进展，但仍存在降解效率不高、微生物适宜生长的环境不同导致受环境条件影响较大等问题，亟需创新完善。

### 3.2. 农田微塑料污染治理措施

农田微塑料污染的治理与预防是保障农田环境质量和农产品安全的关键环节。首先，治理农田微塑料污染需要加强立法和政策支持。相关部门应制定并完善相关法律法规，明确微塑料污染的标准和指标，规范农田微塑料的使用和管理，以及加强对微塑料垃圾的处理和回收，从源头上控制微塑料的排放。

其次，农田微塑料污染的治理需要引入技术手段和设施。例如，可以开发和应用微生物降解技术，通过合适的微生物菌剂或生物酶剂，加速土壤中微塑料的降解，减少对农田环境的污染。此外，可以优化耕作方式和农业生产工艺，减少对塑料制品的使用，推广生物降解材料等环保替代品，降低微塑料污染源头的排放。

另外，加强农田微塑料污染的监测和信息公开也是治理的重要一环。通过建立和完善农田微塑料污染的监测网络，实时监测农田环境中微塑料的情况，及时发现并处置微塑料污染源和污染区域，加强监测结果的公开，提高公众对农田微塑料污染的认识和关注度。

最后，农田微塑料污染的预防需要推动全社会的环保意识与行动。通过开展农田环境保护宣传教育，提升农民和农业从业人员对微塑料污染的认识和防范意识，推动绿色生产和可持续农业发展。同时，还需加强跨部门、跨领域、跨国际的合作与联动，共同应对农田微塑料污染这一全球性环境挑战。

## 4. 结论与展望

### 4.1. 结论

微塑料污染对农田环境产生严重影响。微塑料破坏土壤结构，抑制农作物生长，导致减产和耕地劣化。这些微塑料可能来源于日用产品、废弃塑料制品和农业操作中的塑料制品。农田微塑料污染在全球范围内普遍存在，其分布特征与农业操作、周边城市和工业生产等因素密切相关。农田微塑料污染的监测方法主要包括野外调查、实地取样和实验室分析，结合红外光谱技术、光学显微技术和流式细胞技术等。这些方法的结合运用可全面了解农田微塑料污染的分布情况和污染程度，为后续治理与评价提供科学依据。针对不同类型的微塑料，采用直接分析法和间接分析法进行监测，可实现对其高效捕捉和快速分析。农田微塑料污染评价是对农田环境微塑料污染程度和影响的科学评估，其关键指标包括农田土壤中微塑料颗粒数量和农作物中微塑料的富集程度。评价方法包括野外调查和监测、实验室分析和数学模型模拟等。这些方法的应用可以全面评估微塑料污染状况，为后续的治理和管理提供科学依据。然而，也存在一定的局限性，如技术和成本限制、标准化和规范化程度有待提高等。农田微塑料污染的治理与预防是保障农田环境质量和农产品安全的关键环节。通过立法和技术手段加强管理，同时加强监测和信息公开，提高全社会环保意识，共同应对这一全球性环境挑战。生物降解法是一种有前景的治理方法，但仍需探索新技术以提高降解率。

### 4.2. 展望

随着塑料制品的广泛使用，农田微塑料污染问题变得越发严重，这给农业生产和生态环境带来了严重影响。将来，我们需要进一步加强研究，探索更有效的治理和预防措施。首先，应深入研究微塑料在

农田环境中的分布、迁移和转化规律，了解其对农作物和土壤生态系统的影响机制。其次，应加强微塑料污染治理技术的研发和应用，包括生物降解、物理和化学处理等方法，以提高降解效率和对不同类型微塑料的适应性。同时，应推进微塑料污染防治的标准化和规范化，制定更加严格的法律法规和行业标准，加强监管和惩罚力度。最后，应加强国际合作与交流，共同应对农田微塑料污染这一全球性环境问题。通过这些努力，我们有望在未来有效控制农田微塑料污染，保障农业可持续发展和生态环境安全。

## 基金项目

玉溪市青年科研人才专项第一类项目“星云湖流域农业面源污染全过程防控技术体系构建及示范项目”，2023年农村农业部农田地膜残留污染监测评价项目；玉溪师范学院大学生创新创业项目“玉溪市主要耕作区残膜及微塑料调查研究”，项目编号：2022A027。

## 参考文献

- [1] Nizzetto, L., Martyn, F. and Langaas, S. (2016) Are Agricultural Soils Dumps for Microplastics of Urban Origin. *Environmental Science & Technology*, **50**, 10777-10779. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04140>
- [2] Sharma, M.D., Elanjickal, A.I., Mankar, J.S., et al. (2020) Assessment of Cancer Risk of Microplastics Enriched with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Journal of Hazardous Materials*, **398**, Article ID: 122994. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122994>
- [3] Paes, E.S., Gloaguen, T.V., Da Conceicao Silva, H.A., et al. (2022) Widespread Microplastic Pollution in Mangrove Soils of Todos os Santos Bay, Northern Brazil. *Environmental Research*, **210**, Article ID: 112952. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112952>
- [4] Li, S., Ding, F., Flury, M., et al. (2022) Macro- and Microplastic Accumulation in Soil after 32 Years of Plastic Film Mulching. *Environmental Pollution*, **300**, Article ID: 118945. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118945>
- [5] 刘丽娟. 不同类型农用地土壤中微塑料的分布特征与来源及防控对策研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2023.
- [6] 姜晓旭, 封雪, 周笑白, 等. 土壤中微塑料污染现状与检测技术研究进展[J]. 环学, 2023, 42(1): 163-175.
- [7] Nematollahi, M.J., Keshavarzi, B., Mohit, F., et al. (2022) Micro Plastic Occurrence in Urban and Industrial Soils of Ahvaz Metropolis: A City with a Sustained Record of Air Pollution. *Science of the Total Environment*, **819**, Article ID: 152051. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152051>
- [8] 时馨竹, 孙丽娜, 李珍, 等. 沈阳周边农田土壤中微塑料组成与分[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(7): 1498-1508.
- [9] 张淑怡, 高维常, 蔡凯, 等. 农田土壤中微塑料污染状况与生态环境效应研究进展[J]. 甘肃农业大学学报, 2023, 58(6): 155-168. <https://doi.org/10.13432/j.cnki.jgsau.2023.06.018>
- [10] 周洁, 仲蕾, 赵松建, 等. 微塑料污染的成因、危害及其防治技术分析[J]. 现代化工, 2024, 44(1): 13-17. <https://doi.org/10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2024.01.003>
- [11] 黄志琴, 徐颂军, 秦俊豪. 微塑料降解的主要方法、影响因素及环境风险[J]. 环境科学与技术, 2022, 45(2): 134-141.
- [12] 师勇强, 王琼, 董栋, 等. 新疆棉田微塑料污染现状、影响及治理技术[J]. 中国棉花, 2023, 50(9): 27-34.
- [13] 刘鑫蓓, 董旭晨, 解志红, 等. 土壤中微塑料的生态效应与生物降解[J]. 土壤学报, 2022, 59(2): 349-363.
- [14] Zhang, J.Q., Gao, D.L., Li, Q.H., et al. (2020) Biodegradation of Polyethylene Microplastic Particles by the Fungus *Aspergillus flavus* from the Guts of Wax Moth *Galleria mellonella*. *Science of the Total Environment*, **704**, Article ID: 135931. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135931>
- [15] 金灿, 王毅, 代知广, 等. 土壤中微塑料污染及其防治措施的探讨[J]. 环境科技, 2021, 34(2): 73-78.
- [16] 朱会会, 王凡梅, 林肖月, 等. 土壤微塑料污染及生物降解研究进展[J]. 北方园艺, 2022(10): 117-123.