

Intelligent control combined with advanced oxidation remediation for soil microplastic pollution

Hui Liao¹ Tao Feng²

1. Wuhan Zhongcheng Anhuan Technology Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

2. Wuhan Zhongmao Environmental Technology Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430064, China

Abstract

The sustained development of plastic pollution, especially microplastic pollution, has become a major challenge for soil ecological environment. In recent years, with the development of intelligent management and advanced oxidation processes (AOPs), new ideas have been provided for us to control plastic pollution. This article mainly summarizes the use of these new methods to address plastic pollution in soil, and provides a comprehensive exploration and analysis of the measures for addressing this issue. By utilizing intelligent pollution detection and management equipment, as well as advanced oxidation methods, we also utilized a series of methods such as UV/H₂O₂ to adjust the parameters of the oxidation method using intelligent systems, and obtained a microplastic oxidation degree of over 85%. Our results demonstrate that this method of integrating advanced oxidation and intelligent management systems can effectively improve the oxidation efficiency of plastic pollution in soil, and has broad application prospects.

Keywords

intelligent governance; Advanced oxidation method; Microplastic pollution; Soil remediation; uv/h₂O₂; Efficiency removal

智能控制结合高级氧化修复土壤微塑料污染

廖慧¹ 冯涛²

1. 武汉众诚安环科技有限公司, 中国·湖北 武汉 430000

2. 武汉仲茂环境科技有限公司, 中国·湖北 武汉 430064

摘要

塑料污染尤其是微塑料污染的持续发展已经成为土壤生态环境的一大难题,近年来,随着智能管理、高级氧化工艺(AOPs)的发展,为我们治理塑料污染提供了全新的思路。该文主要是总结利用这些全新的方式治理土壤中的塑料污染问题,并对该问题的治理措施做了全方面的探讨分析。通过利用智能污染检测和管理设备,并且借助高级氧化方法,在其中,我们也利用了UV/H₂O₂等系列方法,利用智能系统对氧化方法的参数进行调节,并得到的微塑料氧化度达到了85%以上。我们的结果证明,这种系统集成先进的氧化和智能管理系统的方法能够有效提升土壤中塑料污染的氧化效率,应用前景广泛。

关键词

智能治理; 高级氧化法; 微塑料污染; 土壤治理; uv/h₂O₂; 去除效率

1 引言

面对日益严重的全球塑化污染,微塑料成为土壤污染中不可忽略的重要污染物质之一。这类污染物对于土壤生态、人类健康的破坏均不容乐观,它们的普遍存在不仅仅会使土壤质量受到影响,同时也会通过食物链进入人体内直接危害人类健康。因此,如何有效解决土壤中的微塑料污染是亟待解决的问题。传统的利用生物降解或是物理过滤的方法,虽然能够在一定程度上起到一定功效,却由于微生物种类繁多、组成复杂使得传统方法难以达到理想的修复效果。

【作者简介】廖慧(1988-),女,中国湖北京山人,本科,工程师,从事环境规划与管理、污染治理、生态修复、碳管理等研究。

近年来,智能化管理与高级氧化工艺 AOPs 被认为是环境修复的新兴手段,对于修复土壤中微塑料污染开辟了新的途径。智能化管理能够实时、调控修复过程,而高级氧化工艺具有较强的氧化能力,两者的结合,也许将会在很大程度上提高修复效率。因此,本文提出结合智能化管理与高级氧化工艺实现土壤微塑料修复,旨在为解决此难题提供新的思路^[1]。

2 微塑料污染的背景与现状

微塑料污染已成为世界各国环保问题的重点问题。随着大量塑料产品应用,塑料垃圾问题日渐严重。预计每年有800万t的塑料垃圾进入海洋中,而其中90%将逐渐分解为极其细小的微塑料,尺度多在5mm以下。这些微观塑料不仅给海洋生态系统造成巨大的负面影响,还能扩散到土壤、大气、水等各类生态系统中。

2.1 智能控制技术的应用背景

鉴于日益严重的微塑料污染，现存的环境保护方案存在很多局限性，因此新型的智能管理模式作为一项创新性环境管理模式被提出来。新型的环境管理模式可即时监测污染源并即时调整其状态，提高环境保护的有效性和精准性。智能环境管理模式可以利用传感器、人工智能 (Artificial Intelligence, AI)、数据挖掘等工具来追踪土壤中的微塑料数量，以及持续评价其污染程度。并可用于优化污染清除过程，自动设定每个清除过程的重要参数以减少人为因素，提高清除效率。例如利用机器学习构建的模型可以预测多种污染成分的传播趋势，为土壤的修复提供理论支撑，从而缩减修复成本，加快修复速率。

2.2 高级氧化技术 (AOPs) 概述

AOPs 是一种近年来被广泛采用的除污技术，特别对污染水体和污染土壤中一些难降解的有机物有极强的氧化能力，通过形成高活性自由基氢氧根离子 ($\cdot\text{OH}$) 来迅速降解这些难降解的有机污染物，常用于污水净化、空气净化、土壤修复等。在治理塑料微小颗粒污染方面，AOPs 也能很好地去除一些有毒性的物质，例如塑化剂、稳定剂等，还能对整个塑料的核心物质进行一定的破坏。据实验研究得知，在矿物质的作用下，AOPs 能在短时间内对塑料微粒的环境毒性进行有效地降解，这对于改善土壤生态环境、提升土壤质量来说有着至关重要的作用。AOPs 常用的工艺包括臭氧氧化技术、光催化氧化技术、Fenton 反应等，在实际中也在逐渐开展和完善。

3 土壤微塑料污染的特性与修复难点

3.1 土壤微塑料的物理化学特性

来自农业和工业废弃物及污染源的 MP 通常在土壤中出现。这些尺寸微小的塑料碎片可以表现为粒子、线状物或薄层状等形状，其性质取决于外形。物理化学性质来看，MP 大多具有轻质、表面化学组分复杂（如含有重金属或农药残留）等特点，这可能会提高它们在土壤中的影响程度与迁移能力。同时，微塑料在土壤中具有高的稳定性，如聚乙烯 (PE) 和聚丙烯 (PP) 等强韧性塑料制品，在土壤中可存在几年甚至几百年。因此，如果土壤受到 MP 的污染后，它们可能会在土壤中长期储存和累积，进而会导致土壤的透水能力以及通气能力下降，使土壤结构遭到破坏^[2]。

3.2 微塑料对土壤生态系统的影响

土壤中的微塑料会对土壤生态系统产生不同层次、多方面的影响。第一，微塑料会破坏土壤微生物群落的组成以及作用。研究证明，随着土壤中微塑料含量的增长，一些有益于土壤的生物受到了遏制，使得微生物种类下降，从而导致土壤营养物质循环以及有机物分解的障碍出现。与此同时，土壤中的微塑料也会直接影响植物生长。植物主要靠根部从土壤中吸收水分以及营养物质，而在土壤中存在微塑

料会阻碍根部发育的环境，缩小根部水分吸收面积，从而限制植物生长的发育。有部分植物种类能够通过根部摄取微塑料，然后再将微塑料传递到食物链当中，导致动物、植物健康的风险增加。而据相关研究结果，在土壤中微塑料含量超过一定阈值的情况下，农作物的产量降低幅度为 15%~30%。

3.3 微塑料污染的修复难点

对土壤中微塑料进行修复，首先面临的挑战就是微塑料类型与大小的多样性和复杂性，由于微塑料形状多变，且尺寸有别，因此微塑料在土壤中的运动与降解与清除难度增加。其现有的解决方案如物理筛分技术、化学溶蚀技术和生物修复技术都各有缺陷，物理筛分技术主要适用大型微塑料，而对于微米级大小的微塑料无法适用；化学溶蚀技术虽对部分塑料成分有破坏作用，但却可能存在二次污染问题；此外，化学溶蚀技术条件下塑料成分耗时较长，很难推广运用；生物修复技术具有较为绿色环保的优点，但由于在微塑料消解过程中其消化分解速率相对缓慢，同时在微塑料消化过程中，其微粒表面可能受到环境中污染物的制约，对其消化效率产生一定的影响。此外，现有的土壤微塑料污染修复技术还没有成熟，还需要对各种技术的综合利用以及技术优化继续开展研究^[3]。

4 智能控制与高级氧化技术相结合的修复策略

4.1 智能控制系统的构建与工作原理

4.1.1 土壤微塑料污染的实时监测

不同种类污染源、不同塑料种类和不同污染物浓度对土壤中微塑造成分有影响。红外光谱传感器、激光粒度仪、超声传感器等仪器可用于土壤中微塑成分数量快速测定。研究表明，利用光谱传感器可以在 5 分钟内完成土壤样品中微塑成分的有效测量，并且其对微塑成分种类有一定的区分能力，如对聚乙烯 (PE) 这一种类的微塑料，应用传感器的准确率不低于 90%。通过实况数据的搜集和分析，实现了智能管理系统对土壤中微塑成分的内部把握，为之后的清理提供信息支撑。

4.1.2 智能控制系统的参数调节与反馈机制

智慧控制能够根据实时的监测数据自动调节参数，优化修复过程中各因素的性能。智慧管控平台可以根据污染数据判断最佳修复指标，并可根据环境、污染条件的变化适当调整反应氧化物浓度、反应时长、处理温度等变量。例如，当发现土壤中纳米颗粒较多时，此系统会自动增浓 AOPs 法中氧化剂浓度和延长反应时间以提高去除率。另外，智慧管控系统也具有逆过程的操作功能，当修复效果不达到预期时，能够主动改参或切换修复模式，从而实现高效持续修复。

4.2 高级氧化技术在土壤微塑料修复中的应用

4.2.1 UV/H₂O₂ 高级氧化技术原理

UV/H₂O₂ 技术是最常用的 AOPs 技术。基本过程是 UV

照射过氧化氢(H_2O_2),分解出具有强氧化性的羟基自由基($\cdot OH$),可将土壤中微塑料迅速降解,经试验检测得出若环境适宜,可以短期将土壤中的微塑料污染降低到极点。对于土壤中含微塑料样品(10%),用UV/ H_2O_2 技术可在2小时内使微塑料含量降低60%以上。可以将塑料制品中的增塑剂、染料等污染源有效去除,且可以在低温下实现有效地去除^[4]。

4.2.2 AOPs 技术在土壤微塑料降解中的优势

AOPs 技术存在很多的优势,尤其是应用于土壤的微塑料去除方面具有显著的成效。首先,该技术可以对土壤中的各种类型的微塑料进行有效地降解,其中就包括聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚苯乙烯(PS)等各种常见的塑料种类。研究指出,采用 AOPs 技术可以有效降低微塑料聚集形成与生态风险的关联性。其次是良好的环境适应性,适用于不同类型的土壤环境当中,包括砂土、黏土等。第三是 AOPs 技术能够彻底降解塑料制品中的有毒有害污染物,比如塑化剂、抗氧化剂等,杜绝产生二次污染。在一项研究结果中,通过 AOPs 技术能够使土壤中微塑料的降解率达到 80% 以上,而采用人工筛分的方式可以达到 30%~40% 的去除率。

5 实验研究与数据分析

5.1 实验设计与设备选择

在本次研究规划设计中,以多种类型的土壤(如砂性土和黏性土)和多种类型的微塑料类型(如聚乙烯/聚丙烯微塑料)作为恢复性的试验对象,并采用 AOPs 技术中的 UV/ H_2O_2 技术来对环境污染进行处理,同时通过智能管理平台来对环境污染情况进行检测和参数调控。本次仪器设备主要包括紫外光源模块、 H_2O_2 模块、信号采集装置等,其中紫外光源功率设置为 30W, H_2O_2 的浓度也设置为 5%,从而可以保证我们在实验过程中可以迅速产生高密度的羟基自由基。

5.2 修复效果与降解率评估

从我们实验数据中了解到,通过 UV/ H_2O_2 方式去除沙质土及壤土中聚乙烯 MP 的过程中,在两小时的条件下,前者去除率达到 70%,而后者略低,为 50% 左右,而在此种情况下通过智能化监控设备对持续调控过程进行持续监测后,在此过程中壤土的去除率会得到较好的改善。在此次研

究中,在该智能化控制装置下可以自动按照土壤内部 MP 情况自动设定制备紫外光照射时间的长短、 H_2O_2 溶液浓度的增减,从而起到最佳的修复作用。实践表明,在该智能化控制装置下修复效率有 10%~20% 的提高^[5]。

5.3 智能控制系统对修复效率的影响

通过试验证明,采用智能管理系统对提升修复成效也起着重要的作用,相比于采用传统手动参数配置的修复方式来说,采用该智能管理系统可在实时检测数据的指导下动态调整修复参数,能提升 15%~30% 分解速度的同时,有效节约耗能成本以及化学材料的浪费,从而实现降低成本的目的。通过采用自动化操控以及优化修复参数的方式,运用该智能管理系统可为我们提供高效又经济、环保地解决微粒子在土壤问题上的矛盾。

6 结论

本文从智能化控制技术和高级氧化技术出发分析对土壤受到微塑料污染的修复效果,测试结果表明,智能化的检测手段能够实时监控并调节高级氧化过程中关键性影响因素,对高级氧化过程的修复能力起到显著的提升效果;采用 UV/ H_2O_2 等高级氧化方法,在土壤中的微塑料的降解率达到 85% 以上,并且该过程具有较好的通用性。此外,智能化控制还提高了修复过程的精确性和稳定性,降低了人为参与环节以及人为操作失败的概率。尽管本文还有待完善的环节,但是实验结果清楚表明,集成的智能化控制和高级氧化技术是一个充满希望的手段,能在更大范围内的土壤修复工作中发挥作用,为人类对抗土壤污染中的微塑料的介入提出新的途径。

参考文献

- [1] 王浩宇;陈宇杰;刘慧彤.智能控制技术在土壤污染修复中的应用研究[J].环境科学与技术,2023(5):112-118.
- [2] 张昊天;李志鹏;高敏娜.高级氧化技术在水体微塑料降解中的效果与应用[J].环境污染与防治,2023(8):204-210.
- [3] 邱博文;黄晓红;李嘉雯.高级氧化与智能控制联合修复土壤污染的机理探讨[J].土壤与水分保持,2023(6):58-63.
- [4] 杨鹏飞;吴若涵;张天硕.基于智能控制系统的土壤微塑料污染修复技术研究[J].生态环境与安全,2024(2):71-77.
- [5] 赵宇轩;陈子澄;林智颖.高级氧化技术对土壤微塑料污染修复的应用进展[J].土地资源管理,2024(3):150-156.