

老化微塑料对旱地土壤氮素和溶解性有机物的影响研究

董翔宇, 高良敏*, 张 振

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2025年5月21日; 录用日期: 2025年6月20日; 发布日期: 2025年6月30日

摘 要

微塑料是一种新型污染物, 土壤是微塑料在陆地生态系统中的主要汇, 但微塑料对土壤生态系统的影响尚未完全明确。为探究微塑料对农田土壤中氮素及溶解性有机物(DOM)的影响机制, 本研究以淮南市旱地农田耕地土壤为研究对象, 利用紫外光谱和三维荧光光谱表征土壤DOM, 探究不同老化程度的微塑料在旱地土壤中的积累对土壤氮素和DOM的影响。结果表明: 1) 微塑料的添加会导致旱地土壤中氨氮、硝态氮及全氮含量下降, 且其老化程度和含量对氮素含量变化速率产生影响。2) 紫外光谱分析显示, 微塑料的添加增加了旱地土壤DOM对紫外光的吸收, 降低了其腐殖化程度。同时, 微塑料进入土壤后, 土壤疏水性有机组分的含量减少, 且其变化与微塑料老化相关。3) 微塑料的添加导致土壤DOM中UVC腐殖质、陆生腐殖质样组分以及蛋白质样组分的减少, 而蛋白质中色氨酸样组分的含量增加。因此, 微塑料不仅通过改变旱地土壤中氮素的含量影响土壤氮循环, 还改变DOM的组分比例, 进而影响土壤有机质的质量和稳定性。

关键词

微塑料, 氮素, 溶解性有机物

Research on the Effects of Aging Microplastics on Soil Nitrogen and Dissolved Organic Matter in Dryland Soil

Xiangyu Dong, Liangmin Gao*, Zhen Zhang

School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

Received: May 21st, 2025; accepted: Jun. 20th, 2025; published: Jun. 30th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 董翔宇, 高良敏, 张振. 老化微塑料对旱地土壤氮素和溶解性有机物的影响研究[J]. 环境保护前沿, 2025, 15(6): 934-944. DOI: 10.12677/aep.2025.156105

Abstract

Microplastics are emerging contaminants, and soil serves as the primary sink for microplastics in terrestrial ecosystems. However, the impacts of microplastics on soil ecosystems remain incompletely understood. In order to explore the influence mechanism of microplastics on nitrogen and dissolved organic matter (DOM) in farmland soil, this study took the farmland soil of dry farmland in Huainan City as the research object, and used ultraviolet spectrum and three-dimensional fluorescence spectrum to characterize soil DOM, and explored the effects of the accumulation of microplastics in dry farmland soil with different aging degrees on soil nitrogen and DOM. The results showed that: 1) The addition of microplastics would lead to a decrease in ammonia nitrogen, nitrate nitrogen and total nitrogen content in dryland soil, and its aging degree and content would affect the change rate of nitrogen content. 2) UV spectrum analysis showed that the addition of microplastics increased the absorption of ultraviolet light by DOM in dryland soil and reduced its humification degree. At the same time, after microplastics enter the soil, the content of soil hydrophobic organic components decreases, and this change is related to the aging of microplastics. 3) The addition of microplastics led to the decrease of UVC humus, terrestrial humus-like components and protein-like components in soil DOM, while the content of tryptophan-like components in protein increased. Therefore, microplastics not only affect soil nitrogen cycle by changing the content of nitrogen in dryland soil, but also change the proportion of DOM components, thus affecting the quality and stability of soil organic matter.

Keywords

Microplastics, Nitrogen, Dissolved Organic Matter

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

在陆地生态系统中,土壤是微塑料的主要汇,在储存和转移微塑料过程中占有举足轻重的地位。微塑料是一种尺寸小于5毫米的新型污染物,在土壤中微塑料具有密度小、质量轻、难以降解、具有持久性和隐蔽性等特性,所以这使得其易被陆地生物摄入,也易吸附环境中有毒有害物质形成复合污染物[1]。

研究表明,老化微塑料的添加会影响土壤的物理化学性质、微生物群落以及碳氮循环,进而影响土壤生态系统的功能[2]。微塑料因具有较高的比表面积和疏水性,能够吸附和携带氮磷,改变其在土壤和水体中的迁移路径和生物可利用性[3]。微塑料进入土壤中会影响土壤溶解有机质(DOM)的含量,DOM是碳与其他原子(例如氢、氧、氮、硫)结合的还原碳化合物,是全球碳循环的重要组成部分[4],土壤DOM来自植物根系分泌物、凋落物、土壤腐殖质和农业肥料等[5]。农田土壤通常可以分为旱地和水田两大类[6],这种分类是基于土壤的水分状况和土地利用方式[7]。旱地农田通常位于干旱和半干旱地区,这些地区土壤有机质含量较低,结构相对松散,保水能力差[8],外源污染物(如微塑料)对其影响可能更为显著,更容易对土壤的物理、化学和生物性质产生不利影响[9]。由于当前针对旱地土壤的微塑料污染研究还相对较少,对不同老化程度的微塑料对旱地土壤氮素和DOM的影响机制尚不完全明确,因此本研究以淮南市旱地农田土壤为研究对象,探讨不同老化程度的微塑料对旱地土壤氮素和DOM的影响机制。

本研究课题来源于安徽省重点研究与开发计划中的生态环境专项计划, 实验采用室内模拟微塑料老化及旱地土壤培养实验, 通过测定土壤全氮、氨氮、硝态氮及溶解性有机质组分的变化, 分析不同处理条件下微塑料的老化程度对旱地土壤氮素和 DOM 的影响, 为微塑料污染在农业生态系统中的潜在影响提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 土壤和微塑料来源说明

在本研究实验中, 选择了聚氯乙烯(PVC)作为微塑料来源。PVC 微塑料来自新疆天业有限公司, 所用微塑料为 150 目粒度的白色粉末。土壤样本采自安徽省淮南市田家庵区旱田的地表土壤, 深度为 0~20 厘米。

2.2. 土壤和微塑料处理及实验方法

1) 土壤处理

在采集土样过程中, 剔除土壤中植物和凋落物残渣和石块, 土样经过自然风干, 并通过 2 毫米筛网筛分, 准备用于后续的培养实验。

2) 微塑料处理

在自然环境中, 塑料会经历一系列老化过程, 导致其表面及物理化学性质发生不可逆的变化。首先, 采用超声波清洗器对 PVC 微塑料进行 10 分钟清洗, 去除其表面附着的杂质。清洗后的微塑料在 40℃ 条件下干燥, 去除其表面残留的水分。为模拟紫外线辐射老化过程, 采用紫外线照射法处理微塑料。具体方法为将定量微塑料均匀铺设于铝箔盘中, 并置于紫外线照射箱中进行辐照, 每日对样品进行翻动。根据实验设计, 微塑料的老化处理设定为两个阶段, 分别为 45 天和 120 天。处理完成后, 取出微塑料样品, 并用超纯水进行冲洗和过滤, 然后, 将处理后的微塑料再次置于 40℃ 烘箱中干燥, 干燥完成后避光保存。

3) 微塑料对农田土壤的影响实验

本实验设计了 10 种不同的处理条件, 包括一个对照组(CK), 以及不同比例(1%、3%、5%干土重)的原始和经过 45 天、120 天紫外线照射处理的微塑料。每个处理有 3 个重复。实验开始前, 将干燥土壤的水分调整到 18%, 并在 25 摄氏度的培养箱内进行为期两周的预培养实验, 提升微生物活性。培养后, 根据实验设计比例, 将微塑料与土壤充分混合, 调整土壤含水量至 20%。每个培养容器中加入 200 克土壤, 并使用带有小孔的锡纸封口, 保证气体交换通畅。将培养容器放置在 25 摄氏度的培养箱内培养 35 天, 这段时间每天用称重法将蒸发的水分补充上来, 确保土壤中的水分含量不变。土壤样本的取样时间点设定为实验开始后的第 1、3、5、9、15、25 和 35 天, 样本主要用于测定土壤全氮、铵态氮和硝态氮含量。在第 1、15 和 35 天, 对土壤样本进行了紫外-可见吸收光谱分析。在实验第 1 天和第 35 天时, 分析土壤 DOM 的组分。

2.3. 测试分析指标及方法

土壤全氮的测定采用过硫酸盐消化法, 依据 HJ 634-2012《土壤 氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮的测定-氯化钾溶液提取-分光光度法》进行土壤氨氮和硝态氮的测定。

土壤 DOM 的紫外-可见吸收光谱的测定[10]: 称取 3 g 土壤样品, 置于 50 mL 塑料离心管中, 加入 15 mL 去离子水振荡 2 h (300 r·min⁻¹)。振荡后将样品以转速 8000 r·min⁻¹ 离心 5 min, 然后通过 0.45 μm 滤膜过滤样品, 得到滤液。使用 N5000 PLUS (佑科, 上海) 分光光度计对过滤后的溶液进行紫外-可见吸收光谱分析。波长扫描范围设定为 200~800 nm, 扫描步长为 1 nm, 采用光程为 10 mm 的石英比色皿进行

测定。样品分析前,先使用超纯水进行仪器空白校正。所有样品的光谱数据通过 680~700 nm 波段的吸光度进行基线校正,以消除可能的光学干扰。

土壤 DOM 组分的测定[10]:提取方法与其测定紫外-可见吸收光谱的方法相同,并使用 F4600 型荧光光谱仪(日立,东京,日本)进行三维荧光光谱分析。扫描条件设置:激发波长范围 220~450 nm,发射波长:450~590 nm,步长 2 nm,狭缝宽度 5 nm,扫描速度 12,000 nm·min⁻¹。通过 3D 荧光扫描获取 DOM 的荧光光谱数据。

3. 结果与分析

3.1. 微塑料老化对旱地土壤氮素的影响

3.1.1. 微塑料老化对旱地土壤氨氮的影响

如图 1 所示,原始微塑料的添加使土壤氨氮含量在前三天内呈现增大趋势,土壤氨氮平均增加速率从 CK 到 T3 分别是 0.46 mg/(kg·天)、0.74 mg/(kg·天)、0.63 mg/(kg·天)、0.53 mg/(kg·天),相较于对照组,其增加速率均有提升。然而,随着微塑料添加量的增加,氨氮含量增大的效应逐渐减弱,并在第三天氨氮含量达到峰值后开始波动下降。对于老化 45 天的微塑料,添加后土壤氨氮含量的变化趋势与原始微塑料类似,表现为先上升后下降的模式。在培养的前三天内,土壤氨氮平均增加速率从 T4 到 T6 分别是 0.52 mg/(kg·天)、0.47 mg/(kg·天)、0.39 mg/(kg·天),微塑料的添加对氨氮含量的增加起到了抑制作用。随着时间的延续,土壤氨氮含量随着培养时间的延续而持续下降。而已经老化 120 天的微塑料前三天土壤氨氮平均增加速率从 T7 到 T9 分别是 0.41 mg/(kg·天)、0.42 mg/(kg·天)、0.22 mg/(kg·天),在第三天达到最高值后,氨氮含量也呈现出先升后降的趋势。总体而言,微塑料的添加导致旱地土壤氨氮含量降低,并且微塑料的老化时间及添加量在影响旱地土壤氨氮含量变化上起到了重要作用,并呈现一定的规律性。

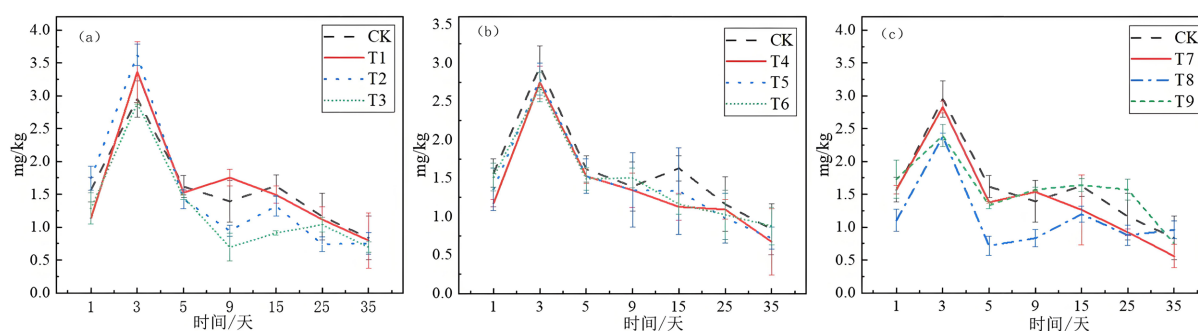


Figure 1. Effect of microplastic aging on ammonia nitrogen in dryland soil

图 1. 微塑料老化前后对旱地土壤氨氮的影响

3.1.2. 微塑料老化对旱地土壤硝态氮的影响

如图 2 所示,随着培养时间的延长,土壤中的硝态氮含量逐渐下降,并在培养五天后稳定在较低水平;不同类型的 PVC 微塑料在三种老化方式下对旱地土壤硝态氮的影响呈现出不同的趋势。原始 PVC 微塑料的添加在培养初期显著降低土壤硝态氮含量,并在第五天达到最低值后保持在较低水平,土壤硝态氮前五天平均降低速率从 CK 到 T3 分别是 3.92 mg/(kg·天)、3.50 mg/(kg·天)、2.96 mg/(kg·天)、3.51 mg/(kg·天),说明微塑料的加入导致土壤硝态氮降低速率受到抑制。随着培养的进行,土壤硝态氮含量呈现波动上升再下降的趋势。紫外老化 45 天的 PVC 微塑料对硝态氮的抑制作用较为显著,其含量前五天平均降低速率从 T4 到 T6 分别是 3.37 mg/(kg·天)、3.12 mg/(kg·天)、3.24 mg/(kg·天)。紫外老化 120 天在

培养初期, 硝态氮迅速下降, 其含量前五天的降低速率从 T7 到 T9 分别是 $3.49 \text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{天})$ 、 $3.00 \text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{天})$ 、 $2.99 \text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{天})$, 并在第五天达到最低值, 随后保持在较低水平。总体来看, 微塑料的添加导致旱地土壤硝态氮含量降低, 并且随着 PVC 微塑料老化时间的延长, 其对土壤硝态氮含量的抑制效果逐渐增强。

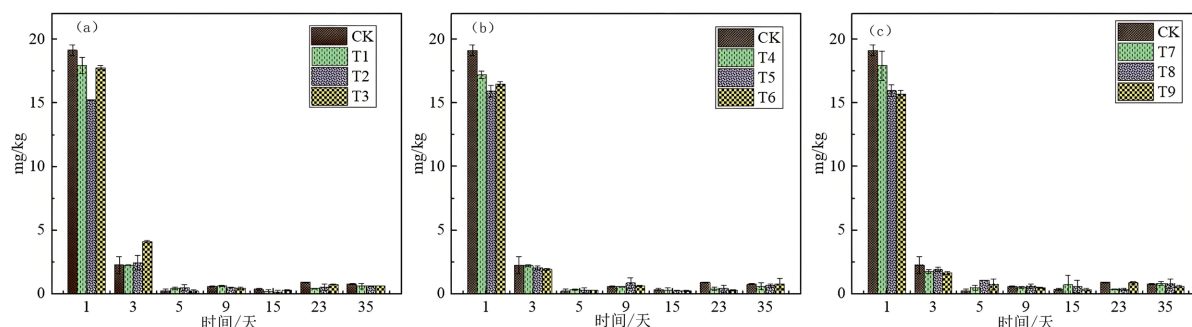


Figure 2. Effect of microplastic aging on nitrate nitrogen in dryland soil
图 2. 微塑料老化对旱地土壤硝态氮的影响

3.1.3. 微塑料老化对旱地土壤全氮的影响

如图 3 所示, 在培养过程中, 不同比例(1%, 3%, 5%)原始 PVC 微塑料对旱地土壤全氮含量的影响呈现波动性下降趋势。研究表明, 添加原始微塑料后, 土壤全氮含量的变化表现出相似的趋势, 在培养第 9 天达到最大值后开始逐渐下降, 其前 9 天平均增加速率从 CK 到 T3 分别是 $0.03 \text{ ug}/(\text{mg}\cdot\text{天})$ 、 $0.02 \text{ ug}/(\text{mg}\cdot\text{天})$ 、 $0.02 \text{ ug}/(\text{mg}\cdot\text{天})$ 、 $0.01 \text{ ug}/(\text{mg}\cdot\text{天})$, 说明微塑料的添加会抑制土壤全氮含量的增加速率。在 45 天老化处理的 PVC 微塑料中, 同样观察到不同比例(1%, 3%, 5%)微塑料对土壤全氮含量产生波动性下降的影响。土壤全氮含量前 9 天平均增加速率从 T4 到 T6 分别是 $0.01 \text{ ug}/(\text{mg}\cdot\text{天})$ 、 $0.02 \text{ ug}/(\text{mg}\cdot\text{天})$ 、 $0.03 \text{ ug}/(\text{mg}\cdot\text{天})$, 尽管存在波动, 整体趋势仍表现为在培养第 9 天达到最大值后, 土壤全氮含量逐步减少, 变化模式与原始微塑料的影响相似。对于经过 120 天老化的 PVC 微塑料, 土壤全氮前 9 天平均增加速率从 T7 到 T9 均是 $0.03 \text{ ug}/(\text{mg}\cdot\text{天})$, 微塑料对土壤全氮含量的影响依然呈波动下降。总体上, 微塑料的添加导致旱地土壤全氮含量降低, 并且微塑料添加后前 9 天土壤全氮含量增加速率受到抑制, 9 天后导致土壤全氮含量逐渐减少, 整体变化趋势与对照组一致。

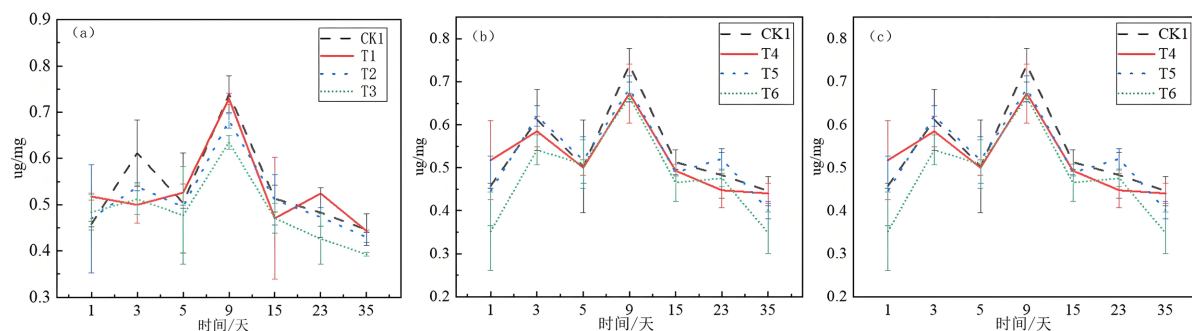


Figure 3. Effect of microplastic aging on total nitrogen in dryland soil
图 3. 微塑料老化对旱地土壤全氮的影响

3.2. 旱地土壤 DOM 的变化特征

3.2.1. 旱地土壤 DOM 的紫外光谱特征

如图 4 所示, 在不同含量和老化时间的条件下, 微塑料添加至土壤后, 第 1 天、15 天和 35 天时的土

壤 DOM 紫外吸收光谱呈现出明显的变化。该实验结果表明,微塑料的添加使土壤 DOM 的吸光度增高,其吸光度随着波长的增加而下降,在 600 nm 之后吸光度趋近于 0,且明显的吸收峰出现在 250 nm 附近,这主要归因于 DOM 中不饱和共轭双键结构或无机离子的存在[11]。近紫外区的吸收系数的变异系数是 66%~84%,因此土壤 DOM 的光谱特征受微塑料添加的影响。此外,同一比例不同老化时间的微塑料在土壤中的添加也导致了土壤 DOM 的光谱特征存在差异,这说明土壤中微塑料的含量和老化程度会影响土壤 DOM 的光谱特征。研究表明,土壤中微塑料添加的老化程度越高,土壤 DOM 的吸光度越高[12];而且添加的微塑料含量越高,土壤 DOM 的吸光度也越高[13],这与本研究分析一致。这可能是随着微塑料老化时间的延长,其表面粗糙度和含氧官能团的数量增加,导致微塑料释放出 DOM 进入土壤,或者改变土壤中原有 DOM 的组成和性质,从而影响 DOM 的吸光度[14]。

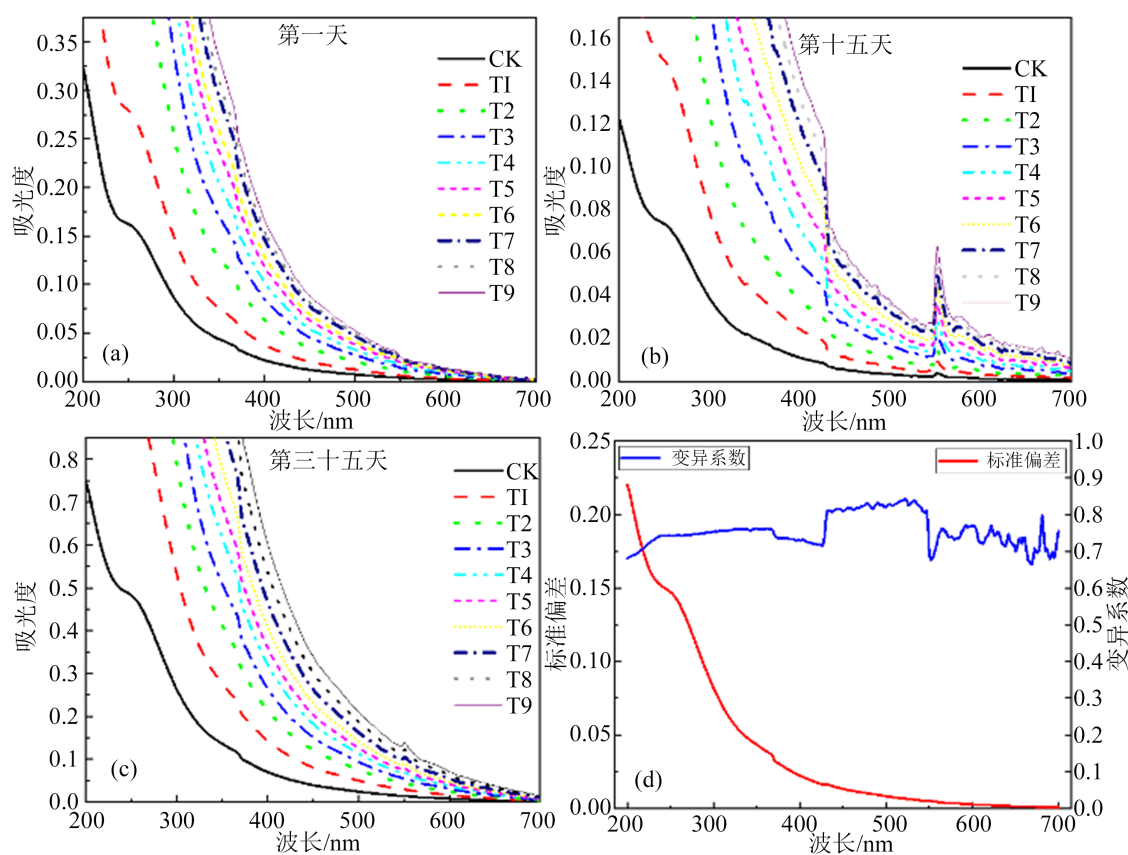


Figure 4. UV absorption spectra and standard deviation

图 4. 紫外吸收光谱及标准偏差

SUV₂₅₄ 通常被用作评估 DOM 芳香性和分子量的指标,其值越高,通常意味着 DOM 的芳香性越高、分子量越大、腐殖化程度也越高[15],而 SUV₂₆₀ 则与土壤 DOM 中疏水性有机组分的含量呈正相关[16],因此可以作为反映土壤中疏水性有机组分含量的一个重要指标。如图 5 所示,微塑料的添加土壤荧光参数 SUV₂₅₄ 的变化表现出下降趋势,因此微塑料的添加导致土壤 DOM 的腐殖化程度降低,这一效应也受到微塑料老化程度的影响。此外,微塑料的添加导致土壤荧光参数 SUV₂₆₀ 的变化呈现出下降趋势,因此微塑料的添加降低了土壤 DOM 中疏水性有机组分的含量,且这种变化同样受到微塑料老化状态的影响。微塑料本身的疏水性很强,能够有效吸附土壤 DOM 中的疏水性有机化合物,使得土壤 DOM 中疏水性有机质被吸附于微塑料表面,导致土壤 DOM 疏水性有机组分减少[17]。

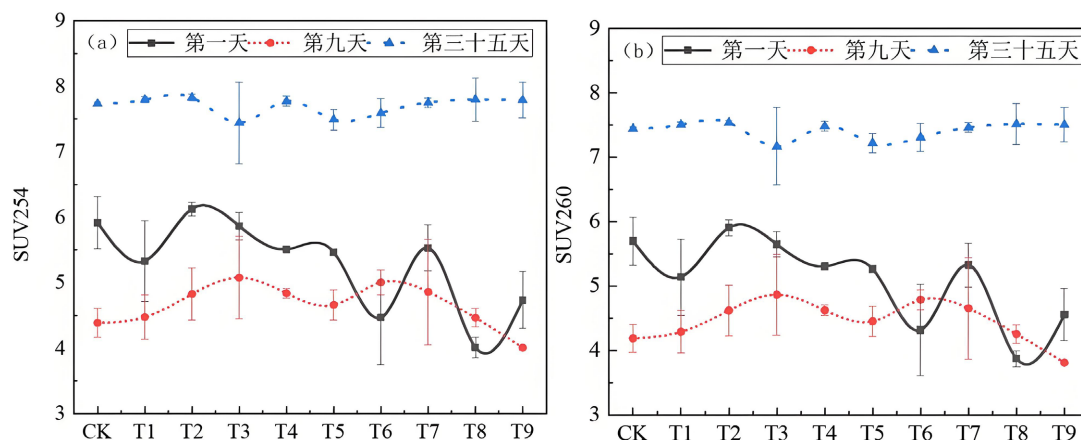


Figure 5. Effects of microplastic aging on SUV₂₅₄ and SUV₂₆₀ in dryland soil

图 5. 微塑料老化对旱地土壤 SUV₂₅₄、SUV₂₆₀ 的影响

3.2.2. 旱地土壤 DOM 的三维荧光光谱特征

本研究采用 PARAFAC 模型对样本的三维荧光光谱(EEMs)数据集进行分析与建模,所有操作均在 R 语言(版本 4.0.5)环境下完成。通过分析结果,发现不同样本的 EEMs 荧光光谱在荧光强度和光谱区域上呈现出差异。应用 PARAFAC 模型能够将这些复杂的 EEMs 光谱数据有效分解为具有明确化学意义的独立组分,实现对溶解性有机质(DOM)含量及其组成的光谱解析。每个独立组分对应于特定的荧光特征区域,这些区域反映了不同类型荧光物质的存在。在本研究中, EEMs 数据通过 PARAFAC 模型鉴定出三种不同的荧光组分,每个组分的荧光光谱图如图 6 所示。

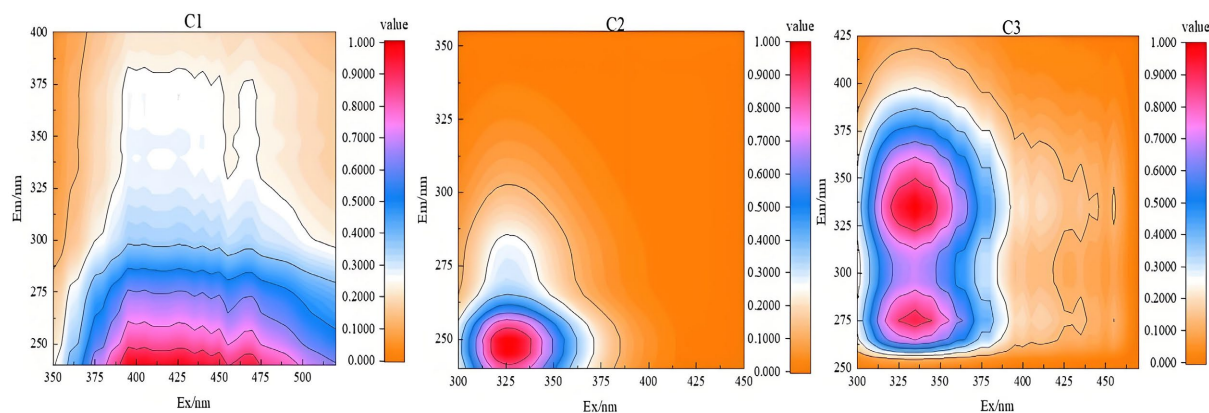


Figure 6. Effect of microplastic aging on DOM fluorescence components in dryland soil

图 6. 微塑料老化对旱地土壤 DOM 荧光组分的影响

图 7 中 C1、C2 和 C3 是土壤有机质中的三种主要组分,它们代表了不同的有机质类型。C1 组分(Ex: <230~260 nm; Em: 400~500 nm)被归类为类 UVC 腐殖质[18], C2 组分在激发波长 < 280 nm 处表现出最大激发波长,并在发射波长 325 nm 处显示最大发射波长,通常认为是蛋白质色氨酸样组分[19],而 C3 (Ex/Em 最大值: 275 (320~340)/335nm)则表示蛋白质样组分和陆生腐殖质样。微塑料污染对土壤溶解性有机质的组成和性质产生显著影响,这主要体现在荧光组分的变化上[17]。在微塑料添加的第 1 天,土壤 DOM 的主要组分是 C2,同时微塑料的添加导致 C1 和 C3 组分的降低,并导致 C2 组分占比上升。35 天后, C2 组分占比减少,而 C1 和 C3 组分显著增加。Li 等[17]的研究发现,微塑料加入土壤初期,土壤

DOM 中 C2 组分含量上升, 而 C1 和 C3 组分含量下降, 随着时间的推移(35 天后), C2 组分减少, C1 和 C3 组分则显著增加, 这与本研究结论一致。总之, 微塑料的添加改变了土壤 DOM 的组分特征[15], 而微塑料的老化状态在这一过程中起着重要作用。

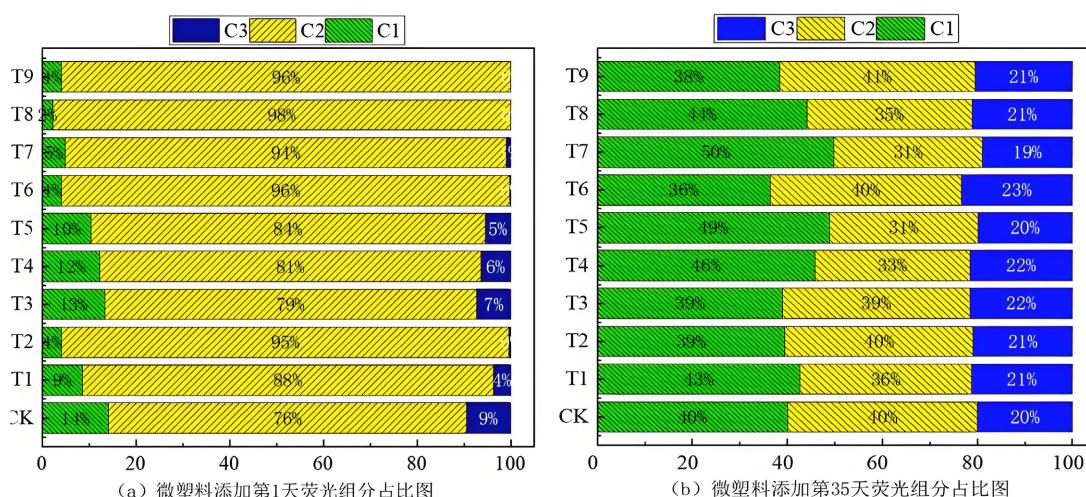


Figure 7. Effect of microplastic aging on the proportion of DOM fluorescent components in dryland soil
图 7. 微塑料老化对旱地土壤 DOM 荧光组分占比的影响

4. 讨论

4.1. 微塑料老化对土壤氮素的影响

微塑料对土壤氮素的影响具有差异性。有研究发现微塑料的添加会使得土壤中氨氮含量升高, 也有研究则表明微塑料的添加会使得氨氮含量的下降[20]。Zhu 等[20]发现, 添加 PVC 微塑料显著增加了土壤中的氨氮含量, 同时大幅降低了硝态氮含量。微塑料可能改变微生物群落的结构和功能多样性, 影响参与氨氧化、硝化和反硝化等过程的关键微生物的丰度和活性[20]。研究发现, 生物可降解的微塑料可以通过调节微生物氮循环基因来强化土壤总氮转化速率[21]。微塑料通过多种途径影响土壤微生物群落, 进而显著改变土壤中的氮素转化过程。这些影响涉及微生物群落结构、功能基因以及氮循环关键步骤的调控。Khan 等[22]的研究发现, 聚乙烯和聚氯乙烯微塑料进入土壤会促进土壤硝化作用, 并影响氮功能细菌群落的组成, 最终影响土壤氮循环。本研究发现微塑料的添加导致土壤氮素含量的降低, 因为微塑料在土壤中的添加可能会通过改变土壤微生物活性及氮素转化过程, 进而导致氨氮、硝态氮及全氮含量的减少, 然而, 这一过程受到微塑料种类、剂量、土壤特性及环境因素等多重因素的影响; 而且土壤的理化性质, 如孔隙率、含水率、pH 值等, 会影响微塑料在土壤中的迁移、分布以及与微生物的相互作用, 进而影响氮素的转化过程[23]。因此, 未来研究需要关注不同类型微塑料在不同土壤条件下对土壤氮素的长期影响, 深入探讨其作用机制, 从而对微塑料潜在土壤氮素循环风险进行较为准确的评估。

4.2. 微塑料老化对土壤 DOM 的影响

Yu 等[24]的研究表明, 老化微塑料的加入增加了土壤 DOM 的紫外光吸收率, 这一点和本研究发现一致, 微塑料在土壤中的累积和老化程度对 DOM 的光谱特征产生显著影响。Chen 等[25]的研究表明, 老化后的微塑料改变了土壤 DOM 的化学性质, 降低其腐殖化程度, 这一点和本研究发现一致。本研究发现微塑料的加入还导致土壤中疏水性有机组分的含量减少, 这一变化同样受到微塑料老化状态的影响[26]。

本研究发现微塑料的添加导致土壤 DOM 组分中 UVC 腐殖质、陆生腐殖质样组分及蛋白质样组分的减少,同时引起蛋白质类色氨酸样组分的增加。Li 等[27]的研究表明,微塑料改变 DOM 的光化学降解过程,加速 UVC 腐殖质的分解。研究表明,微塑料的添加导致土壤 DOM 组分中 UVC 腐殖质、陆生腐殖质样组分以及蛋白质样组分的减少[28]。同时,一些研究也观察到蛋白质类色氨酸样组分的增加[13]。研究表明,紫外线辐射能够降解土壤 DOM,特别是富含腐殖质类物质的 DOM [29]。土壤的温度、pH 值、盐度和离子强度等环境因素会影响微塑料和 DOM 之间的相互作用[30]; DOM 的分子量决定了它与微生物的相互作用,低分子量的 DOM 通常更容易被微生物利用,而高分子量的 DOM 则更稳定[27]。微塑料对土壤 DOM 组分的影响是复杂且多方面的,需要进一步的研究来全面理解其生态效应。

5. 结论

1) 微塑料的添加导致土壤中氮素含量下降,并且影响其含量变化速率。微塑料的老化时间及添加量对土壤氮素含量和其变化速率影响起到了重要作用,并呈现一定的规律性。

2) 微塑料的添加提高了土壤 DOM 的吸光度,并降低了土壤的腐殖化程度,这些变化与微塑料的老化状态密切相关。随着微塑料老化时间的延长,旱地土壤 DOM 吸光度上升,腐殖化程度的抑制效果增强。同时,微塑料的加入也减少了旱地土壤中疏水性有机组分的含量,且该变化随微塑料老化程度的增加而加剧。

3) 微塑料的添加导致土壤 DOM 组分中 UVC 腐殖质、陆生腐殖质样组分及蛋白质样组分的减少,同时引起蛋白质类色氨酸样组分的增加。当微塑料添加 35 天后,土壤 DOM 组分中的蛋白质类色氨酸样组分下降,而 UVC 腐殖质、陆生腐殖质样组分及蛋白质样组分增加。

基金项目

安徽省重点研究与开发计划项目(生态环境专项)(202004i07020012)。

参考文献

- [1] 尹令实,文晓凤,黄佳丽,等. 洞庭湖区微塑料污染及其与农村、农业的相互影响[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2022, 19(2): 15-27.
- [2] Ding, J., Liang, Z., Lv, M., Li, X., Lu, S., Ren, S., *et al.* (2024) Aging in Soil Increases the Disturbance of Microplastics to the Gut Microbiota of Soil Fauna. *Journal of Hazardous Materials*, **461**, Article ID: 132611. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132611>
- [3] Meizoso-Regueira, T., Fuentes, J., Cusworth, S.J. and Rillig, M.C. (2024) Prediction of Future Microplastic Accumulation in Agricultural Soils. *Environmental Pollution*, **359**, Article ID: 124587. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124587>
- [4] Ning, C., Sun, S., Gao, Y., Xie, H., Wu, L., Zhang, H., *et al.* (2025) Characterization of Natural and Anthropogenic Dissolved Organic Matter in the Yangtze River Basin Using FT-ICR Ms. *Water Research*, **268**, Article ID: 122636. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122636>
- [5] Nebbioso, A. and Piccolo, A. (2013) Molecular Characterization of Dissolved Organic Matter (DOM): A Critical Review. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, **405**, 109-124. <https://doi.org/10.1007/s00216-012-6363-2>
- [6] Yu, H., Wang, L., Wang, Z., Ren, C. and Zhang, B. (2019) Using Landsat OLI and Random Forest to Assess Grassland Degradation with Aboveground Net Primary Production and Electrical Conductivity Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, **8**, Article 511. <https://doi.org/10.3390/ijgi8110511>
- [7] Wen, W., Zhuang, Y., Jiang, T., Li, W., Li, H., Cai, W., *et al.* (2024) "Period-Area-Source" Hierarchical Management for Agricultural Non-Point Source Pollution in Typical Watershed with Integrated Planting and Breeding. *Journal of Hydrology*, **635**, Article ID: 131198. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131198>
- [8] Hammitt, J.K. (2021) The Future Costs of Methane Emissions. *Nature*, **592**, 514-515. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-00972-6>
- [9] Zhu, F., Zhu, C., Wang, C. and Gu, C. (2019) Occurrence and Ecological Impacts of Microplastics in Soil Systems: A Review. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **102**, 741-749. <https://doi.org/10.1007/s00128-019-02623-z>

- [10] 张振. 淮河流域安徽段水田与旱地农作物种植地微塑料环境行为比较研究[D]: [硕士学位论文]. 淮南: 安徽理工大学, 2022.
- [11] 李帅东, 张明礼, 杨浩, 等. 昆明松华坝库区表层土壤溶解性有机质(DOM)的光谱特性[J]. 光谱学与光谱分析, 2017, 37(4): 1183-1188.
- [12] Chen, M., Liu, S., Bi, M., Yang, X., Deng, R. and Chen, Y. (2022) Aging Behavior of Microplastics Affected DOM in Riparian Sediments: From the Characteristics to Bioavailability. *Journal of Hazardous Materials*, **431**, Article ID: 128522. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128522>
- [13] Li, C., Wang, C. and Liu, L. (2024) Effects of Microplastics and Organic Fertilizer Regulation on Soil Dissolved Organic Matter Evolution. *Toxics*, **12**, Article 695. <https://doi.org/10.3390/toxics12100695>
- [14] Ren, Z., Gui, X., Xu, X., Zhao, L., Qiu, H. and Cao, X. (2021) Microplastics in the Soil-Groundwater Environment: Aging, Migration, and Co-Transport of Contaminants—A Critical Review. *Journal of Hazardous Materials*, **419**, Article ID: 126455. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126455>
- [15] Feng, Z., Zhu, N., Wu, H., Li, M., Chen, J., Yuan, X., *et al.* (2024) Microplastic Coupled with Soil Dissolved Organic Matter Mediated Changes in the Soil Chemical and Microbial Characteristics. *Chemosphere*, **359**, Article ID: 142361. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142361>
- [16] Dilling, J. and Kaiser, K. (2002) Estimation of the Hydrophobic Fraction of Dissolved Organic Matter in Water Samples Using UV Photometry. *Water Research*, **36**, 5037-5044. [https://doi.org/10.1016/s0043-1354\(02\)00365-2](https://doi.org/10.1016/s0043-1354(02)00365-2)
- [17] Li, R., Xi, B., Tan, W. and Yuan, Y. (2022) Spatiotemporal Heterogeneous Effects of Microplastics Input on Soil Dissolved Organic Matter (DOM) under Field Conditions. *Science of The Total Environment*, **847**, Article ID: 157605. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157605>
- [18] Retelletti Brogi, S., Ha, S., Kim, K., Derrien, M., Lee, Y.K. and Hur, J. (2018) Optical and Molecular Characterization of Dissolved Organic Matter (DOM) in the Arctic Ice Core and the Underlying Seawater (Cambridge Bay, Canada): Implication for Increased Autochthonous DOM during Ice Melting. *Science of The Total Environment*, **627**, 802-811. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.251>
- [19] Gao, Z. and Guéguen, C. (2017) Size Distribution of Absorbing and Fluorescing DOM in Beaufort Sea, Canada Basin. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, **121**, 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2016.12.014>
- [20] Zhu, F., Yan, Y., Doyle, E., Zhu, C., Jin, X., Chen, Z., *et al.* (2022) Microplastics Altered Soil Microbiome and Nitrogen Cycling: The Role of Phthalate Plasticizer. *Journal of Hazardous Materials*, **427**, Article ID: 127944. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127944>
- [21] Zhang, H., Zhu, W., Zhang, J., Müller, C., Wang, L. and Jiang, R. (2024) Enhancing Soil Gross Nitrogen Transformation through Regulation of Microbial Nitrogen-Cycling Genes by Biodegradable Microplastics. *Journal of Hazardous Materials*, **478**, Article ID: 135528. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.135528>
- [22] Khan, I., Tariq, M., Alabbosh, K.F., Rehman, A., Jalal, A., Khan, A.A., *et al.* (2024) Soil Microplastics: Impacts on Greenhouse Gasses Emissions, Carbon Cycling, Microbial Diversity, and Soil Characteristics. *Applied Soil Ecology*, **197**, Article ID: 105343. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105343>
- [23] Iqbal, S., Xu, J., Arif, M.S., Worthy, F.R., Jones, D.L., Khan, S., *et al.* (2024) Do Added Microplastics, Native Soil Properties, and Prevailing Climatic Conditions Have Consequences for Carbon and Nitrogen Contents in Soil? A Global Data Synthesis of Pot and Greenhouse Studies. *Environmental Science & Technology*, **58**, 8464-8479. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c10247>
- [24] Yu, H., Xi, B., Shi, L. and Tan, W. (2023) Chemodiversity of Soil Dissolved Organic Matter Affected by Contrasting Microplastics from Different Types of Polymers. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, **17**, Article No. 153. <https://doi.org/10.1007/s11783-023-1753-6>
- [25] Gong, K., Peng, C., Hu, S., Xie, W., Chen, A., Liu, T., *et al.* (2024) Aging of Biodegradable Microplastics and Their Effect on Soil Properties: Control from Soil Water. *Journal of Hazardous Materials*, **480**, Article ID: 136053. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136053>
- [26] Zhang, H., Huang, Y., Shen, J., Xu, F., Hou, H., Xie, C., *et al.* (2024) Mechanism of Polyethylene and Biodegradable Microplastic Aging Effects on Soil Organic Carbon Fractions in Different Land-Use Types. *Science of The Total Environment*, **912**, Article ID: 168961. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168961>
- [27] Li, P., Wu, M., Li, T., Dumbrell, A.J., Saleem, M., Kuang, L., *et al.* (2023) Molecular Weight of Dissolved Organic Matter Determines Its Interactions with Microbes and Its Assembly Processes in Soils. *Soil Biology and Biochemistry*, **184**, Article ID: 109117. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2023.109117>
- [28] Bravo-Escobar, A.V., O'Donnell, A.J., Middleton, J.A. and Grierson, P.F. (2024) Differences in Dissolved Organic Matter (DOM) Composition of Soils from Native Eucalypt Forests and Exotic Pine Plantations Impacted by Wildfire in South-west Australia. *Geoderma Regional*, **37**, e00793. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00793>
- [29] Li, S., Hou, X., Shi, Y., Huang, T., Yang, H. and Huang, C. (2020) Rapid Photodegradation of Terrestrial Soil Dissolved

- Organic Matter (DOM) with Abundant Humic-Like Substances under Simulated Ultraviolet Radiation. *Environmental Monitoring and Assessment*, **192**, Article No. 103. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7945-7>
- [30] Xu, P., Ge, W., Chai, C., Zhang, Y., Jiang, T. and Xia, B. (2019) Sorption of Polybrominated Diphenyl Ethers by Microplastics. *Marine Pollution Bulletin*, **145**, 260-269. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.050>