

可降解微塑料在三峡水库消落带诱发更多温室气体排放

沙颖^{1,2} 兰国新^{1,2}

1 重庆三峡学院重庆市三峡库区水环境演变与污染防治重点实验室

2 重庆三峡学院重庆市三峡库区环境生态重庆市野外科学观测站

DOI:10.12238/eep.v7i12.2364

[摘要] 环境中的微塑料对人类健康、农业和生态系统构成了重大威胁。各种人类活动和工业活动增加了微塑料的含量。由于微塑料的不可降解性,其残留物在环境中造成的污染不容忽视。有人提出用可降解微塑料替代传统微塑料,通过启动效应来改变土壤有机碳的分解。然而,可降解微塑料在三峡水库引发的启动效应仍不确定。随着三峡库区研究的深入,发现微塑料也存在于三峡水库的消落带中。微塑料对三峡水库消落带土壤碳库的响应尚需进一步研究。

[关键词] 可降解微塑料; 土壤有机碳; 启动效应; 土壤碳量; 二氧化碳

中图分类号: Q938.1+3 **文献标识码:** A

Degradable microplastics induced more greenhouse gas emission in the riparian zone of the Three Gorges Reservoir

Ying Sha^{1,2} Guoxin Lan^{1,2}

1 Key Laboratory of Water Environment Evolution and Pollution Prevention in Chongqing Three Gorges Reservoir Area, Chongqing Three Gorges University

2 Three Gorges Reservoir Area Environment and Ecology of Chongqing Observation and Research Station, Chongqing Three Gorges University

[Abstract] Microplastics (MPs) in the environment pose a significant threat to human health, agriculture, and ecosystems. Various human and industrial activities have increased the concentration of MPs. Due to the non-degradability of MPs, the pollution caused by their residues in the environment cannot be ignored. Some have proposed replacing traditional MPs with degradable MPs, aiming to alter soil organic carbon decomposition through the priming effect. However, the priming effect induced by degradable MPs in the Three Gorges Reservoir remains uncertain. As research in the Three Gorges Reservoir area deepens, it has been discovered that MPs are also present in the hydro-fluctuation belt of the reservoir. The response of MPs to the soil carbon pool in the hydro-fluctuation belt of the Three Gorges Reservoir requires further investigation.

[Key words] degradable MPs; soil organic carbon; priming effect; soil carbon storage; carbon dioxide

引言

微塑料污染已成为人们日益关注的问题。微塑料(MPs)是直径小于5mm的塑料颗粒^[1]。微塑料已被广泛应用于农业、医学及食品生产等领域,微塑料是全球许多地区土壤和陆地生态系统中普遍存在的污染物^[2]。微塑料主要来源于两方面:一是大块塑料垃圾在自然环境中经过风化、光降解等过程逐渐破碎形成;二是一些工业品中直接使用的微塑料颗粒,如化妆品中的磨砂粒子、洗涤剂中的去污颗粒等^[3]。根据微塑料的可降解性,微塑料被分为可降解微塑料和传统微塑料。生物可降解微塑料是指可被微生物降解的塑料,其主要来源于农业生产和畜牧业中的光降解塑料和生物塑料。传统微塑料不能被分解,生活中各种各样的塑料暴

露在自然环境中被风吹日晒,虽然不能被完全降解,但是也在逐渐变小,变成了比颗粒还小的微塑料。它们对土壤的影响还是不同的。生物降解的生物塑料会随着时间和空间的迁移而消失,但不可生物降解的微塑料则会严重危害土壤。已有文献显示可降解生物微塑料可替代传统(石油基)不可降解塑料^[4]。在实践中,生物塑料降解后必然会生成大量的生物微塑料。研究表明,生物微塑料短期内(几天到几个月)可能不会对农业生态系统功能构成显著威胁,因此,或许能为环境友好提供切实可行的解决方案,在农业生态系统取代传统非生物降解塑料^[4]。随着塑料制品的广泛使用,塑料污染已成为全球性环境问题。尤其是微塑料(粒径<5mm)的存在,通过各种途径进入土壤,可能对土壤环境产生深远的影

响^[5]。微塑料不仅是一个简单的物理污染物,还可能通过复杂的化学和生物机制影响土壤生态系统功能,微塑料进入土壤后,其化学性质、物理性质以及生物降解特性将影响其在土壤中的分布、迁移和最终归宿^[6]。微塑料颗粒的存在会改变土壤的孔隙结构、水力特性以及营养物质的供应,进而影响土壤的整体健康状况^[7]。因此,关于可降解微塑料对土壤影响较小的说法是模糊的。

1 三峡水库消落带

三峡大坝是世界上最大的水电设施,也是长江流域最重要的水利工程。三峡水库区域的季节性水位调节形成了一个特殊的区域,称为消落带。这一特殊区域引起了当地环境科学家的广泛关注。三峡水库水位的升降与自然干湿季节的水位变化相反。在夏季,当降水量较大且水位较低时,污染物被冲入接收河流的机会较大。消落带在拦截和运输周边环境中的污染物方面可以发挥重要作用。“消落带”这一概念日益受到社会关注。由于其自身的复杂性和多样性,人类对其研究也变得越来越深入。消落带位于水生和陆生生态系统的过渡区,水坝和水库的建设导致了大面积自然河岸带的淹没,水位的周期性波动以及人为控制的强烈影响。1990年代,随着三峡大坝的建成,水库的运行引发了水库区域水位的变化,形成了水库两岸的特殊生态环境区域,这是一个生态环境脆弱的敏感区域。由于各种环境效应和显著的外部影响,消落带形成了不同的地形,如陡峭地形、喀斯特发育和深谷地貌^[8-10]。

由于三峡水库蓄水所引起的季节性水位波动,城市内湖面面临着水环境污染、水生物种消失或濒危、以及土地利用模式变化等问题。沿岸带植被群落特征和物种多样性的研究,一直是植物生态学和生态恢复学中的热门话题。消落带生态系统在水生生态系统中发挥着重要作用,主要体现在其生态功能上,例如:稳定坡岸、净化水质、改善景观、提供栖息地和保护生物多样性等。我们有义务保护消落带环境不受威胁。

2 微塑料进入消落带

微塑料(MPs)往往倾向于在消落带区域积累^[11]。当降水发生时,微塑料可能从垃圾堆积区转移到较低海拔的区域(即消落带)。当水位较低时,消落带将成为微塑料的积聚点;而当水位较高时,消落带则可能成为塑料的潜在来源,水动力条件可能导致微塑料从水环境迁移到消落带。塑料制品因其方便、价格低廉、轻便且耐用而被广泛使用。降解是应对塑料污染的有效方法。从2020年7月3日起,《农业薄膜管理办法》明确规定,鼓励和支持生产和使用全降解农业薄膜。可降解塑料农业薄膜能够有效解决中国农田中塑料薄膜残留的问题。可降解塑料薄膜的最终降解产物是二氧化碳和水,能够从源头控制塑料薄膜污染,并确保作物的产量,因此能够兼顾环境保护与经济效益^[12]。

3 微塑料对消落带的影响

微塑料污染可能影响消落带土壤的物理和化学特性。研究表明,微塑料可能抑制土壤中的碳、氮、磷等元素的活性^[13],威胁土壤肥力和植物生产力^[14],导致营养物质的流失,还可能破坏土壤结构的完整性或破坏土壤表面^[15]。微塑料污染还可能加剧消落带的土壤侵蚀,土壤侵蚀是微塑料从农业到水生生态系

统传播的途径^[16],进而导致农业和水体的污染。不同种类微塑料存在也可能促进温室气体的排放^[17],进一步导致全球气候变化。微塑料污染对沿岸生态系统有着深远的影响,可能引发一系列生态问题,例如影响沿岸带原生动植物的生长、减少生物多样性以及严重的土壤侵蚀等。进入土壤后,微塑料通过改变土壤环境、与植物根系相互作用,甚至在植物体内迁移,从而影响植物的生长^[18]。这种影响不仅限于植物生长,还可能通过植物影响水体质量和生态系统健康。总的来说,微塑料污染在消落带的传播和积累,可能会加剧生态系统的退化,威胁植物、动物的生存环境,并对水体生态造成长期的负面影响。因此,减少微塑料污染并恢复消落带生态系统的功能显得尤为重要。

4 启动效应

向土壤中添加外来物质会加速原土壤有机碳的分解速率,从而减少土壤有机碳的含量。这种现象被称为激发效应^[19]。新鲜的碳输入可以通过激发效应刺激本地有机碳的分解,从而影响环境中的碳平衡^[20]。土壤有机碳库的微小变化可能对气候变化产生巨大影响。因此,在全球变暖的背景下,新的有机物质输入可能会影响气候变化与陆地碳循环之间的反馈关系。

4.1 微塑料通过激发效应影响土壤有机碳分解。传统的微塑料由于其不可降解的持久性,可能导致较小的激发效应,土壤相对稳定,不易被微生物分解,但仍然威胁到土壤碳储存。而可降解微塑料则可能产生显著的激发效应。张国豪^[21]等使用了三种可降解的微塑料(聚羟基脂肪酸盐、聚丁二酸酯和聚乳酸)进行实验。结果表明,可降解微塑料在三种农田土壤中显示出积极的激发效应,并且激发效应的强度取决于可降解微塑料的降解性。可降解微塑料最终会转化为二氧化碳、水和其他生物物质,这些物质进入土壤后,迅速增加激活碳的含量,促进r策略微生物的生长与繁殖,从而通过共代谢产生积极的激发效应,或通过优先利用产生负激发效应^[21]。一般认为,激发效应与外源物质的化学组成、数量以及土壤特性密切相关。微塑料在土壤中的状态作为外源有机碳,影响了土壤有机碳的分解。研究发现,不同种类的有机物、添加量、土壤类型等都会显著影响激发效应的方向和强度。微塑料通过改变土壤环境(如影响土壤微生物群落结构、土壤湿度和温度等)可能间接影响土壤有机碳的矿化过程。此外,微塑料表面的吸附物质可能与土壤有机质发生相互作用,进一步改变土壤的碳循环动态。目前,在三峡库区可降解微塑料诱导的激发效应的幅度和方向仍不确定,随着大家对三峡库区的研究越来越深入,发现存在大量微塑料,传统微塑料由于不可降解,当被评估为传统的微生物群落时,土壤中的净碳平衡始终保持正值且非常高。引入降解性微生物群落也能产生启动效应,进一步促进有机物的分解。抗降解性土壤有机碳比可降解土壤有机碳更稳定,并且可以维持较长时间。短期内,净碳平衡假设为正值,但随着可降解微塑料的耗竭,碳平衡趋向负值并保持稳定。土壤碳的过度输出使得可降解微塑料无法自行维持,导致负碳平衡。由于之前对碳的高估,土壤中的总碳将显著下降,而更多的温室气体被排放。因此,我们认为作为无氮有机化合物的可降解微塑料可能会诱导更多的温室气体的排放。微塑料在三峡库

区消落带中的响应,需要进一步进行研究,也有助于我们更加了解三峡库区过渡带的土壤生态情况。

4.2 环境影响。三峡水库区域地形起伏,气候垂直分异明显。中国气象局三峡地区的气候监测报告显示,水库区域具有亚热带湿润气候特点,如冬季温暖、春季早、夏季炎热、秋季多雨、霜冻较少、湿度大、云雾较多、风力较小。气候因素是影响三峡水库运行的最重要自然因素。干旱季节降水量少、流入量小会影响水库正常的发电和维持高水位;而汛期的暴雨和更多降水则增加了洪水风险。国家气候中心的首席专家周兵指出,三峡地区经历了干旱、洪水等气象灾害,同时温度和降水量增多。降水强度的增加对水库的运行和管理构成威胁。干旱的发生改变了水库区域的来水量,而降水波动也给水库的水量储存和发电带来了挑战,这可能促进激发效应并加速温室气体的排放。

5 结束语

关于三峡水库消落带的研究,主要集中在环境问题的成因、生态修复和重金属元素分析等方面。然而,关于微塑料对三峡水库消落带影响的研究较为缺乏。现有文献仅介绍了微塑料在三峡水库消落带的来源和分布。这意味着我们需要研究并更加关注微塑料对三峡水库消落带土壤有机碳分解的影响。在可预见的未来,我们尚无更好的方法来探讨微塑料对土壤碳稳定性的影响,而激发效应是一个可行的研究方向,可以帮助我们理解微塑料对土壤有机碳分解速率的影响及其敏感性。

[参考文献]

- [1] Wang, Q., X. Feng, et al., Effects of microplastics and carb on nanotubes on soil geochemical properties and bacterial communities. *Journal of Hazardous Materials*, 2022, 433: 128826.
- [2] Kim, S.W., S.W. Jeong and Y.J. An, Microplastics disrupt accurate soil organic carbon measurement based on chemical oxidation method. *Chemosphere*, 2021, 276: 130178.
- [3] Blasing, M. and W. Amelung, Plastics in soil: Analytical methods and possible sources. *Science of The Total Environment*, 2018, 612: 422–435.
- [4] Chu, J., J. Zhou, et al., Field application of biodegradable microplastics has no significant effect on plant and soil health in the short term. *Environ Pollut*, 2022, 316(Pt1): 120556.
- [5] Khan, I., M. Tariq, et al., Soil microplastics: Impacts on greenhouse gasses emissions, carbon cycling, microbial diversity, and soil characteristics. *Applied Soil Ecology*, 2024, 197: 105343.
- [6] Zhu, J., G. Dong, et al., Microplastics in the soil environment: Focusing on the sources, its transformation and change in morphology. *Science of The Total Environment*, 2023, 896: 165291.
- [7] Zhai, Y., J. Bai, et al., Microplastics in terrestrial ecosystem: Exploring the menace to the soil–plant–microbe interactions. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2024, 174: 117667.
- [8] Li, S., J. Cui and Y. Kang, Fractal Dimension Analysis Based Aging State Assessment of Insulating Paper with Surface

Microscopic Images. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 2022, 131(2).

- [9] Zhang, K., X. Wu, et al., The assessment of landslide susceptibility mapping using random forest and decision tree methods in the Three Gorges Reservoir area, China. *Environmental Earth Sciences*, 2017, 76(11): 405.
- [10] Miao, F., Y. Wu, et al., Weakening laws of slip zone soils during wetting–drying cycles based on fractal theory: a case study in the Three Gorges Reservoir (China). *Acta Geotechnica*, 2020, 15(7): 1909–1923.
- [11] Zhang, K., X. Chen, et al., The hydro–fluctuation belt of the Three Gorges Reservoir: Source or sink of microplastics in the water? *Environmental Pollution*, 2019, 248: 279–285.
- [12] Zhang, S., Z. Chen, et al., Photothermal–Management Agricultural Films toward Industrial Planting: Opportunities and Challenges. *Engineering*, 2023.
- [13] Zhou, J., H. Xu, et al., Effects of microplastics pollution on plant and soil phosphorus: A meta–analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 2024, 461: 132705.
- [14] Xiang, Y., J. Peñuelas, et al., Effects of microplastics exposure on soil inorganic nitrogen: A comprehensive synthesis. *Journal of Hazardous Materials*, 2023, 460: 132514.
- [15] Qiu, Y., S. Zhou, et al., Soil microplastic characteristics and the effects on soil properties and biota: A systematic review and meta–analysis. *Environmental Pollution*, 2022, 313: 120183.
- [16] Rehm, R., T. Zeyer, et al., Soil erosion as transport pathway of microplastic from agriculture soils to aquatic ecosystems. *Science of The Total Environment*, 2021, 795: 148774.
- [17] 王长远, 微塑料在长期施肥土壤中赋存及对温室气体排放的影响[D]: [硕士学位论文]. 江苏: 江苏大学, 2023.
- [18] 苏建红, 环境污染中微塑料对土壤植物的影响[J]. *农业灾害研究*, 2024, 14(8): 28–30.
- [19] Kuzyakov, Y., J. K. Friedel and K. Stahr, Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(11): 1485–1498.
- [20] El–Naggar, A., A. H. El–Naggar, et al., Biochar composition–dependent impacts on soil nutrient release, carbon mineralization, and potential environmental risk: A review. *Journal of Environmental Management*, 2019, 241: 458–467.
- [21] Zhang, G., D. Liu, et al., Priming effects induced by degradable microplastics in agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2023, 180.
- 作者简介:**
沙颖(2000—), 女, 汉族, 江苏南通人, 硕士, 研究方向: 环境生态与修复。