

# 有机质对针铁矿与纳米塑料颗粒间表界面反应的制约机制的实验研究

聂信，谢瑞茵，万泉\*

1. 中国科学院地球化学研究所，矿床地球化学国家重点实验室，生态环境与资源利用研究中心，贵阳 550081

纳米塑料（NPs）是一类直径小于 1000 nm 的新污染物，其不仅可以作为重金属、抗生素、病原体和持久性有机污染物等有毒有害物质的传播媒介，还可以通过食物链、呼吸和皮肤接触等途径进入生物体内并对生物体造成危害。纳米塑料在环境中无处不在，其对人类健康和生态系统的风险使其受到了广泛关注。纳米塑料与环境水体中普遍存在的有机质以及矿物之间的界面反应过程是影响纳米塑料在实际环境水体中迁移的重要过程。因此，阐明各类典型有机质对纳米塑料与矿物之间的表界面反应机制并查明关键影响因素对预测纳米塑料的迁移、沉积和生态风险具有重要意义。

本研究通过一系列的实验模拟、谱学分析以及微区原位观察等手段，系统地研究了不同有机大分子（腐殖质、多糖、蛋白质和核酸）和有机小分子（氨基酸、核糖和碱基）对羧基聚苯乙烯纳米塑料（COOH-PSNPs）和针铁矿在水环境中的表界面反应行为的影响和相关的制约机制。相关研究取得了如下认识：（1）正电荷的针铁矿与负电荷的纳米塑料通过静电作用形成异团聚体导致纳米塑料沉积。由于增强的静电斥力和空间位阻以及竞争性吸附，腐殖酸（HA）、海藻酸钠（SA）、牛血清白蛋白（BSA）均显著抑制了纳米塑料的沉积。抑制能力 SA 最强，其次是 HA 和 BSA，这与它们的表面电荷密度（SA > HA > BSA）以及结构密切相关。（2）随着 BSA 浓度的升高，由于增强了静电斥力、产生额外的空间位阻以及竞争结合位点，纳米塑料的沉积受到了显著抑制。蛋白质的抑制能力主要取决于其浓度而不是溶液 pH。除了高浓度的极酸性（天冬氨酸）和极碱性（赖氨酸和精氨酸）氨基酸会略微降低纳米塑料的沉积外，低浓度的 20 种氨基酸以及高浓度的其它 17 种氨基酸小分子基本不影响纳米塑料与针铁矿的异团聚沉积。蛋白质和氨基酸对纳米塑料稳定性贡献的巨大差异，主要与它们的结构、分子量以及表面电荷密度不同有关。（3）核酸显著抑制了纳米塑料和针铁矿的异团聚沉积，抑制程度与核酸的浓度相关。RNA 表面负电荷密度低于 DNA，导致 RNA 中和针铁矿表面正电荷的能力弱于 DNA，因此 DNA 抑制纳米塑料沉积的能力大于 RNA。不同的碱基和核糖等小分子对纳米塑料和针铁矿的异团聚沉积无显著影响。核酸与碱基和核糖对纳米塑料与针铁矿表界面反应的制约的巨大差异，与它们的结构、分子量及表面电荷密度相关。前述实验结果指示着在腐殖质、多糖、蛋白质和核酸等有机大分子含量高的水生环境中，纳米塑料与铁（氢）氧化物矿物之间的异团聚沉积减少而导致纳米塑料长距离迁移性增加，相关结果为理解有机质、铁（氢）氧化物矿物与纳米塑料颗粒三者共存的复杂体系中的相关表界面作用的耦合机制提供实验依据。

关键词：针铁矿；纳米塑料；有机质；沉积；表界面反应机制

基金项目：国家自然科学基金项目（41902041、41872046），贵州省科技项目（[2020]1Z039）

第一作者简介：聂信，男，38 岁，副研究员（博士），从事环境矿物学及纳米颗粒地球化学行为研究

通讯作者：万泉，男，研究员（博士），主要从事矿物学及纳米地球化学领域研究