



第三届新污染物治理研讨会

摘要集

2025年9月13日-14日 上海



目 录

Ni-MOF/BiOCIS 型光催化剂降解四环素	1
炼化企业地下水中全氟化合物检测方法构建和应用	2
基于结合硫标志物的轮胎磨损颗粒微塑料定量分析新方法	3
全球视角下土壤与地下水环境中 PFAS 的赋存、运移与归趋	4
基于 CRISPR 功能基因组学的全氟化合物毒性机制解析	5
城市水生生态系统新污染物的高通量筛查方法及应用研究	6
大流域烟碱类农药使用、流失及生态风险估算与评价技术	7
人工 PFAS 还是天然产物？羧酸类天然产物导致 C2-C5PFCA _s 浓度被高估	9
量化全氟化合物在中国的足迹：从生产到排放入海	10
基于两阶段信号分解方法和 LSTM 混合模型的中国珠江径流时间序列预测	11
铅锌矿区土壤铊(Tl)迁移释放特征及其原位修复技术	12
生物质炭驱动的水生修复：微生物调控和协同去除污染物途径的多模型解码	13
垃圾焚烧源 PM _{2.5} 中微塑料及塑料添加剂的排放特征、因子测算及环境贡献	14
生物膜对磺胺抗生素胁迫的响应机制研究	15
Hofmeister 效应与层层自组装纳滤膜：组装动力学与微污染物去除	16
三价锰配合物驱动微塑料老化机制及有机碳释放行为研究	17
珠江流域农业系统中新烟碱类杀虫剂的使用、排放、迁移及其对生态风险的影响研究	18
典型农业流域土壤中新烟碱类杀虫剂的污染特征与风险评估	19
新兴污染物液晶单体 (LCMs) 的环境分布、排放源、人体暴露途径与毒性效应	20
微塑料生态冕形成规律及其共迁移行为研究	21
多环境介质中微塑料分析方法的开发及其气候效应研究	22

Ni-MOF/BiOClS 型光催化剂降解四环素

姚春霞¹, 周佳欣¹, 唐慧玲², 张志洁²

(1.上海市农业科学院农产品质量标准与检测技术研究所, 上海 201403

2. 上海应用技术大学材料科学与工程学院, 上海 201418)

摘要: 采用水热法成功制备了二维(2D) BiOCl 纳米片, 并通过一系列表征方法证明了所合成的 BiOCl 具有结构稳定、纯度较高以及性能良好等特点。在 2DNi-MOF 纳米片表面堆叠 BiOCl 纳米片, 通过静电自组装成功构建了面对面接触的 Ni-MOF/BiOClS 型光催化剂。实验证明, Ni-MOF/BiOCl 异质结在紫外光照射下能有效降解四环素(TC)。尤其是最佳复合比例的 0.1Ni-MOF/BiOCl 表现出最优越的光催化性能, 降解 TC 的表观速率常数是单一 BiOCl 催化剂的 7.21 倍。此外, 不同的催化剂负载量、溶液的初始 pH 值以及反应温度也会影响 TC 的降解效率。能带结构分析、原位 XPS 光谱、光辅助 KPFM 以及 EIS 光谱表明, Ni-MOF/BiOCl 光催化活性的提高主要归因于 S 型异质结的成功构建所带来的载流子迁移增强和高氧化还原能力。ESR 测量结果表明, 羟基自由基($\cdot\text{OH}$)和超氧自由基($\cdot\text{O}_2^-$)是 TC 降解过程中的主要氧化物种。本研究为基于 S 型异质结的 2D/2D 结构光催化材料的开发提供了新的见解, 该材料在抗生素污染控制方面具有广阔的应用前景。

关键词: Ni-MOF/BiOCl; 光催化; S 型异质结

炼化企业地下水中全氟化合物检测方法 构建和应用

蔡婷¹, 唐智和¹, 顾涛¹, 许平², 马玉峰³

(1.中国石油安全环保技术研究院, 北京, 102206; 2.中国石油长庆油田, 西安, 710018;
3.中国石油克拉玛依石化, 克拉玛依, 834000)

摘要: 全氟化合物 (PFAS) 作为一类典型的新污染物, 因其持久性、生物累积性及潜在毒性已引发全球广泛关注。石油炼化企业生产活动中可能使用的泡沫灭火剂、表面处理剂等是地下水 PFAS 污染的重要潜在源。然而, 炼厂地下水基质复杂, 干扰物质繁多, 对 PFAS 的精准检测构成巨大挑战。本研究通过优化固相萃取 (SPE) 前处理流程, 结合超高效液相色谱-串联质谱 (UPLC-MS/MS) 分析技术, 建立了一种适用于炼厂地下水基质的高灵敏度 PFAS 检测方法。针对重金属和有机干扰物, 引入金属螯合剂有效络合游离态重金属, 降低了其对分析系统的干扰; 采用复合式固相萃取柱进一步净化样品, 并通过优化色谱条件 (乙酸铵-甲醇/水流动相体系与动态梯度洗脱程序), 实现了 18 种目标 PFAS 化合物的有效基线分离, 显著消除了同分异构体干扰。方法学验证结果显示, 该方法线性良好, 精密度 (RSD<20%)、回收率 (70%–120%) 符合痕量分析要求, 方法检出限低至 0.27ng/L。应用本方法对某典型炼厂区地下水样品进行分析, 成功定量包括全氟辛酸 (PFOA) 和全氟辛烷磺酸 (PFOS) 在内的十余种 PFAS 同系物, 初步揭示了该区域 PFAS 的污染分布特征与组成谱图。本研究建立的方法稳健、准确, 可为炼厂区地下水 PFAS 污染监测、风险评估与污染防控提供关键技术支持与科学依据。

关键词: 全氟化合物 (PFAS); 地下水; 炼化企业

基金项目: 中国石油基础科学和战略储备技术研究基金项目(No.2023DQ03-A2)和中国石油安全环保技术研究院科学研究与技术开发项目(No.RISE2024KY8)

基于结合硫标志物的轮胎磨损颗粒微塑料 定量分析新方法

吴传东*, 任轶凡
(北京科技大学, 北京, 100083)

摘要: 近年来, 微塑料作为一类新污染物受到广泛的研究关注。轮胎磨损颗粒 (TWP) 是微塑料污染最主要的类型之一, 约占微塑料污染排放的三分之一。TWP 是机动车行驶过程中, 轮胎与路面摩擦产生的胎面和路面材料的混合物颗粒, 粒径在亚微米到数百微米之间, 从道路源头产生后, 会随着大气扩散、雨水径流、机械传播等方式进入水-土-气-生系统, 危害环境和人体健康, 然而目前文献中关于 TWP 质量浓度的准确定量的研究仍十分有限。

本研究建立了一种以结合硫为标志物, 以电感耦合等离子体质谱 (ICP-MS/MS) 为检测仪器的新的 TWP 定量分析方法, 对 TWP 的检出限 (LOD) 和定量限 (LOQ) 分别为 $0.034\mu\text{g/g}$ 和 $0.11\mu\text{g/g}$, 方法的回收率范围为 $91\pm 2\% \sim 104\pm 3\%$ 。将所建立的方法与文献方法对比发现, 以结合硫为标志物的方法的回收率 (102-107%) 优于以橡胶 (86-123%)、苯并噻唑 (93-140%) 及有机锌 (52-73%) 为标志物的定量方法的回收率 (图 1 左)。而且, 以结合硫为标志物的定量方法的 TWP 的检出限为 $0.034\mu\text{g/g}$, 远低于有机锌 ($3.88\mu\text{g/g}$) 和苯并噻唑 ($274\mu\text{g/g}$) 方法的检出限。

采用上述建立的 TWP 定量分析方法, 测定了北京二环-五环的 4 条环路, 以及永定河引水渠、凉水河中道路灰尘、道路积雪、河水、底泥 4 种介质 74 个样品中 TWP 的质量浓度。在此基础上, 结合北京市的道路交通参数、河流水文信息、道路清扫率等参数, 计算得出 TWP 的源头释放量以及在不同介质间的传输通量 (图 1 右)。结果表明, 北京市道路上 TWP 的总释放量为 $1.28 \times 10^4 \text{t/a}$, 其中 8.7% 会通过空气传播并通过大气传输到偏远的陆地和海洋中, 进入淡水系统的 TWP 的比例为 11.9%。另一方面, 滞留在路边的 TWP 的比例为 18.1%, 远低于之前报道的比例, 这可能是由于北京市的道路清扫清除率较高, 致使更多的 TWP (61.3%) 能够被有组织收集到填埋场。

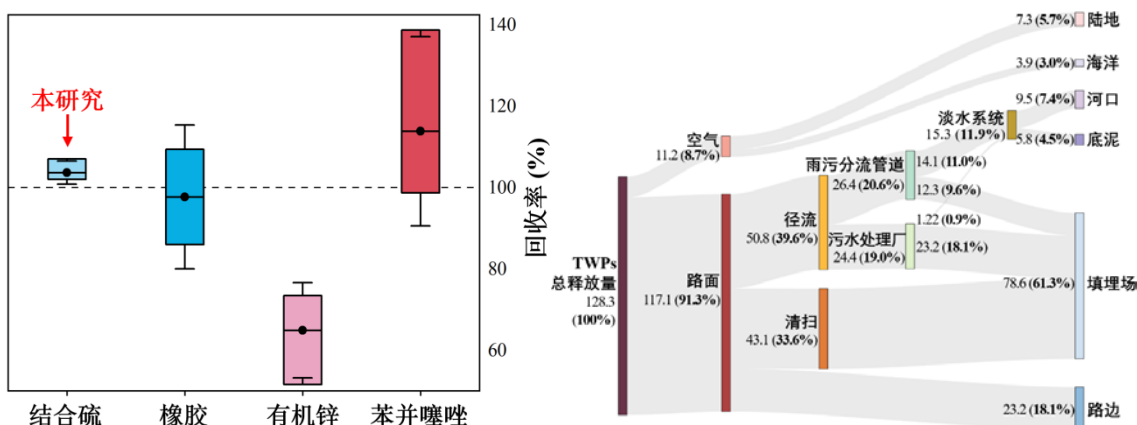


图 左: 以结合硫为标志物的 TWP 定量方法的回收率与文献方法对比; 右: 北京市道路-河流环境中 TWP 的释放与跨介质迁移模式 (单位: 10^4t/a)

关键词: 轮胎磨损颗粒, 微塑料, 定量分析方法, 跨介质迁移

全球视角下土壤与地下水环境中 PFAS 的赋存、运移与归趋

侯宇

(成都理工大学, 成都, 610059)

摘要: 全氟和多氟烷基物质 (PFAS) 是一类新污染物, 因其化学稳定性、环境持久性和生物毒性而受到广泛关注。本报告综述了土壤-地下水系统中 PFAS 的赋存特征、迁移机制及其环境归趋行为。结果显示, 短链 PFAS (如 PFOA) 在浅层土壤和地下水中占主导, 而长链 PFAS (如 PFOS) 则更多积累于深层含水层。PFAS 的迁移受到土壤介质类型、界面吸附、毛细管效应以及水化学条件的多重影响, 展现出明显的空间异质性和垂直分布规律。此外, 非饱和带对 PFAS 的赋存和迁移具有显著影响, 固-水界面、气-水界面以及液-液界面的吸附和扩散是驱动 PFAS 运移的关键过程。报告还表明, 土壤有机质、矿物胶体和界面反应在 PFAS 的赋存和迁移中扮演了重要角色。通过模型预测和实验验证, 深入探讨了 PFAS 的宏观分布规律与微观作用机制。本报告提出了未来 PFAS 污染治理的重点方向, 包括非饱和带过程的深入研究和新型治理技术的开发, 以提高对 PFAS 环境行为的理解。

关键词: 全氟化合物 (PFAS); 土壤-地下水系统; 新污染物; 环境持久性; 迁移机制; 界面吸附

基于 CRISPR 功能基因组学的全氟化合物 毒性机制解析

田明明^{1,2}, 张效伟^{2,*}

1.大连海事大学环境科学与工程学院, 大连, 116026;

2.云南大学生态与环境学院, 昆明, 650500)

摘要: 全氟化合物的免疫细胞毒性对于其致癌风险具有重要意义。然而, 全氟化合物的免疫细胞毒性与肿瘤细胞转移的机制关联尚不清楚。在此, 我们开发了一种基于肿瘤细胞侵袭的新型 CRISPR 功能基因组学技术, 通过与免疫细胞功能基因组学结合, 揭示了介导 PFOA 和 PFOS 诱导免疫细胞毒性的关键基因和生物学通路, 这些关键分子机制同时在引发乳腺癌细胞侵袭和迁移的过程中发挥重要作用。本研究所揭示的生物学机制为开展针对全氟化合物的环境健康风险评估和防控提供了机制依据, 同时, 为功能基因组学技术在新污染物毒性机制研究中的应用提供了范例。

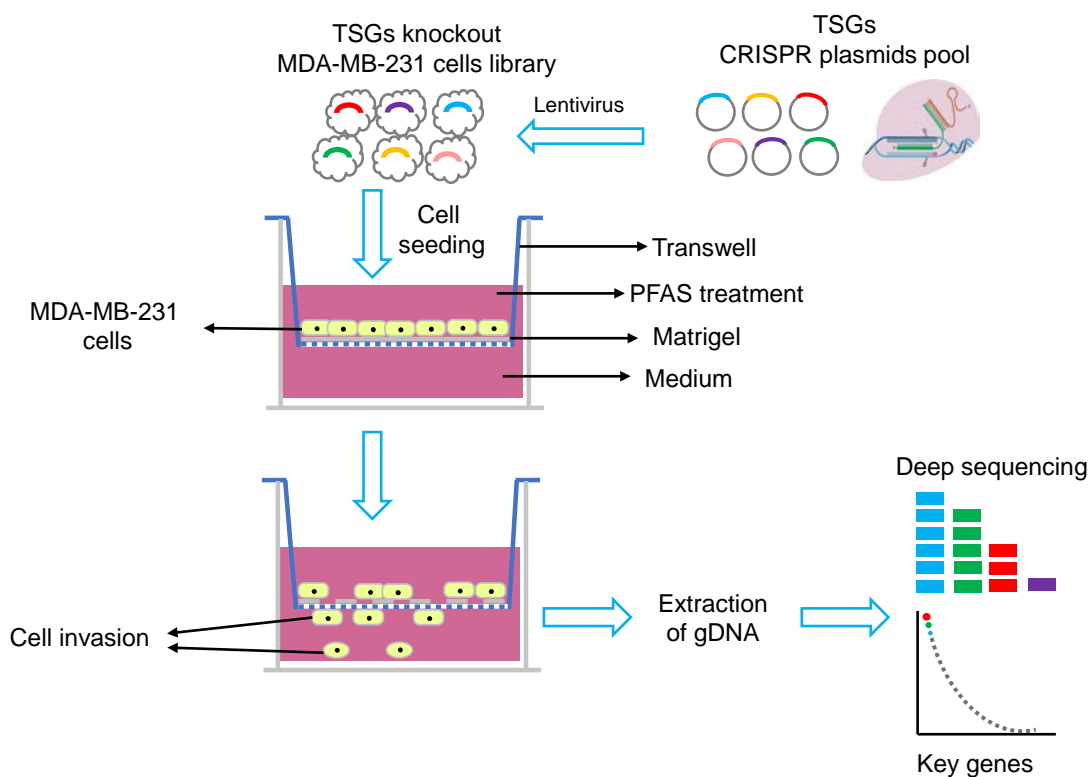


图 基于乳腺癌细胞侵袭的 CRISPR 功能基因组学技术示意图

关键词: 全氟化合物; 免疫细胞毒性; 肿瘤细胞转移; 功能基因组学

基金项目: 国家自然科学基金 (No.42307365)

城市水生生态系统新污染物的高通量筛查 方法及应用研究

郭添荣, 悦清楠, 侯宇

(成都理工大学环境与土木工程学院, 成都, 610000)

摘要: 针对超大城市水生生态系统中新污染物监测的技术瓶颈, 本研究聚焦激素干扰物 (HDCs) 与抗生素 (ABx), 开发了系统的高通量筛查方法并开展应用评估。研究基于超高效液相色谱串联高分辨质谱 (UHPLC-Q-Orbitrap) 技术, 创新性地建立了高效的高通量样品前处理方法, 并构建了适配的自建电子身份数据库 (涵盖 86 种 HDCs 和 76 种 ABx), 形成可靠的疑似筛查识别策略。该方法首次在典型超大城市水生环境中得到验证应用。研究结果显示, 在涵盖多条河流与湖泊的 409 份多介质样本 (水体、沉积物、悬浮物及水产食品) 中, HDCs 阳性检出率为 17.85%, 共计检出 24 种 HDCs; ABx 共检出 37 种。空间分布上, HDCs 与 ABx 污染均呈现从上游至下游递增趋势; 时间分布上, HDCs 浓度在春夏季节显著升高。基质差异分析表明, 雌激素类 HDCs 在所有环境介质中普遍检出, 糖皮质激素在水体、沉积物及悬浮物中浓度突出; ABx 在水环境中的污染程度及检出种类显著高于水产食品, 其中蛙类体内 ABx 富集水平最高。污染源解析识别出生活污水、制药废水和养殖废水是主要来源, 并确定己烯雌酚、喷布洛尔、醋酸可的松以及蛙类富集 ABx 为优先控制目标。本研究建立的高通量筛查方法性能可靠, 为全面解析超大城市水生生态系统新污染物 (HDCs 与 ABx) 的赋存特征、时空分布规律、生态风险评价及多介质迁移关联提供了关键技术支撑, 对全球城市新污染物的风险评估与管理具有重要实践意义。

关键词: 内分泌干扰物; 抗生素; 高通量筛查; 时空分布; 源解析; 生态风险评价

大流域烟碱类农药使用、流失及生态风险 估算与评价技术

马献昆, 张芊芊, 应光国等

(华南师范大学环境研究院、广东省化学品污染与环境安全重点实验室、环境理论化学教育部重点实验室, 广东广州, 510006)

摘要: 新烟碱类杀虫剂 (NNs) 在农业中的使用日益普遍, 但是由于雨水冲刷会导致其流失进入河流等水体中, 这可能对接收河流中的水生生物构成严重的威胁。然而, 目前尚无研究探讨 NNs 从施用、传输到河流流域内受体整个过程的机制。

本研究采用建模的方法估算了中国洞庭湖流域 NNs 的使用量及流失量, 并评估了 NNs 相关的水生生态风险。研究数据显示, 该流域九种 NNs 的年使用量达 1895 吨, 其中城郊地区为主要使用者。

在我们进一步利用 13 年水文数据及实地测得的 NNs 浓度数据, 并对 SWAT 模型进行了校准与验证之后进行了模拟。根据模拟显示, 整个流域内的 NNs 的年总流失量为 121 吨, 其中 94 吨排入洞庭湖。湖泊流域内观察到明显的月际变化, 具体表现为夏季 NNs 浓度相对较高。此外, 生态风险评估结果显示, NNs 对整个流域约 11.2% 的河段水生生物构成显著风险。

本研究强调了洞庭湖流域 NNs 流失的严重性, 并强调需高度重视其对水生生物的潜在风险。

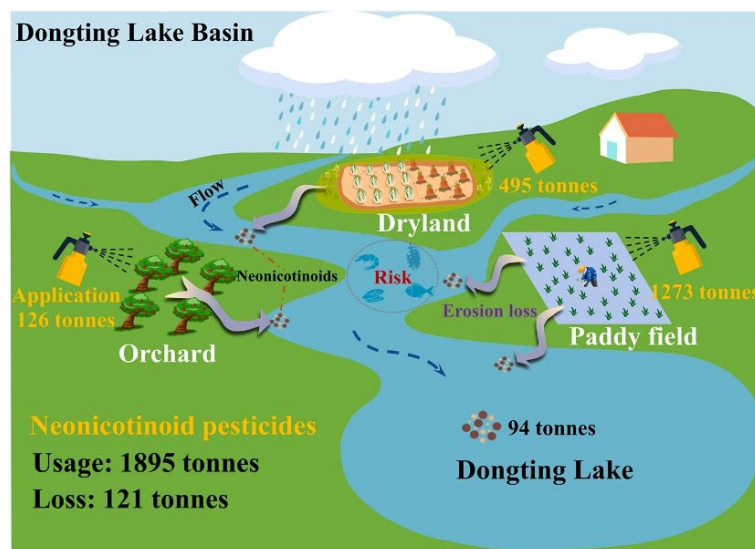
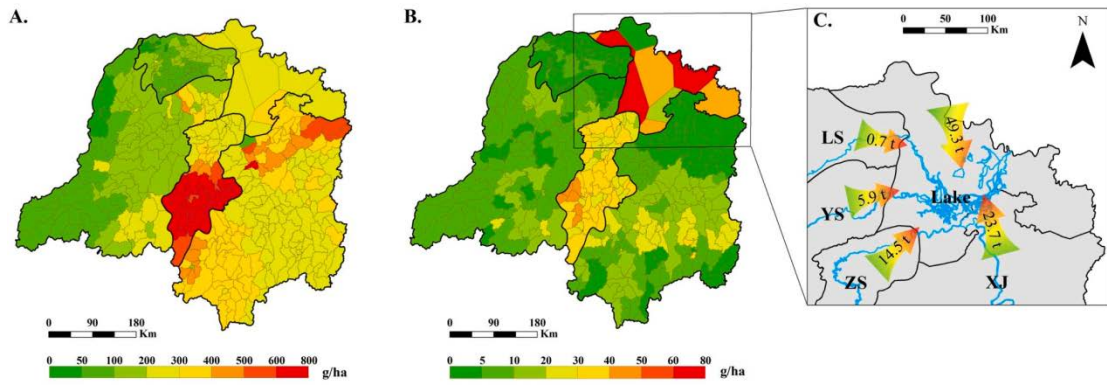


Figure1 洞庭湖流域 NNs 的施用及传输示意图



Map1 五个子流域 NNs 的估计使用量 (A) 和损失量 (B) 以及对洞庭湖的排放贡献 (C)

关键词: 新烟碱类农药; SWAT 模型; 流域迁移; 生态风险

基金项目: 国家自然科学基金 (No. U22A20604 和 No. 42030703)、广东省杰出青年自然科学基金 (No. 2022B1515020088)

人工 PFAS 还是天然产物?

羧酸类天然产物导致 C2-C5PFCAs 浓度被高估

潘知乐^{1,2}, 李少阳^{1,2}, 许楠^{1*}

(1.北京大学深圳研究生院, 深圳, 518000;

2.北京大学环境科学与工程学院, 北京, 100080)

摘要: C2-C5 全氟烷基羧酸 (PFCAs) 日益升高的环境浓度引起了全球关注。然而, 已有文献报道, 分析干扰可能会导致 PFCAs 的浓度被高估。到目前为止, 关于 PFAS 干扰物的研究非常有限, 现有研究中发现的干扰物的结构和来源仍不清楚。另外, PFAS 干扰物的发现主要集中在生物样品中, 而它们在污水、地下水、地表水和土壤等其他环境基质中的分布和赋存情况仍需进一步研究。最近, 我们发现在低分辨率质谱中, 由于相近的保留时间和离子对质量, γ -羧乙基-羟基色满 (γ -CEHC, 一种人类代谢物) 导致全氟戊酸 (PFPeA) 的浓度被高估了 454 倍。基于上述干扰机制, 我们开发了一种半靶向筛查方法来筛查地表水、地下水、污水、土壤、鱼类和人类血清样本中可能存在的所有干扰物。最终共筛查出 9 种干扰物, 它们导致 C2-C5PFCAs 的浓度被高估 2.18-454 倍。通过筛查 289 个人体血清样本表明, 大部分干扰物被确认为来自人体代谢的羧酸类天然产物。将流动相调为酸性或使用五氟苯基 (PFP) 色谱柱可以避免干扰。对来自全球 41 项研究和公共数据库进行的回顾性筛查揭示了分析干扰物在全球样品中的普遍存在。这项研究强调了重新评估环境中 C2-C5PFCAs 浓度、迁移转化和生物累积特性的必要性, 以便正确理解它们的环境影响。

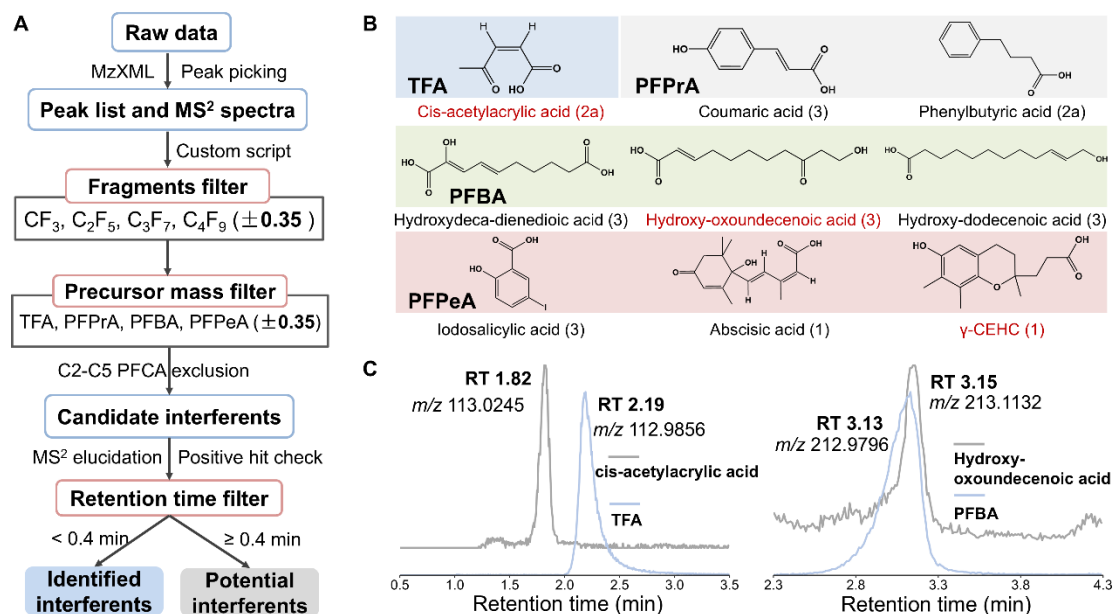


图 (A) C2-C5PFCAs 分析干扰物的半靶向筛查流程; (B) 鉴定出的 9 种置信等级 > 3 干扰物的结构; 标红名称为已识别干扰物 (与 PFCAs 保留时间差异 < 0.4 min); (C) TFA 和 PFBA 与其干扰物的保留时间对比

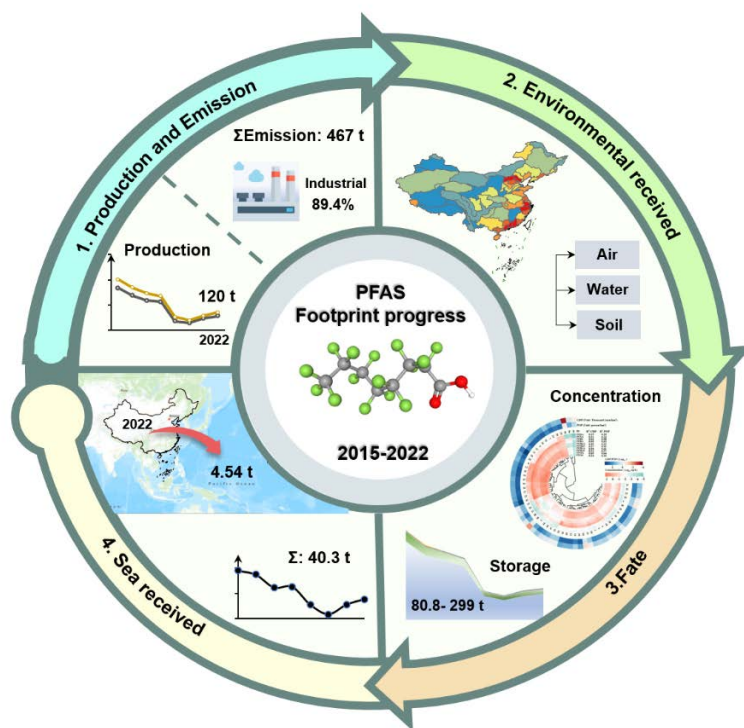
(Panet.al, *Environmental Science & Technology*, 2025)

关键词: PFAS; C2-C5PFCAs, 天然产物; 分析干扰; 半靶向筛查; 浓度高估

量化全氟化合物在中国的足迹：从生产到排放入海

蔡雅雅，张芊芊，应光国
(华南师范大学环境学院，广州，510006)

摘要：了解全氟化合物（PFAS）的排放源和环境足迹对于追踪其在环境中的普遍存在至关重要。本研究旨在全面评估中国 10 种常见 PFAS 从工业生产到最终释放到海洋的排放足迹。2022 年中国生产了 120 吨目标 PFAS，其中 104 吨用于二次工业生产，1/3 应用的 PFAS 会排放到环境中，工业产品加工占 89.4%。家庭使用会导致 4.21 吨 PFAS 的排放，其中 50% 通过污水处理厂排放。PFAS 的总排放量有 57.6% 被河水接收，最后约 11.4% 流入中国周边海域。2015-2022 年期间，中国 PFAS 累计排放量为 467 吨，在此期间，40.3 吨的 PFAS 通过河流排放到邻近海域，其中渤海和东海几乎占总量的 3/4。值得关注的是，PFAS 排放和污染水平的空间分布与中国地形的三级阶梯线一致，经济和地形因素对 PFAS 进入海洋的足迹过程和运输模式的交互作用最强。这项研究追踪并量化了从生产到排放入海的主要 PFAS 排放途径，强调了有针对性的干预措施的必要性，旨在减少 PFAS 的排放并保护生态系统。



关键词：全氟化合物；足迹；排放量；环境储量；中国

基于两阶段信号分解方法和 LSTM 混合模型的中国珠江径流时间序列预测

郭昭, 张芊芊, 李楠, 翟郢秋, 滕文焘, 刘双双, 应光国
(华南师范大学环境学院, 广州, 510000)

摘要: 水文径流预测对于水资源管理至关重要。非线性和非平稳的径流系列以及大尺度流域的复杂水文特征使其难以预测。长短期记忆 (LSTM) 对径流预测有效, 但对大尺度流域不稳定。本文建立了小波变换 (WT) 结合自适应噪声全集成经验模态分解 (CEEMDAN)、变分模态分解 (VMD) 和局部均值分解 (LMD) 3 种混合模型, 以预测中国珠江的日径流。结果表明, CEEMDAN 在径流系列预处理中具有更广泛的信号分解适用性, 而 VMD 更易于提取高径流特征。VMD-WT-LSTM 适用于预测高径流和中径流, 而 CEEMDAN-WT-LSTM 更适用于低径流和低剧烈波动的高径流和中径流。这些混合模型对 NSE 和 R^2 指标提供了令人满意的预测, 97.2% 的指标在高径流预测的可接受范围内。杂交模型在高径流方面优于传统模型和独立模型, 但本研究中没有一种分解方法能够识别出低径流子序列。本研究提供了需要较少数据和处理时间的径流预测方法, 这些方法是大尺度流域日径流预测的有前景的替代方案。

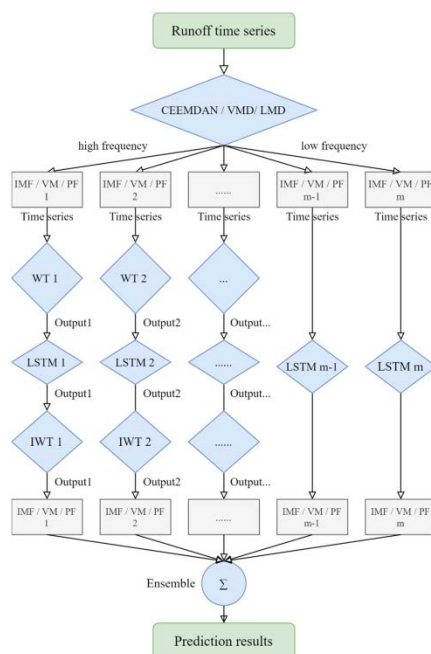


图 所提出的混合模型的结构

关键词: 大尺度流域; LSTM; 信号分解; 时间序列径流预测; 小波变换

铅锌矿区土壤铊(Tl)迁移释放特征及其原位修复技术

余江

(四川大学, 成都, 610065)

摘要: 铊(Tl), 作为自然界中一种剧毒微量元素, 其生物毒性显著高于镉(Cd)、铅(Pb)、铬(Cr)等常规重金属, 已成为我国重点防控新污染物。铅锌工业活动是我国重金属污染的重要来源, 其开采及冶炼过程产生的含铊工业介质(Thallium-bearing Industrial Materials, TIMs)因长期露天堆存, 导致铊(Tl)持续向环境释放, 威胁区域生态环境安全。本研究以四川攀西地区典型铅锌矿开采冶炼区及周边农用地土壤为研究对象, 构建“多尺度表征—动态模拟—原位监测”的技术耦合体系, 系统解析 Tl 在采选冶过程以及土壤-植物系统中的迁移路径及赋存形态, 探讨关键环境因子对 TIMs 中 Tl 释放的影响, 基于薄膜扩散梯度技术(DGT)和扩散梯度诱导通量模型(DIFS), 量化土壤中生物有效 Tl 原位分布特征及吸附-解吸动力学参数, 并基于粘土水钠锰矿对 Tl(I)具有较高吸附亲和力的特性, 对污染土壤开展稳定化修复研究及健康风险评估, 为 TIMs 风险管控和 Tl 污染修复提供理论支撑。

关键词: 铅锌矿; 含铊工业介质; 迁移与分布; DGT 和 DIFS; 稳定化技术

生物质炭驱动的水生修复：微生物调控和 协同去除污染物途径的多模型解码

陶贻亮¹ 张野¹ 黄天寅^{1,2} 吴兵党^{1,2,*}

(1. 苏州科技大学环境科学与工程学院, 江苏苏州 215009;

2. 江苏省水韧性城市工程技术研究中心, 江苏苏州 215009)

摘要: 本研究系统地评估了生物质衍生生物炭在河道原位修复中的作用, 采用多模型框架阐明了生物炭在水质改善和微生物调节中的双重作用。在小横港河(中国苏州)进行的现场实验整合了熵权-TOPSIS 模型和结构方程模型, 前者用于量化生物炭的污染物去除效率, 后者用于分析季节性微生物动态。结果表明, 生物炭的多孔结构促进了微生物的定殖, 显著丰富了功能类群(Dechloromonas: 从 20.13% 到 50.15%; Halomonas: 从 7.13% 到 18.55%) 并提高了其代谢活性。协同吸附污染物为微生物介导的脱氮除磷创造了最佳条件, 实现了 COD (88%)、TP (80.16%) 和 NH₄⁺-N (90.4%) 的显著去除率。结构方程分析表明, 生物炭对沉积物修复产生了主要影响, 从而改善了上覆水质(V 类至 III 类), 减少了沉积物污染(中度至清洁)。多模型验证表明, 通过生物膜相关类群的微生物调节是修复的主要驱动力, 曼特尔交互式分析也证明了这一点。这些结果凸显了生物炭诱导的物理化学改变与微生物群落重组之间的机理联系。

关键词: 生物质炭; 黑臭水体; 原位修复; 熵权-TOPSIS 模型; 结构方程模型

基金项目: 国家自然科学基金(52070137), 姑苏创新创业领军人才计划(ZXL2022500)

垃圾焚烧源 PM_{2.5}中微塑料及塑料添加剂的 排放特征、因子测算及环境贡献

王彦婷, 陈梓樱, 李庆

(复旦大学环境科学与工程系, 上海, 200433)

摘要: 大气 PM_{2.5}污染对全球健康构成严重威胁, 其复杂组分中的微纳米塑料 (NMPs) 及塑料相关化合物日益成为关注焦点。焚烧是处理大量塑料废物的主要方式, 包括低效的散烧和高效的工业焚烧。两者均是大气中 NMPs 及塑料相关化合物的潜在排放源。目前, 对垃圾焚烧源排放至大气 PM_{2.5}中的 NMPs 及塑料相关化合物的研究较少, 缺乏基于实测的排放因子及两种源排放谱图的系统对比。本研究通过现场采样, 结合热裂解气相色谱质谱法 (TD/Py-GC-MS) 定量了垃圾焚烧电厂与散烧排放的 PM_{2.5}中的 7 种常见的 NMPs, 并使用全二维气相色谱飞行时间质谱 (GCxGC-TofMS) 对塑料相关的化合物 (包括塑化剂、低聚物和裂解产物等) 进行全面筛查。由于燃烧效率低下, 散烧排放的 PM_{2.5}中的 NMPs 和塑料相关化合物含量显著高于垃圾焚烧电厂。最后, 研究计算了这两种源的 NMPs 排放因子, 结合 PM_{2.5}工业源的排放清单, 量化垃圾焚烧源对中国大气 PM_{2.5}中 NMPs 及添加剂的贡献。该研究为精准控制大气微纳米塑料污染提供了关键科学数据和政策指导。

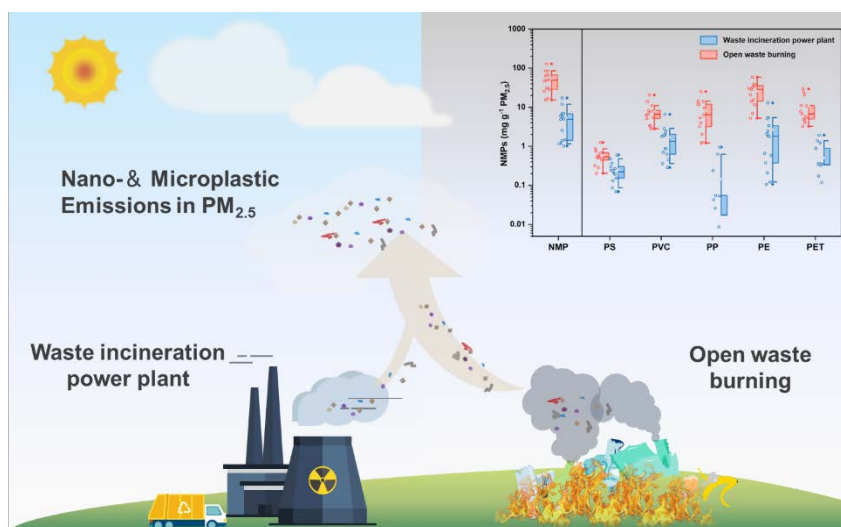


图 两种垃圾焚烧源微纳米塑料 (NMPs) 排放对比

关键词: PM_{2.5}; 大气微塑料; 典型工业源排放; 精准防控

生物膜对磺胺类抗生素胁迫的响应机制研究

李良玉, 颜昌宙

(中国科学院城市环境研究所, 区域与城市生态安全全国重点实验室, 厦门, 361021)

摘要: 生物膜作为水环境中抗性基因 (ARGs) 的重要储存库, 为 ARGs 的水平转移提供了有利的微环境。抗生素作为优先控制的新兴污染物, 一旦进入水环境, 会重塑生物膜结构, 调控 EPS 分泌和群落组成, 并加速 ARGs 的富集与传播。本研究以自然水体生物膜为研究对象, 选取不同类型的磺胺类抗生素 (SAs) 作为目标污染物。采用光谱学技术与宏基因组分箱技术相结合的手段, 探讨了水生生物膜对单一和复合 SAs 胁迫的响应, 重点关注生物膜 EPS 的响应模式, 微生物群落的动态变化以及 ARG 的传播机制。结果表明, 不同 SAs 的长期暴露抑制了生物膜生长的 0.8%-39.7%, 并诱发氧化应激。EPS 在抗生素胁迫下呈现“由内而外”防御模式, 低浓度 SAs 的暴露优先促进多糖响应和紧密结合 TB-EPS 分泌, 高浓度 SAs 的暴露则驱动蛋白质分泌和可溶性 S-EPS 形成。同时, SAs 暴露降低了生物膜群落多样性, 使其遵循污染诱导的群落耐受性 (PICT) 模式, 并主要受随机过程调控 ($R^2 > 0.6$)。复合高浓度 SAs 暴露促使生物膜中 *sul1*、*sul2* 和 *gols* 分别增加 6.0、2.49 和 2.88 倍。机制分析显示, SAs 通过 ROS 积累、SOS 反应、群体感应、鞭毛合成及 EPS 分泌协同促进了整合子 (int) 介导的水平基因转移, 加速了 ARGs 的传播。此外, 宏基因组分箱结果表明, *Serpentinomonas* 为生物膜的主导菌属, 而 *Labilithrix* 则为核心生态功能菌属。

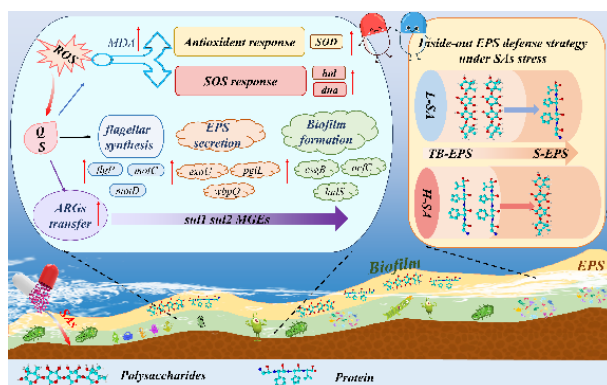


图 生物膜对磺胺类抗生素的响应机制图

关键词: 生物膜; 胞外聚合物; 抗生素; 抗性基因

基金项目: 国家重点研发计划 (编号2022YF1301304)

Hofmeister 效应与层层自组装纳滤膜：组装动力学与微污染物去除

袁泉^{1,2}, 陈佳瑞^{1,3}, 何涛^{1,*}

(1.膜材料与分离技术实验室, 中国科学院上海高等研究院, 上海, 201210;

(2.中国科学院大学, 北京, 100049;

(3.化学与环境工程学院, 宁波诺丁汉大学, 宁波, 315100)

摘要: Hofmeister 效应根据离子对大分子沉淀能力的强弱程度将阴离子和阳离子分别排序。处于序列右侧的 chaotropic 离子无法有效组织周围的水分子, 引起水体结构的混乱; 序列左侧的 kosmotropic 离子则能够稳定水体结构。这一特性对聚电解质 (PE) 组装影响显著。本研究采用聚苯乙烯磺酸钠 (PSS) 和聚二甲基二烯丙基氯化铵 (PDADMAC) 制备聚电解质多层膜 (PEMs), 研究了不同的单价阴离子背景盐 (NaF、NaAc、NaCl、NaBr、NaNO₃) 对层层自组装纳滤 (LBL NF) 膜组装过程、物化性质以及对无机离子和有机微污染物去除性能的影响。

由 chaotropic 阴离子 (NaBr、NaNO₃) 制备的 LBL NF 膜具有较窄的孔径分布, 渗透性能较低, 且分离层整体中性偏荷正电; 仅需较少的涂层层数即可达到 MgSO₄ 截留的平台值, 这与其较快的 PE 吸附和更厚的涂层有关。动态光散射 (DLS) 结果显示, 溶液中 PE 的扩散系数显著高于位点扩散系数, 说明 PE 的快速吸附主要归因于更快的位点扩散。椭圆仪硅片厚度分析表明, chaotropic 阴离子对 PDADMAC 的吸附促进作用强于 PSS, 这解释了膜整体电荷的差异。采用 chaotropic 阴离子制备的 LBL NF 膜在去除药用及个人护理产品 (PPCPs) 及全氟和多氟烷基物质 (PFASs) 方面表现出更好的性能, 强调了尺寸筛分的重要性。

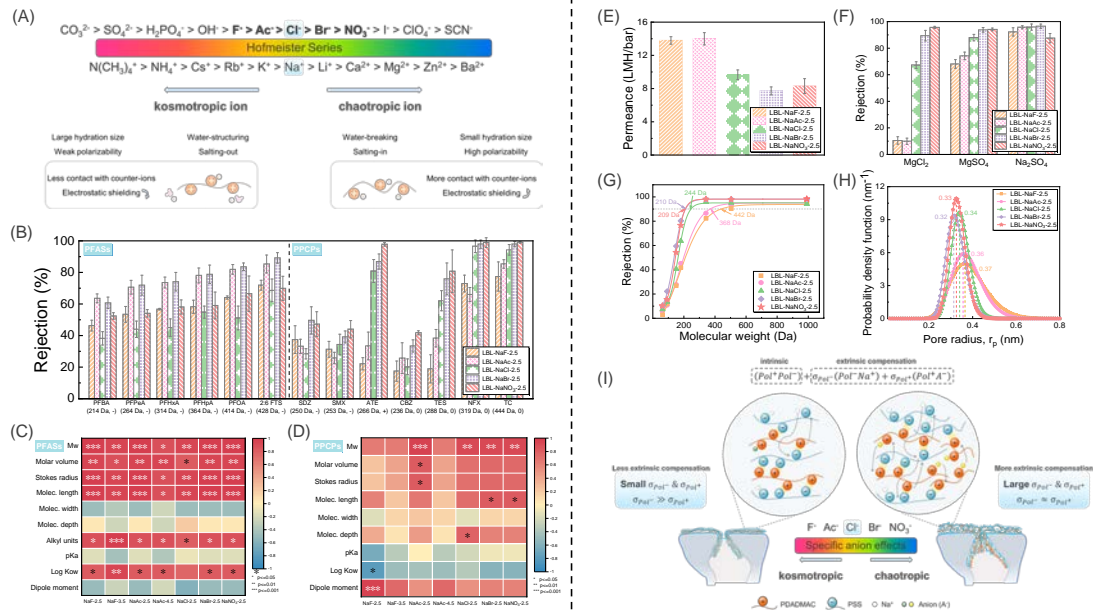


图 1. Hofmeister 效应调控 LBL NF 膜的孔径与电荷对渗透截留及微污染物去除性能的影响

关键词: 纳滤; 层层自组装; 离子特异性; 微污染物去除

基金项目: 国家重点研发计划 (项目编号: 2023YFB3810900), 国家自然科学基金国际 (地区) 合作研究与交流项目 (项目编号: 52261145697)

三价锰配合物驱动微塑料老化机制及有机碳释放行为研究

杨硕^{1,2}, 陈艺^{1,2}*, 蒲生彦^{1,2}*

(1.国土资源部地质灾害防治与地质环境保护重点实验室(成都理工大学), 四川成都, 610059; 2.环境保护部土壤与地下水污染协同控制与联合修复重点实验室(成都理工大学), 四川成都, 610059)

摘要: 老化行为对微塑料(MPs)的环境归趋和生态效应具有重大影响。然而土壤-地下水作为微塑料最大的“汇”, 因其环境隐蔽性导致地下环境中微塑料的老化行为常常被忽略。本研究以近年来被证明具有巨大氧化还原潜力的活性组分——溶解性 Mn(III)为切入点, 聚焦溶解性 Mn(III)对典型 MPs 老化过程的影响, 解析了溶解性 Mn(III)诱导 PE、PS、PLA 微塑料老化作用和溶解有机碳(DOC)释放规律, 深入揭示了微塑料在地下环境中的老化新机制和潜在反应路径。我们发现在 Mn(III)-PP 作用 28 d 后, 微塑料的表面形貌、物理性质、元素组成和化学结构均发生明显变化, 同时有明显 DOC 释放, 且 PS 和 PLA 的释放量是 PE 的 1.5 倍。Mn(III)价态循环产生的 $\cdot\text{OH}$ 反应和微塑料表面高价态 Mn 的电子转移是微塑料老化的主要机制。脂肪族 PE 和芳香族 PS 微塑料的老化路径是氧化主导的自由基链式反应, 可生物降解微塑料 PLA 则先发生水解, 再进行氧化反应。本研究为清晰认识微塑料在地下环境中的长期环境命运和潜在生态风险提供了科学依据和数据支持。

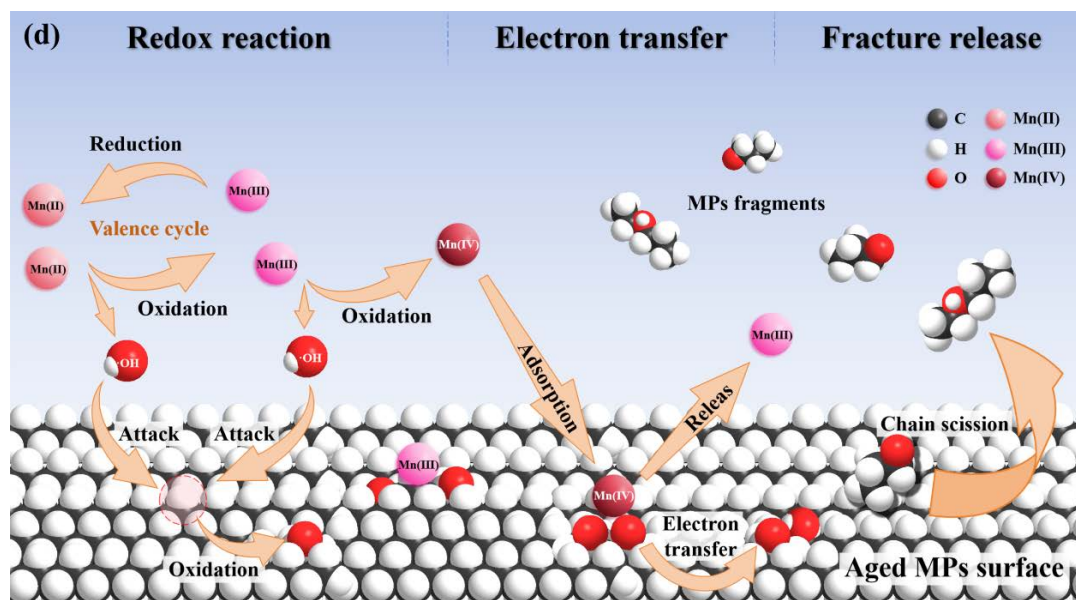


图 微塑料老化机制示意图

关键词: 微塑料老化; 溶解性 Mn(III); 溶解性有机碳(DOC); 老化机制

珠江流域农业系统中新烟碱类杀虫剂的使用、排放、迁移及其对生态风险的影响研究

烟晓婷等

(华南师范大学环境学院, 广州, 510006)

摘要: 将含有抗生素残留的动物粪便作为有机肥料施用于农田, 对流域生态系统的健康构成重大威胁。粪便施用后, 废物处理工艺有助于降低流域内的抗生素污染水平, 但这些工艺的整体影响尚不明确。本研究采用假设情景法, 评估了中国典型养猪区粪便处理方式对 14 种常见抗生素的排放及其引发的河流污染的影响。基于抗生素可能的归趋路径, 构建了三种情景, 对应的流域抗生素排放量分别为 47.0、55.3 和 81.6 吨/年。土壤和水评估工具 (SWAT) 模型成功模拟了抗生素从农田到地表水的迁移过程, 并利用连续 8 年的水文站月数据进行了校准和验证。实地实测浓度也验证了该模型的可靠性, 并用于确定最贴近实际的情景。在施用粪便的流域中, 环境抗生素污染受污水处理工艺和粪便施用模式的影响最大, 其次是径流量的变化。由于粪便施用模式不同, 粪便施用区域的抗生素污染呈现出显著的时空差异。模拟结果显示, 流域内抗生素的总流出量占流入量的 18.1%, 其中目标抗生素通过降解、挥发和沉积作用在流域内的损失量分别为 0.23 吨/年、0.01 吨/年和 33.2 吨/年。



图 流域尺度下抗生素污染的多源输入 (动物源: 堆肥、厌氧发酵后土地施用; 城市源: 污水处理厂; 农村源) 及迁移路径 (地表径流、河流传输) 示意图

关键词: 抗生素; 假设情景; 粪便施用; 建模; 排放; 归趋

典型农业流域土壤中新烟碱类杀虫剂的污染特征 与风险评估

王金泽, 刘文新*

(北京大学城市与环境学院地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 土壤农药污染已经成为了限制农业可持续发展的重要因素之一。新烟碱类杀虫剂 (Neonicotinoid insecticides, NNIs) 是使用最广泛的杀虫剂之一, 其对非靶向生物的高毒性及其人体健康风险使其近年来受到广泛关注。本研究在中国农药大量使用的地区(沙颍河周口段)采集了垂直分层土壤样本, 研究 NNIs 的污染特征及生态风险, 并关注农业管理措施对农田土 NNIs 残留的影响。结果显示, 沙颍河周口段土壤中 NNIs 的检出率为 100%, 浓度为 73.8 ± 167 ng/g。其中, 最主要的三类单体分别为噻虫胺、噻虫嗪和吡虫啉。相较于城市用地, 农田土壤中 NNIs 的污染更严重, 分别为 89.5 ± 182 ng/g 和 4.8 ± 6.6 ng/g。种植不同作物的农田土 NNIs 残留存在明显差异, 其中种植蔬菜和花生的农田土 NNIs 残留是种植玉米和水果土壤的七倍, 分别为 264 ± 336 ng/g、 37.9 ± 27.5 ng/g 和 37.5 ± 33.6 ng/g。垂直方向上, 土壤中 NNIs 残留水平从表层 (0 – 15 cm) 到中层 (15 – 30 cm) 和底层 (30 – 50 cm) 显著降低 ($p < 0.05$), 中层和底层的土壤 NNIs 浓度分别为表层的 50% 和 20%, 但底层土壤 NNIs 浓度仍然高达 16.5 ± 36.0 ng/g。虽然 NNIs 经食物链饮食暴露的人群健康风险相对较低 (危害指数远小于 1), 但其对土壤中非靶向生物的生态风险较高, 尤其是在最高浓度暴露情景下, 可能会对土壤中的部分无脊椎生物造成严重的不利影响 (风险商值 > 1.0)。蔬菜和花生种植会显著升高农田土中 NNIs 浓度, 而使用河水灌溉、对农药毒性认知正确和施药时间久可以显著降低土壤中 NNIs 的残留。这表明可以通过菜地作物轮种、合理灌溉和施药及提升农民对农药的认知来缓解农田土中 NNIs 的污染。本研究结果可以为管控农田土中 NNIs 污染, 实现农业可持续发展提供数据基础。

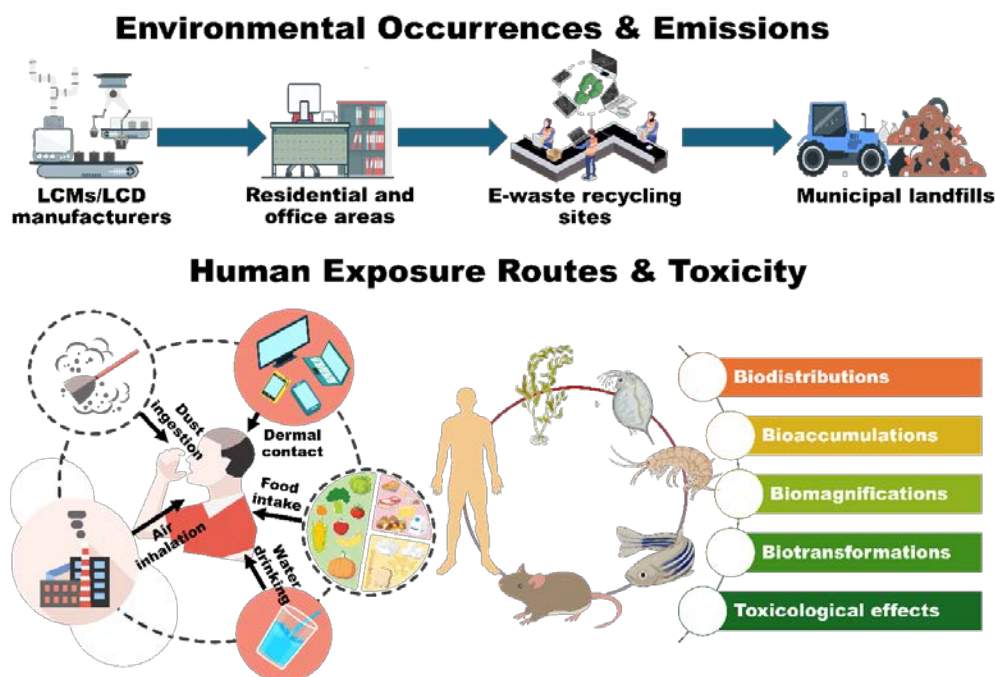
关键词: 新烟碱类杀虫剂; 土地利用; 垂直分布; 农业管理措施

新兴污染物液晶单体 (LCMs) 的环境分布、排放源、人体暴露途径与毒性效应

王玉琳, 靳倩倩, 林惠菊, 徐晓彤, 何宇鹤*
(香港城市大学, 香港, 999077)

摘要: 在过去几十年中, 电子垃圾成为环境关注的热点, 2019 年, 全球产生了约 5360 万吨电子垃圾, 而来自液晶显示器 (LCD) 的电子垃圾就达 670 万吨, 占电子垃圾总质量的 12.5%。液晶单体 (LCMs) 作为 LCD 面板的主要成分, 据估计, 每年从废弃电视/计算机中产生的 LCMs 废弃量约为 214 吨, 而从废弃智能手机中产生的 LCMs 废弃量约为 9.2 吨。随着电子行业的发展, 这些数字在未来将会持续增加。LCMs 通常由联苯基或联环己烷基骨架构成, 其苯环或环己烷上的氢原子被多种功能基团替代, 如烷基、炔基、羟基、酯基、羧基、烷氧基、环己基、氰基、氟、氯和溴等。广泛的功能基团能够组合成上万种 LCM 类似物。基于定量构效关系 (QSAR), LCMs 被认定为持久性 (P)、生物积累性 (B)、毒性 (T) 及具远距离迁移潜力 (LRTP) 的化合物, 与多氯联苯 (PCBs) 和多溴联苯醚 (PBDEs) 相似, 可能对环境和健康构成严重威胁。

LCMs 排放发生在 LCD 产品的生命周期各阶段 (生产、使用、回收和最终处置), 目前 LCMs 的环境污染已扩散至多种介质中, 包括空气、灰尘、沉积物、土壤、垃圾填埋场渗滤液、污水处理厂的废水和污泥、水生生物、狗的尿液和粪便、人类血清和母乳等, 显示了其环境持久性和生物累积性, 尤其在电子垃圾回收、拆解和 LCD 生产制造等工业活动密集地区的污染问题较为严重, 且具有长期积累的特征。本文系统评估了 LCMs 在 LCD 产品生命周期各阶段 (生产、使用、回收和报废) 的环境分布、排放来源、人体暴露途径及毒性效应, 揭示了电子产品制造和回收等工业活动是环境 LCMs 的主要排放来源, 而与市政排放和生活来源相关的垃圾填埋场和污水处理厂, 作为重要的源和汇, 也带来了巨大的环境风险; 系统分析了不同人群通过多种途径 (空气/灰尘吸入、皮肤吸收、饮食摄入等) 暴露于 LCMs 的风险, 强调饮食是普通人群的重要暴露途径, 而职业工人、老人和婴幼儿等易感人群则面临更高风险; 分析了 LCMs 的生物分布、累积、传递及转化潜力, 揭示其通过干扰基因表达和代谢通路, 产生一系列有害效应的潜在毒性机制。本文为理解 LCMs 作为新兴污染物的环境影响及其对人类健康的危害提供了更全面的视角, 强调了持续关注和研究 LCMs 的重要性, 并提出未来研究应深入调查 LCMs 的全球分布、环境命运及生物影响, 并着重改进监测技术、提升处理技术、发展管控策略, 以减轻其环境和健康影响。



关键词: 液晶单体; 环境分布; 排放来源; 人体暴露; 毒理效应

微塑料生态冕形成规律及其共迁移行为研究

张颖¹, 蒲生彦^{1,2}, 陈艺¹, Kevin V. Thomas³, Cassandra Rauert³

(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059; 2. 成都理工大学国家环境保护水土污染协同控制与联合修复重点实验室, 成都 610059; 3. Queensland Alliance for Environmental Health Sciences (QAEHS), The University of Queensland, 20 Cornwall Street, Woolloongabba 4102, Queensland, Australia)

摘要: 微塑料是环境中普遍存在的污染物, 而富含溶解性有机质(DOM)的地下环境被认为是其主要的汇。然而, 人们对微塑料与 DOM 的长期相互作用, 包括生态冕的形成及其在饱和多孔介质中的共迁移行为尚不清楚。本研究以聚苯乙烯(PS)、聚乙烯(PE)和聚丙烯(PP)为研究对象, 通过一系列分析技术, 在 1-12 周内观察生态冕的形成及其与微塑料的相互作用, 并开展了模拟地下饱和多孔介质的柱迁移实验, 结合扩展 DLVO 理论揭示了不同微塑料与多孔介质的相互作用能。结果表明三种微塑料在第 8 周时均形成了生态冕, 其中 PP 的亲合力最高。同时, 生态冕的形成老化了微塑料, 并改变了微塑料表面电荷和粗糙度。此外, 生态冕促进了微塑料在多孔介质中的迁移性能, 尤其是 PP 和 PS, 分别增加了 100 倍和 65 倍。XDLVO 表明一旦腐殖酸生态冕形成, 疏水力提供的吸引力不再占主导地位, 而渗透势能提供的排斥力将成为主导作用力, 总相互作用能在较大距离范围内保持正值, 表现出较强的迁移潜力。不同微塑料的迁移和沉积行为存在明显差异, 这主要取决于其类型和性质。这项研究首次直接观察并表征了微塑料上生态冕的形成, 并揭示了微塑料生态冕在地下环境中迁移能力增强和风险传播增加。本研究为地下环境中微塑料的命运提供了理论和实验依据。

关键词: 微塑料; 腐殖酸; 生态冕; 相互作用; 共迁移

多环境介质中微塑料分析方法的开发及其气候效应研究

景思源¹, 官先达²

(1.西湖大学, 杭州, 310030; 2.复旦大学, 上海, 200438)

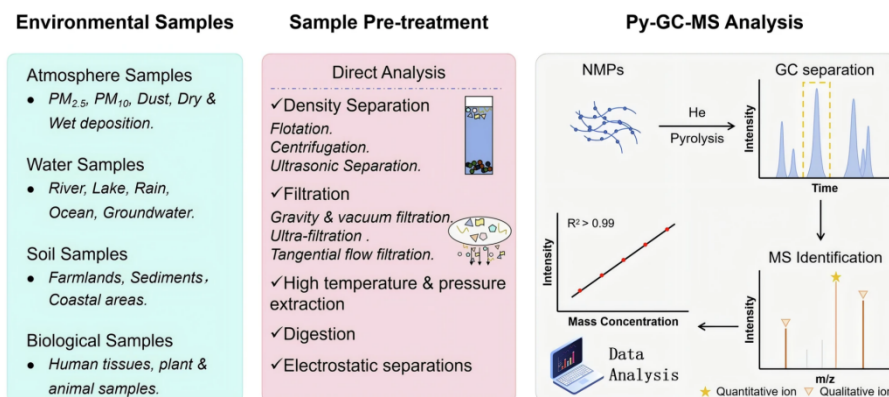
摘要: 微塑料 (<5mm 的聚合物颗粒) 是一类广泛分布且环境影响尚不明确的新型颗粒污染物, 短期内难以控制。微塑料及其相关化学物质对气候变化的影响和环境危害已引起科学界的广泛关注。然而, 由于微塑料种类繁多、形态多样, 区别于传统的小分子污染物, 其监测方案面临诸多挑战。因此, 迫切需要开发适用于水、土壤和空气等多种环境介质的微塑料检测方案, 以更准确地评估微塑料的环境行为。

在本次会议中, 我们主要汇报过去四年的研究成果, 具体包括:

1. 微塑料的分离与提取: 我们采用超速离心技术, 从水体、土壤和生物样品中成功提取并分离出不同种类和粒径的微塑料 (最小可适用于纳米级别)。通过结合拉曼光谱、质谱和扫描电子显微镜, 实现了对微塑料的精确定量分析和单颗粒表征。(Anal. Chem. 2022, 94 (44), 15280-15287; Analytica Chimica Acta 2024, 1314, 342752)

2. 微塑料的定量技术: 在量化微塑料存在特征时, 不同介质间的迁移和传输通常使用质量单位, 因此质谱成为理想的定量技术。质谱技术能够忽略微塑料的粒径限制, 提供纳克级别的精确测量。结合热裂解进样器, 热裂解-气相色谱-质谱 (pyrolysis-GC-MS) 技术能够实现固体样品的直接进样, 从而最大限度保持样品的原始状态。结合高通量前处理技术, 我们实现了对农田土壤、大气 PM_{2.5} 以及蓝碳系统中微塑料的精确定量。(Environ. Sci. & Technol. 2024, 58 (10), 4691-4703; Water Research 2024, 256, 121597; npj Emerging Contaminants 2025 1 (1), 2; Environmental Pollution 2024, 363, 125181)

3. 大气中微塑料的气候影响: 随着大气中漂浮微塑料数量的增加, 其对太阳长波和短波辐射的影响已被证实。然而, 微塑料通过“云-气溶胶相互作用”间接影响气候的研究仍然有限。我们通过测量微塑料的催化结冰能力, 评估了其对混合相云的潜在贡献。研究表明, 微塑料对大气冰核颗粒的贡献与海洋气溶胶相当。此外, 研究还证明环境暴露 (如臭氧氧化、光老化、高温) 会改变微塑料的冰核活性, 进一步增加了微塑料通过影响云形成而间接影响气候效应的多样性。



关键词: 微塑料; Py-GC-MS; 空气污染; 土壤污染; 气溶胶-云相互作用

基金项目: 上海市大气颗粒物污染防治重点实验室 2024 年开放课题



中国环境科学学会
CHINESE SOCIETY FOR ENVIRONMENTAL SCIENCES

地址：北京市海淀区红联南村 54 号
网址：www.chinaces.org

