

关于中国新污染物监测和风险评估的 若干思考



金余娣, 叶林安*

自然资源部宁波海洋中心, 浙江宁波 315000

摘要: 近年来, 随着中国工业的发展迅速, 新污染物的风险日益显现。从中国早已明确提出“重视新污染物治理”到生态环境部会同有关部门印发了《重点管控新污染物清单 (2023 年版)》, 中国新污染物筛查监测和风险评估显得尤为重要。文章主要介绍了中国在筛选识别策略和分析方法体系方面取得持续进展, 相继发展了“从物质到风险”和“从风险到物质”的研究策略, 并搭建了高通量多功能成组毒理学分析系统 (Integrated Toxicity Analysis system, ITA), 并针对性地建立了评估潜在污染物环境行为能力的方法框架。目前国际上广泛关注的持久性有机污染物、内分泌干扰物、抗生素和微塑料这四类新污染物, 并根据中国目前的新污染物研究现状和发展趋势。此外, 结合新污染物最新研究进展, 提出了若干思考和建议, 包括加强新污染物研究和技术交流、健全调查监测技术体系、完善法律法规与建立健全标准规范体系等对策措施。

关键词: 新污染物; 监测; 风险评估; 建议

DOI: [10.57237/j.res.2024.02.002](https://doi.org/10.57237/j.res.2024.02.002)

Reflections on Monitoring and Risk Assessment of Emerging Contaminants in China

Yudi Jing, Linan Ye*

Ningbo Oceanographic Center, Ministry of Natural Resources, Ningbo 315000, China

Abstract: In recent years, with the rapid development of China's industry, the risks of new pollutants have become increasingly apparent. From China's long-standing emphasis on "attaching importance to the governance of new pollutants" to the Ministry of Ecology and Environment's issuance of the "List of Key Controlled New Pollutants (2023 Edition)" in conjunction with relevant departments, screening, monitoring, and risk assessment of new pollutants in China have become particularly important. This article mainly introduces the continuous progress China has made in screening and identifying strategies and analytical methodologies, developing research strategies from "substance to risk" and "risk to substance", and building a high-throughput multifunctional group toxicity analysis system (ITA). It also establishes a methodological framework for evaluating the environmental behavior of potential pollutants. Currently, there are four types of new pollutants that have received widespread attention internationally, including persistent organic pollutants, endocrine disruptors, antibiotics, and microplastics. According to China's current research status and development trends of new pollutants, combined with the latest research progress on new pollutants, several reflections

基金项目: 国家海洋局东海分局青年海洋科学基金 (202209).

*通信作者: 叶林安, yelinan2018@163.com

收稿日期: 2024-03-20; 接受日期: 2024-05-11; 在线出版日期: 2024-05-23

<http://www.resenvsci.org>

and suggestions are proposed, including strengthening research and technical exchanges on new pollutants, improving the investigation and monitoring technology system, improving laws and regulations, and establishing a sound standard and specification system.

Keywords: Emerging Contaminants; Monitoring; Risk Assessment; Suggestions

1 引言

中国是世界工业品的重要生产基地，且拥有高强度的农业和养殖业。随着中国社会经济快速发展，其中工业快速发展和各类化学品的大量生产和使用，在促进人与自然和谐共生大前提下，有毒有害化学物质污染严重已成为制约中国社会经济保持高速增长的核心问题。使得一些新污染物对公众健康和生态环境的危害正逐步显现[1]。中国早已明确提出“重视新污染治理”，生态环境部会同有关部门印发了《重点管控新污染物清单（2023年版）》，于2023年3月1日起正式施行，包括抗生素、环境内分泌干扰物壬基酚等14种新污染物被列入重点管控范围，被实施禁止、限制、限排等环境风险管控措施[1, 2]。这一清单对中国加强新污染物管控工作、防范环境与健康风险具有重大意义。中国政府印发的《关于深入打好污染防治攻坚战的意见》，把“新污染治理能力明显增强”作为“十四五”时期主要目标予以部署。在《清单》编制过程中，重点关注环境和健康危害大且在中国环境风险已经显现、群众反映强烈，以及国际社会广泛关注、国际环境公约管控的新污染物。

新污染物（Emerging contaminants, ECs）指的是由人类活动造成的，目前已在环境中明确存在，危害人体健康和生态环境的，但因其生产使用历史相对较短或发现危害较晚尚无法律法规和标准予以规定或规定不完善的

所有在生产建设或者其他活动中产生的污染物。相较于传统污染物，大部分新污染物的持久性、累积性、迁移性的特征更为明显，包括持久性有机污染物（POPs），内分泌干扰物、抗生素、微塑料等。生态环境部指出，开展新污染治理需基于问题导向，实施以有效防范新污染物环境与健康风险为核心的治理策略，构建以精准筛查、科学评估和风险管控为主线的防控思路。目前，中国在有毒有害新污染物监测分析、风险评估、排放源溯源、污染物有效去除技术研发与评价等方面开展了工作，研究建立了“筛—评—控”逐级识别与分类管理的新污染物治理体系，形成了系列标准、技术规范，有效支撑了新污染物治理工作[3]。

2 新污染物筛查和评估

经过十余年的探索研究实践，中国在筛选识别策略和分析方法体系方面取得持续进展，相继发展了“从物质到风险”和“从风险到物质”的研究策略（图1），搭建了高通量多功能成组毒理学分析系统（Integrated Toxicity Analysis system, ITA），并针对性地建立了评估潜在污染物环境行为能力的方法框架[4]。这些工作带动了环境中新污染物筛选与鉴定的研究，成为全球新污染物研究的热点领域。相关经验成果于2023年总结发表在 Chemical Reviews [5]。

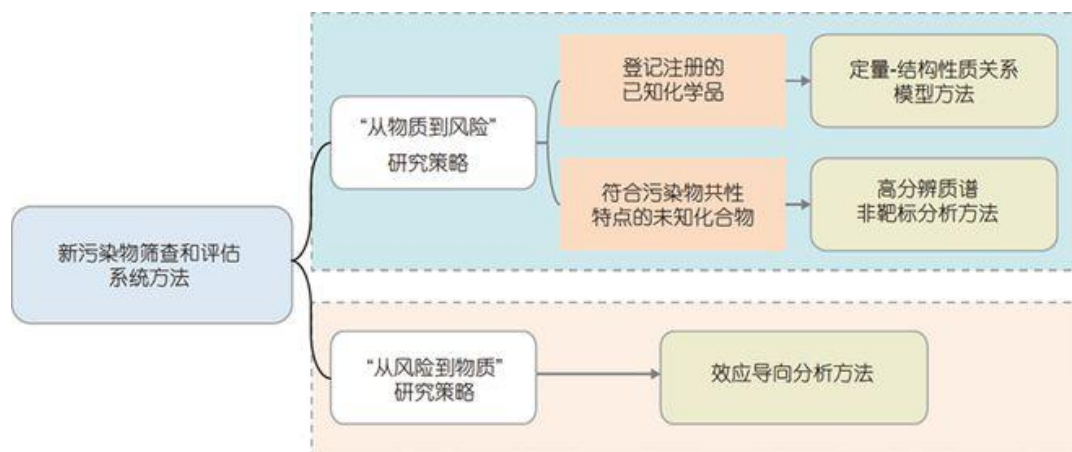


图1 新污染物筛查和评估系统方法框架及其逻辑关系示意图

全球化学品种类繁多, 对其中潜在污染物的识别需总结有毒有害化学物质在物理化学特征上的共性特征, 即环境持久性 (persistence, P)、长距离迁移能力 (long-range transport, LRT)、生物累积性 (bioaccumulation, B) 和毒性 (toxicity, T)。该归纳方法最早用于对具有持久性有机污染物特征化学品的识别, 国际政府组织已形成较为一致的判别标准, 有效地支持了对具有 PBT 特性化学品的风险评估和管理。污染物组成复杂、分子结构和行为效应差异显著, 综合应用多种技术方法是完成对研究对象“全覆盖”、实现新型污染物发现“必然性”的有效保证。“从物质到风险”和“从风险到物质”的研究策略在科学研究领域应用广泛, 同样适用于新污染物的识别和评估分析。

化学品管理不当引发的环境释放是新污染物的主要来源[6]。考虑到未来全球化学品消费规模持续增加的趋势和现有化学物质的全生命周期过程[7, 8], 有毒有害化学物质的污染将是长期存在的环境问题, 传统污染物将与新污染物并存、常规污染与痕量微污染并存。中国新污染物治理底数不清、科技支撑能力不足、风险防范和污染防治体系不够健全。持续深入发展和应用新污染物筛查和评估系统方法能够有效提升对中国新污染物组成分布、迁移转化和生态健康风险的准确理解; 对于显著加强污染预防和政策管控、积极促进区域经济与生态环境的协调发展具有重要的现实意义。

- (1) 在定量-结构性质关系模型方法方面, 国内外相继形成了基于物理化学参数阈值判别、物理化学参数赋值加权评分、结构指纹相似度比对、深度卷积/图注意力神经网络模型的潜在污染物特性预测研究范式。这些方法已成熟应用于未受关注特征官能团的识别、特定结构污染物环境行为的预测、危险化学品的环境风险管理、绿色替代技术的研发等领域。
- (2) 在高分辨质谱非靶标分析方法方面, 当前技术进步主要集中在仪器设备的快速发展和信息处理工具的大量涌现, 其核心和难点在于需综合掌握和协调设计包括质谱数据库建设、样品采集和前处理、仪器分析、数据挖掘、结构解析和质量控制等诸多工作流程, 以确保关注适当范围的分析物, 获得广泛的分子信息, 并优先考虑主要的化学特征。该方法在从复杂环境介质中全面识别具有结构多样性的复合污染物组

分、筛选确定优先控制污染物的研究中发挥着关键作用。

- (3) 在效应导向分析方法方面其以生物学监测为核心, 配合多步分离纯化、物质表征、毒性确认流程, 是系统性、准确鉴定环境和生物样本中毒性效应主要贡献物的有效方式。尤其是近年来高通量离体毒性测试技术的发展使得揭示复合污染物组成与非致死环境效应的关联成为可能, 并有效拓展了毒性当量 (toxic equivalent quantity, TEQ) 和毒理学优先指数框架 (toxicological priority index, ToxPi) 等评估方法的应用域。
- (4) 上述各研究方法并非独立存在, 而是相互促进、融合并逐渐形成新的研究范式。例如, 定量-结构性质关系模型能够提供丰富的色谱、质谱行为(如保留时间指数、二级质谱碎片指纹等) 预测结果, 可有效解决当前非靶标分析研究中现有数据库参考物质信息不足的难点问题; 在效应导向工作流程中引入更为先进的非靶标分析技术(如整合质谱特征、化学品毒性指纹、环境样本毒理学测量结果的“虚拟组分分馏”方法) 可以显著扩大受监测化学品的范围, 提高识别出主要效应贡献污染物的可能性[9]。

3 主要新污染物

3.1 持久性有机污染物 (POPs)

POPs, 是一种半挥发、难降解且具有很强亲脂憎水性的有机化合物, 毒性较高, 对神经系统、内分泌系统和生殖免疫系统造成干扰和破坏, 并诱发癌症和神经性疾病。典型的污染物有: 以 DDT 为代表的有机氯农药类 (OCPs), 化学产品的杂质衍生物和含氯废物焚烧的产物多氯代二苯并对二噁英和多氯代二苯并呋喃 (PCDD/Fs), 工业化学品多氯联苯 (PCBs), 多溴联苯醚 (PBDEs), 以及近两年学术界重点研究的全氟烷基和多氟烷基物质 (PFAS) 等。这种污染物最头疼的是: 其污染浓度随着食物链逐级累积放大, 对终端人体健康及生态系统危害较大[10]。

3.2 内分泌干扰物 (EDCs)

EDCs, 是可通过干扰生物体内天然激素的合成、

分泌、运输、结合、反应和代谢等，从而对生物体或人体的生殖、神经和免疫系统等功能产生影响的外源性化学物质。典型的污染物有部分杀虫剂、二噁英、有机氯化物、有机锡化合物、多环芳烃、邻苯二甲酸酯等。虽然目前还未看到有关文献，但我个人认为，近些年日渐上涨的甲状腺及激素等疾病与该种污染物影响是有一定正相关性的[11]。

3.3 抗生素

抗生素是具有抗菌、抗真菌或抗寄生虫活性的物质，能够杀灭微生物或抑制微生物生长的化合物。自1940年青霉素应用于临床以来，抗生素的广泛使用导致其在水生环境中的富集，地表水，地下水甚至于饮用水中均发现了抗生素的存在，水生环境中抗生素污染问题已引起广泛关注。

3.4 微塑料

微塑料（Micro plastics, MPs）是指一种最大尺寸不超过5mm的颗粒，主要来源于日常使用的化妆品或者洗涤产品中含有微小塑料颗粒，以及裸露的塑料垃圾经过紫外线辐射以及物理磨损，分解成尺寸更小的塑料颗粒。该种污染物可以吸附多种污染物，为有机污染物提供载体，为微生物富集提供条件，随着食物链累积富集，也被称为“海洋杀手”。

4 新污染物监测和风险评估当前面临的问题

21世纪初，中国的新污染物风险防范工作正式起步，迄今虽已对新污染物的环境行为及毒性效应有了科学认识，治理工作也取得一定成效。与美、日、欧等发达国家和地区相比，中国的新污染物研究起步并不晚，但相关环境监管标准条例的制定仍处在发展阶段。包括新污染物在内的化学物质环境风险管控技术标准体系仍不够完善，支持化学物质环境风险评估与管理危害和暴露数据库等基础数据匮乏，缺少跨部门管控的技术指导文件。总体来看，中国新污染物治理仍处在初级发展阶段，存在诸多短板。尽管国家和省市层面已经发布了新污染物治理政策，相关工作也逐步开展，但仍存在一定问题[12]。

(1) 目前中国在新污染物环境治理方面存在顶层

设计不完善、评估监测不系统、科学技术支撑相对较弱等问题，主要表现在：技术支撑体系不足，缺乏足够的国家投入，精细化管理不足；国家层面的单行上位法尚未建立，规章制度不健全，环境质量标准指标缺乏；全生命周期、风险预防和监控的化学品管理理念不足，企业主体、政府监管、公众参与的社会共治理念体现不足；科研技术支撑相对薄弱，没有充分发挥科技的引领作用；新污染物治理需要很大的经费支持，这也给政府和企业带来了一定的经济压力。诸多科研单位和企业参与度不高，相关成果主要集中在新污染物的识别、毒理学研究等方面，对实际管理中扩散规律、检测监测、防控技术等研究仍不成熟。且以分散于各个科研机构的区域性结果为主，缺少更宏观尺度成果，对实际监测和评估支撑能力有限[13]。

- (2) 新污染物治理成本高昂主要是因为技术、设备、运营、监管和社会成本较高，需要政府、企业和社会各界共同投入大量的资金和资源才能有效进行治理。具体来讲：研发、应用和推广所需的技术成本较高；高端、先进的分析测试平台投资大；技术人员不足，运维及监管成本高；替代技术成本高[14]。
- (3) 缺少针对性法规与标准。许多发达国家已制定新污染物防治的针对性法律法规，并积极推行相关认证以限制新污染物的使用和排放，如：欧盟REACH认证等。而中国的各类污染防治法规中仍缺乏对于新污染物生产、使用和排放的相应限制条款。在标准规范方面，虽然有团体标准逐渐发布，但国家标准和行业标准发布较少，需要较长的时间一些已被国际社会普遍关注的新污染物才能被中国现行标准所涵盖[15]。

5 若干思考和建议

5.1 加强新污染物研究和技术交流

继续加强对新污染物毒理学、环境基准等研究，提升科学认知，为发现、筛查新污染物打下良好基础。开展关于替代品研发、迁移规律、风险评估、监测检测技术、政策模拟分析等研究，促进基础研究与实际应用间衔接。加大建设相关科研基地力度，加强学术

交流, 并利用高新技术产业开发区等平台促进成果转化, 对新污染物治理全过程提供科技支撑[16]。

2023年7月10-12日, 2023年新污染物监测和风险评估高级研修班由浙江树人大学组织, 会议邀请了具有新污染物研究前沿研究成果的专家和教授, 对中国新污染物加强科技支撑具有重要积极作用。

5.2 健全调查监测技术体系

调查监测工作的开展离不开调查监测技术体系的支撑, 我们团队针对发现新污染物这个国际性的难题, 打通了基于分子多维特征的非靶向识别技术流程; 同时, 研制成功世界首台成组毒理学大型分析仪器系统, 该成功范式已触发国际同行效仿、开展新污染物筛选与识别的研究工作。提升现有环境监测网络设备条件, 和人才建设, 中国在有机污染物监测方面的人员缺口很大, 需要培养更多具备新污染物专业知识和技能的监测人员。可筛选有能力的检测机构对监测能力进行补充, 尽快构建全域性监测网络。逐步将重点新污染物纳入常规环境监测, 建立信息数据库, 推进数据共享。同时, 可参考国际经验, 分层次建立环境筛查监测、风险评估监测、跟踪监测等不同尺度、目的的新污染物监测程序, 提高监测效率。在继续加强水环境监测的同时, 逐步开展土壤、大气等其他介质的检测监测, 进一步摸清中国新污染物来源、类型、分布情况等, 为多环境介质协同治理提供支持[17]。

5.3 完善法律法规

逐步推动大气、水、土壤污染防治法等法律法规的修订, 增加新污染物相关管理要求及防治条款, 针对新污染物“禁、减、治”各环节制定法律法规。不断完善相关名录, 结合风险评估进展动态更新《重点管控新污染物清单》, 严格限制高风险新污染物使用与排放, 建立完善新污染物相关法律法规[18]。

5.4 建立标准规范体系

推动新污染物环境风险评估、检验检测、经济社会影响分析等标准和技术规范的制定, 将在中国分布广泛且检测技术趋于成熟的新污染物纳入现有环境标准。同时, 制定和完善相关产品质量检验检测标准, 推动对产品全生命周期新污染物使用和排放的检验检测认证工作, 以控制和减少新污染物对生态环境和人体健康造成的危害。

6 结语

新污染物治理是一项系统工程, 既要集中力量解决当前突出问题, 也要加强长期建立健全体系建设, 包括筛选识别策略和分析方法体系方面。通过开展科研、监测、立法等多方面工作, 积极动员高校、科研机构、企事业单位等一起推动新污染物治理体系建设, 为深入打好污染防治攻坚战, 全面推进美丽中国、健康中国建设提供有力支撑。

参考文献

- [1] 李青倩, 李丽和, 王锦等. 新污染物的污染现状及其检测方法研究进展 [J/OL]. 应用化工: 1-6 [2023-07-10].
- [2] 李江蕴. 中国新污染物治理现状与对策 [J]. 质量与认证, 2023(07): 81-83.
- [3] 潘寻. 中国新污染物治理工作进展、难点及建议 [J]. 中华环境, 2023(05): 28-30.
- [4] 江桂斌, 阮挺, 曲广波. 发现新型有机污染物的理论与方法. 北京: 科学出版社, 2019.
- [5] Ruan T, Li P, Wang H, et al. Identification and prioritization of environmental organic pollutants: From an analytical and toxicological perspective. Chem Rev, 2023, 123: 10584-10640.
- [6] 王佳钰, 王中钰, 陈景文, 等. 环境新污染物治理与化学品环境风险防控的系统工程. 科学通报, 2022, 67: 267-277.
- [7] United Nations Environmental Programme. Global Chemicals Outlook. 2nd ed. Geneva, 2019.
- [8] Li L, Wania F. Occurrence of single- and double-peaked emission profiles of synthetic chemicals. Environ Sci Technol, 2018, 52: 4684-4693.
- [9] 阮挺, 江桂斌. 新污染物筛查和评估系统方法. 科学通报, 2024, 69(6): 651-652.
- [10] 岳枫. 新污染物的特征与治理方法研究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4(09): 100-102.
- [11] 吴济舟, 刘永, 栾建文. 新污染物的生态环境检测标准研究 [C] //中国环境科学学会. 中国环境科学学会 2023 年科学技术年会论文集 (四), 2023: 183-191.
- [12] 孟小燕, 黄宝荣. 中国新污染物治理的进展、问题及对策 [J]. 环境保护, 2023, 51(07): 9-13.
- [13] 李仓敏, 王燕飞. 新污染物治理与现有环境治理措施衔接的探讨 [J]. 环境保护, 2023, 51(07): 14-17.
- [14] 加强新污染物治理有效防范生态环境与健康风险 [J]. 环境保护, 2023, 51(07): 8.

- [15] 唐忠辉, 谢莉. 浅谈新污染物的特征、防治进展及建议 [J]. 广东化工, 2022, 49(23): 203-204+207.
- [16] 王燕飞, 蒋京呈, 胡俊杰等. 新污染物治理国际经验与启示 [J]. 环境保护, 2022, 50(20): 61-66.
- [17] 刘沛, 黄慧敏, 余涛等. 中国新污染物污染现状、问题及治理对策 [J]. 环境监控与预警, 2022, 14(05): 27-30+70.
- [18] 韦正峥, 向月皎, 郭云等. 国内外新污染物环境管理政策分析与建议 [J]. 环境科学研究, 2022, 35(02): 443-451.

作者简介

金余娣

1988 年生, 工程师, 本科. 研究方向为环境监测与评价研究.

E-mail: 136325778@qq.com

叶林安

1990 年生, 博士, 高级工程师. 研究方向为海环境生态监测与评价.

E-mail: yelinan2018@163.com