

新型环境污染物在生态系统中的迁移转化规律

王乾

江苏省环保集团有限公司, 中国·江苏 南京 210000

摘要: 新型环境污染物因其特殊性质对生态系统和人类健康构成潜在威胁。论文阐述了新型环境污染物的概念、种类, 分析其来源与进入生态系统的途径, 着重探讨在大气、水体、土壤等不同环境介质中的迁移转化规律及影响因素, 包括物理、化学和生物过程, 揭示其在生态系统食物链中的累积与传递机制, 并对未来研究方向进行展望, 旨在为新型环境污染物的有效管控和生态环境保护提供理论依据。

关键词: 新型环境污染物; 生态系统; 迁移转化; 食物链累积

The Migration and Transformation Laws of New Environmental Pollutants in Ecosystems

Qian Wang

Jiangsu Environmental Protection Group Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract: New environmental pollutants pose a potential threat to ecosystems and human health due to their unique properties. The paper elaborates on the concept and types of new environmental pollutants, analyzes their sources and pathways into ecosystems, and focuses on exploring the migration and transformation laws and influencing factors in different environmental media such as atmosphere, water, and soil, including physical, chemical, and biological processes. It reveals their accumulation and transmission mechanisms in the food chain of ecosystems, and looks forward to future research directions, aiming to provide theoretical basis for effective control of new environmental pollutants and ecological environment protection.

Keywords: new environmental pollutants; ecosystem; migration and transformation; accumulation in the food chain

0 前言

随着科技进步与工业发展, 大量新型化学物质不断涌现并进入环境。新型环境污染物, 作为一类具有生物毒性、环境持久性、生物累积性等特性, 且对生态环境或人体健康存在较大风险却尚未被充分管理的物质, 正逐渐成为全球关注的焦点。这类污染物种类繁多, 来源广泛, 其在生态系统中的迁移转化过程涉及多个环境介质和复杂的生态过程, 不仅干扰生态系统的正常功能, 还可能通过食物链传递威胁人体健康。深入研究新型环境污染物在生态系统中的迁移转化规律, 对于评估其生态风险、制定科学有效的污染防控策略具有重要意义。

1 新型环境污染物概述

1.1 定义与范畴

新型环境污染物指在环境中出现的、以往未受关注或未被有效管理的有毒有害物质。其涵盖范围广泛, 主要包括国际公约管控的持久性有机污染物(如多氯联苯、二噁英等)、内分泌干扰物(如双酚 A、壬基酚等)、抗生素、微塑料以及全氟/多氟烷基物质(PFAS)等。这些污染物具有特殊的化学结构和性质, 在环境中难以降解, 可长期存在并产生潜在危害^[1]。

1.2 特点

1.2.1 环境持久性

新型环境污染物大多化学性质稳定, 难以通过自然的

生物、化学或光解等过程迅速降解。例如, 多氯联苯在环境中的半衰期可达数年甚至数十年, PFAS 中的某些化合物在环境中几乎不降解, 这种持久性使它们能够在环境中持续存在并不断累积。

1.2.2 生物累积性

许多新型环境污染物具有亲脂性, 易在生物体内富集。当生物体摄入含有这些污染物的食物或水后, 污染物会在脂肪组织中蓄积, 且随着食物链的传递, 在高营养级生物体内浓度不断升高, 产生生物放大效应。例如在水生生态系统中, 微塑料可被浮游生物摄取, 进而通过食物链传递至鱼类、鸟类等高级消费者体内, 其浓度可显著增加。

1.2.3 生物毒性

新型环境污染物对生物体具有多种毒性效应, 包括器官毒性、神经毒性、生殖和发育毒性、免疫毒性以及内分泌干扰效应等。双酚 A 作为典型的内分泌干扰物, 可干扰生物体的内分泌系统, 影响生殖发育过程; 抗生素在环境中的残留可能导致微生物产生耐药性, 威胁生态系统的微生物群落平衡及人类健康。

2 来源与进入生态系统的途径

2.1 来源

2.1.1 工业生产

工业活动是新型环境污染物的重要来源之一。在化工、电子、制药等行业生产过程中, 会合成和使用大量化学物质,

部分未被有效处理的污染物随废水、废气和废渣排放进入环境。例如, PFAS 广泛应用于工业生产中的防水、防油和防污产品, 其生产过程中的排放以及产品使用后的废弃都导致该类污染物进入生态系统。

2.1.2 农业活动

农业领域使用的农药、兽药和化肥等也是新型环境污染物的来源。抗生素被大量用于畜禽养殖以预防和治疗疾病, 部分未被动物吸收的抗生素会通过粪便、尿液排出, 进入土壤和水体环境。此外, 一些农药具有内分泌干扰特性, 长期使用可能在环境中残留并产生不良影响^[2]。

2.1.3 日常生活与消费

日常生活中的各类消费品及个人护理产品也是新型环境污染物的来源途径。化妆品、洗涤剂、塑料制品等含有多钟化学物质, 如微塑料常作为磨砂颗粒添加在个人护理产品中, 使用后经下水道进入污水处理系统, 部分未能被有效去除的微塑料最终流入自然水体。电子垃圾的不当处理也会释放出如多溴联苯醚等新型污染物。

2.2 进入生态系统的途径

2.2.1 大气传输

许多新型环境污染物具有挥发性, 可通过挥发进入大气环境, 并随大气环流进行长距离传输。持久性有机污染物如二噁英可在高温燃烧过程中挥发进入大气, 然后在大气中通过干湿沉降等方式重新回到地面, 污染土壤、水体及植被等生态系统组成部分, 实现污染物在不同区域生态系统间的扩散。

2.2.2 水体排放

工业废水、生活污水和农业面源污染等通过排水系统直接或间接进入河流、湖泊、海洋等水体。其中所含的新型环境污染物, 如抗生素、内分泌干扰物等, 会在水体中迁移转化, 并对水生生态系统产生影响。未经有效处理的污水排放是水体中新型污染物的主要输入途径, 严重威胁水生生物的生存和健康。

2.2.3 土壤污染

新型环境污染物可通过大气沉降、污水灌溉、农药化肥施用以及固体废弃物填埋等方式进入土壤。一旦进入土壤, 污染物会与土壤颗粒发生吸附、解吸等相互作用, 部分污染物可被植物根系吸收, 进而进入食物链, 影响陆地生态系统的物质循环和能量流动。例如, 土壤中的多氯联苯可被植物根系吸收并向上运输至地上部分, 对植物生长和以植物为食的生物造成危害。

3 在不同环境介质中的迁移转化规律

3.1 在大气中的迁移转化

3.1.1 迁移过程

新型环境污染物在大气中的迁移主要受气象条件和自身理化性质影响。污染物排放到大气后, 在平均气流作用下

作平流输送, 同时受大气湍流扩散影响, 从高浓度区向低浓度区扩散。其迁移距离和方向取决于风速、风向以及大气边界层的稳定性。例如, 挥发性较强的有机污染物可在大气中迅速扩散, 而颗粒态污染物则会随着大气颗粒物的传输而迁移。大气中的降水过程对污染物具有净化作用, 部分污染物可通过雨洗和冲刷作用从大气中去除并沉降到地面^[3]。

3.1.2 转化过程

在大气中, 新型环境污染物可发生多种化学转化反应。光照条件下, 许多污染物会发生光化学反应, 如持久性有机污染物在紫外线照射下可能发生光解, 改变其化学结构和毒性。部分污染物还可与大气中的氧化剂(如羟基自由基、臭氧等)发生反应, 生成新的二次污染物。一些含氮、含硫的新型污染物可与大气中的其他成分反应, 参与大气中复杂的化学循环, 影响大气的化学组成和质量。

3.2 在水体中的迁移转化

3.2.1 迁移过程

在水体中, 新型环境污染物的迁移受水流速度、水体紊动以及污染物自身的物理化学性质等因素影响。污染物可随水流进行对流迁移, 其在水体中的浓度分布与污染源的排放量、水流速度以及水体的稀释能力密切相关。同时, 污染物在水体中还会发生扩散现象, 从高浓度区域向低浓度区域扩散, 以达到浓度平衡。对于一些具有吸附性的污染物, 如微塑料和部分有机污染物, 可吸附在悬浮颗粒物表面, 随颗粒物的沉降和再悬浮过程在水体中迁移, 这种吸附作用会影响污染物在水体中的迁移路径和归宿。

3.2.2 转化过程

水体中的新型环境污染物可通过多种途径发生转化。光降解是水体中部分污染物的重要转化方式之一, 在阳光照射下, 一些具有光敏性的污染物可吸收光能发生分解反应。水解反应也是常见的转化过程, 污染物分子与水分子发生化学反应, 导致化学键断裂和结构改变。生物降解在水体污染物转化中起着关键作用, 水体中的微生物可利用污染物作为碳源或能源进行代谢活动, 将污染物分解为小分子物质或转化为二氧化碳和水等无害产物。但不同污染物的生物降解性差异较大, 部分新型环境污染物由于化学结构稳定, 难以被微生物降解, 在水体中持续存在并积累。

3.3 在土壤中的迁移转化

3.3.1 迁移过程

新型环境污染物在土壤中的迁移主要包括机械迁移、物理化学迁移和生物迁移。机械迁移是指污染物在土壤孔隙中的移动, 受土壤质地、结构以及水分运动等因素影响。在降雨或灌溉条件下, 土壤中的水分会携带部分可溶性污染物向下迁移, 而土壤颗粒的吸附作用会阻碍污染物的迁移速度。物理化学迁移过程中, 污染物与土壤颗粒表面发生吸附、解吸、离子交换等反应, 影响其在土壤中的迁移能力。例如, 重金属离子可与土壤中的黏土矿物、腐殖质等发生吸附

作用,降低其在土壤中的迁移性。生物迁移则是通过植物根系吸收、土壤动物活动等方式使污染物在土壤中发生位移,植物根系可吸收土壤中的部分污染物,并将其转运至地上部分,从而影响污染物在土壤生态系统中的分布^[4]。

3.3.2 转化过程

土壤中存在丰富的微生物群落和复杂的化学反应条件,新型环境污染物在土壤中可发生多种转化反应。微生物介导的降解作用是土壤中污染物转化的重要途径,微生物可通过酶促反应将有机污染物分解为简单的无机物或小分子有机物。土壤的酸碱度、氧化还原电位等环境因素对污染物的转化具有显著影响,在不同的 pH 值和氧化还原条件下,污染物的化学形态和反应活性会发生改变,进而影响其转化过程。例如,在酸性土壤中,一些重金属的溶解度增加,其迁移性和生物有效性也相应提高;而在厌氧环境下,某些有机污染物可能发生还原反应,生成毒性更强的产物。

4 在生态系统食物链中的累积与传递

4.1 生物富集过程

新型环境污染物具有生物累积性,在生态系统中易被生物体吸收并在体内富集。当生物体暴露于含有新型环境污染物时,污染物可通过呼吸、摄食和皮肤接触等途径进入生物体内。由于这些污染物大多具有亲脂性,进入生物体后倾向于在脂肪组织中储存,难以被代谢排出体外。随着时间的推移,生物体内的污染物浓度不断升高,形成生物富集现象。例如,在水生生态系统中,浮游生物可吸收水体中的微塑料和持久性有机污染物,其体内污染物浓度可显著高于周围水体环境^[5]。

4.2 食物链传递与生物放大

在生态系统食物链中,新型环境污染物可通过捕食关系从低营养级生物向高营养级生物传递。由于高营养级生物以低营养级生物为食,会不断摄入低营养级生物体内累积的污染物,导致污染物在高营养级生物体内进一步浓缩,出现生物放大现象。以食物链为例,小鱼摄食含有污染物的浮游

生物,大鱼又捕食小鱼,最终处于食物链顶端的猛禽或大型鱼类体内的污染物浓度可比水体中初始浓度高出数倍甚至数千倍。这种生物放大效应使得位于食物链顶端的生物面临更高的健康风险,同时也可能对整个生态系统的结构和功能产生深远影响,如影响生物的繁殖、生长和行为,破坏生态系统的稳定性。

5 结语

新型环境污染物凭借环境持久性、生物累积性与毒性等特性,经大气传输、水体排放、土壤污染等途径进入生态系统,在大气、水体、土壤介质中通过物理扩散、化学转化及生物降解等过程迁移,且沿食物链呈现生物富集与放大效应。其迁移转化受污染物性质、环境条件(温度、pH、介质特性等)及生物代谢活动共同调控。当前研究需进一步深化多介质耦合迁移机制、复合污染效应及高效监测治理技术,为生态风险防控与环境可持续管理提供更精准的理论支撑。

参考文献:

- [1] 杨东,王豆,杨桂玲,等.微塑料对土壤重金属迁移转化行为的影响综述[J].现代农业科技,2025(10):88-92.
- [2] 李淼清,李贵仁,苏宏建,等.浅层地下水氯代烃污染物迁移转化机理研究——以天津市中部地区为例[J].矿产勘查,2025,16(3):625-633.
- [3] 齐劭乾,张翌天,李建英,等.基于元学习的土壤-地下水有机污染物迁移转化小样本分析[J].印染助剂,2025,42(4):57-61.
- [4] 王亚韩,张秋瑞,于南洋,等.新污染物[J].化学进展,2024,36(11):1607-1784.
- [5] 张裕丰,赵淑玲,胡紫莹,等.土壤微生物的新栖息地:塑料际发生及其生态风险研究进展[J].华中农业大学学报,2024,43(4):102-111.

作者简介:王乾(1992-),男,中国黑龙江人,硕士,中级,从事水处理、降碳技术、固废处理等研究。