

# 水环境中抗生素类新污染物的健康风险评价与控制措施

蓝天凤

广西壮族自治区柳州生态环境监测中心 广西 柳州 545000

**摘要:** 抗生素类新污染物作为一种新兴的环境问题,已广泛存在于水环境中,对自然环境和人体健康形成了潜在危险。本文主要对抗生素污染物的种类及其产生途径进行梳理,全面评估了人类通过不同途径暴露于这些污染物所带来的健康风险,特别是长期接触低剂量抗生素对免疫系统及各器官可能产生的慢性毒性作用。基于现有问题,提出一系列针对水域环境污染的控制措施,包括以健康为出发点的排放标准制定、饮用水的深度净化技术、生物降解机制的探讨及其效率提升方法,旨在为提高抗生素污染治理能力提供科学依据和技术保障。

**关键词:** 水环境; 抗生素污染; 健康风险; 暴露评估; 污染控制

## 引言

在抗生素被广泛运用于医疗和养殖等领域的同时,其环境残留问题亦成为全球性议题。抗生素类新污染物由于难以降解、不能在环境中长期存留,并且能够在生物体内累积,对自然水体生态系统及人类健康带来了严重的影响。近年来,抗生素污染物普遍存在于各类水体中,无论是地表水、地下水还是饮用水,均有可能检出此类污染物。这些污染物可通过食物链等途径进入人体,导致免疫力降低、器官受损以及耐药菌的传播风险。面对传统水处理方法在去除抗生素方面的局限,还需要开发新的处理技术和策略来应对这一挑战。本文旨在探讨抗生素新污染物的种类及来源,评估其对人体健康的潜在风险,并结合现实情况,提出针对性的水环境抗生素污染控制策略,为改善水环境质量提供理论支持与技术路径。

## 1 抗生素类新污染物的分类与来源

抗生素类新污染物涵盖了人类活动所排放的多种抗生素性化学物质,其中包括天然的抗生素以及人工合成的抗生素。天然的抗生素由微小生物合成,广泛应用于医疗和种植领域,而人工合成抗生素则是通过化学手段制备,目的是增强其杀菌效果和持久性。抗生素的环境污染主要来自医院废水、农牧业废水、工业排放物以及日常生活中的污水。在这些污染源中,医疗机构因频繁使用抗生素而成为主要的污染输出者。农牧业通过在饲料中添加抗生素以及动物的代谢废物排放,使得抗生素在自然环境中逐渐累积。工业生产过程中产生的废水含有

众多未经过滤的抗生素成分,同时,污水处理厂由于处理技术上的不足,也成为抗生素排放的一个间接渠道。这些污染途径使得抗生素污染物普遍存在于水体中,进而渗透到生态链及人体内部。

## 2 抗生素类新污染物的健康风险评价体系

### 2.1 抗生素类污染物对人群的暴露特点及影响

抗生素类新污染物在环境中的普遍存在,导致人们通过不同渠道遭受其影响,这些途径涵盖了饮用水摄入、食物链积累以及直接接触污染水体。在饮用水中,抗生素的残留具有持久性、隐匿性和持久性的特点。食物链的富集作用也不可忽视,例如鱼类和贝类等水生生物在受污染水域中摄取抗生素,随后这些物质通过食物摄入方式进入人体。此外,在农业和养殖业中频繁使用抗生素的地区,抗生素可能因皮肤接触或吸入方式进入人体。不同年龄段、职业和地区的人群都可能遭受其影响,特别是免疫系统较弱的婴幼儿和老年人,他们的暴露风险更为显著。健康受到的威胁主要体现为过敏反应、肠道菌落失衡和药物疗效降低。长期接触抗生素污染的潜在风险,可能会促进耐药基因的传播,进而削弱公共卫生体系的有效性。

### 2.2 长期低浓度抗生素暴露对免疫功能的损害

长期接触微量的抗生素会对人体免疫系统产生不良影响,主要反映在干扰免疫调节功能和破坏肠道微生态平衡。由于抗生素的不恰当使用 and 环境污染问题,肠道内的微生物种类急剧减少,这不仅阻碍了有益细菌的繁衍,还助长了抗药性细菌的扩散。这样的微生物失衡损害了免疫防御的天然屏障,导致身体对病原体的防御能力下降。抗生素在体内的代谢活动还可能引发免疫系统的抑制反应,干扰淋巴细胞的发育和繁殖,从而削弱免疫应答的效果。长期微量暴露还可能导致慢性炎症的发

**作者简介:** 蓝天凤,1991年6月出生,女,壮族,广西来宾人,本科学历,广西壮族自治区柳州生态环境监测中心科员、助理工程师,研究方向:生态环境监测及综合分析。

生,提高了特定疾病的发病风险,这在免疫机制尚未成熟的儿童和老年群体中更为突出。低剂量抗生素还可能逐步改变免疫系统的识别机制,降低对常见病原体的反应能力。这种伤害可能是逐渐累积的,长期接触可能会导致免疫功能的持久性障碍,成为潜在的重大疾病触发因素。

### 2.3 抗生素类污染物对人类器官系统的特定毒性

抗生素类污染物对人体多个组织系统会产生各类特定的毒性反应,尤其是肝脏与肾脏,它们往往成为这些物质作用的主要目标。由于肝脏是抗生素主要的代谢场地,长期接触可能会导致肝细胞损害、脂肪变性以及肝功能衰退。肾脏则因抗生素通过尿液排出而受到损害,可能造成急性或慢性的肾功能损伤。同时,抗生素对神经系统的潜在毒性同样不容忽视,某些药物能穿过血脑屏障,影响神经元功能,进而引发神经炎症或认知障碍。内分泌系统受到的干扰也是长期接触的显著后果之一,有些抗生素表现出激素样作用,可能会引起激素水平失衡、代谢失调及生殖功能障碍。此类毒性反应的严重程度不仅与接触的浓度有关,还受个体遗传、年龄和健康状况的影响。特别是儿童和孕妇等敏感人群,其受到的影响可能更为深远,可能会影响正常的生长发育及胎儿健康。

### 2.4 饮用水中抗生素的暴露量评估及健康风险

饮用水是人群暴露于抗生素类污染物的主要途径之一,这一途径的风险评估对保障健康极为关键。评估方法必须全面考量水中抗生素的含量、人们日常的饮水习惯及接触时长等多个要素。尽管饮用水中的抗生素含量并不高,但长期累积的暴露量或许会对人体健康造成潜在的长远影响。特别是对于孕妇、婴儿以及免疫系统较弱的群体,长期摄入低剂量的抗生素可能构成较大的健康风险。这些污染物即使在低浓度下,亦可能对人体器官造成不良影响。另外,水中抗生素的存留还可能加剧耐药性基因的传播,从而提高临床治疗的不确定性及失败率。

## 3 水环境中抗生素污染的控制措施

### 3.1 引入健康导向的排放监管政策和技术标准

在中国水环境治理的背景下,引入健康导向的排放监管政策和技术标准,是控制抗生素污染的关键措施。现阶段,抗生素污染源头复杂且隐匿,涵盖了药品生产、畜牧养殖、医疗单位以及日常生活等多个方面。政府层面必须推动更为严格的抗生素排放规范,将其整合入全面的水污染排放标准中,并确立抗生素的排放限值及检测技术。同时,各地政府依据本地实际情况,出台

更具针对性的排放规范。例如,江苏省对药品制造业,已经发布了专门的区域污染排放规范,对排放中的抗生素浓度进行了限制,从而对相关企业产生了实质性约束。此外,技术的完善是政策执行的基础,必须构建一个全面的抗生素排放监测与评估系统,统一检测方法和标准,明确污染物定性定量分析的具体要求。例如,我国在“水污染防治与治理”重点研发计划中,已把抗生素监测技术作为优先发展项目,通过资金和政策扶持,促进监测技术的进步。地方环保机构在技术支持下,可以对流域内重点污染源实行在线实时监控,确保对排放抗生素污染物的有效管理。在政策执行过程中,跨部门合作治理同样重要。以《中华人民共和国长江保护法》的实施为参考,多个部门如生态环境、农业、卫生健康等协同作战,推动污染管控的全面覆盖。因此,政策和技术的联合推进,使中国在抗生素污染防治方面积累了宝贵经验,为全球水环境保护提供了可参考的实践方案。

### 3.2 研发适用于去除抗生素的饮用水深度处理技术

去除饮用水中的抗生素污染,必须开发高效的处理技术。这涉及结合污染物的特性与实际应用需求,对吸附技术进行优化,使用经过改性的活性炭材料,例如氧化石墨烯和碳纳米管等新型吸附剂,来提升吸附能力和对抗生素分子的特定捕捉能力。在饮用水的二级处理环节中,可以应用这些改性吸附剂去除四环素、青霉素等广泛的抗生素。同时,高级氧化过程(AOPs)也是深度处理的关键途径,包括臭氧处理、紫外线催化和电化学氧化等,它们通过产生强氧化性自由基来分解抗生素分子。例如,臭氧与过氧化氢结合生成羟基自由基,有效分解氟喹诺酮类药物等复杂分子。对于抗生素浓度较高的水域,纳滤和反渗透技术能有效地将抗生素分子截留,并排放干净的水。如有水厂利用反渗透膜配合预处理方法,有效去除了水中98%以上的头孢菌素残留。此外,研究多种技术融合的处理方法,将吸附、氧化和膜技术结合起来,打造出高效稳定的复合处理系统。例如,在城市供水系统中,臭氧氧化分解抗生素分子结构,活性炭吸附分解产物,再用超滤膜进行深度净化,成功将水中抗生素残留降至国家标准以下,同时显著提升了水质。因此,开发能够去除抗生素的深度处理技术,不仅要克服单一技术的限制,还要考虑设备的成本效益和维护方便性,以便在不同地区得到广泛应用。

### 3.3 构建以生物修复为主的水体生态恢复机制

以生物修复为主的水体生态恢复机制正在成为重要的实施措施之一。该技术利用特定的微生物、植物及动

物群体,对水体中的抗生素污染物进行降解、转化或者移除,促进水生生态系统的自然修复。例如,长江流域的某种假单胞菌,能通过提升酶活性来分解污染物,对抗生素进行无害化处理,而利用本土抗污染植物,如水葫芦和水生美人蕉,通过其根系吸附和分解水体中的抗生素,减轻水体污染程度。此外,生物修复技术还注重重建水体生态平衡,例如,通过投放滤食性水生动物如鲢鱼和蚌类,利用食物链原理减少水体中的抗生素污染,优化生态环境。太湖的滤食性鲢鱼放养就是一个例证,它既降低了水体中的营养盐含量,又减轻了抗生素的富集现象。对于污染较为严重的水体,应综合运用多种生物修复技术,例如,在南方某河段,构建包含水生植物、微生物和水生动物的生态修复体系,有效提高了水体的自净能力。根据不同水域的污染特点,科学选取适合的生物种类,并强化修复过程的监控管理。例如,南水北调中线工程,根据抗生素污染的具体情况,采取多种微生物和水生植物的联合修复手段,逐步改善了水质。因此,现代生物技术的进步,提升了抗生素降解菌株的适应性和降解效率,为生物修复提供了更强大的技术支持。这些措施不仅有效地控制了抗生素污染,也促进了水体生态功能的恢复。

### 3.4 提高水处理中的降解效率

提升水处理过程中抗生素降解效率是解决污染问题的核心目标。在技术创新层面,运用高性能催化剂可大幅加快对抗生素分子的分解速度。例如,通过在光催化材料中掺杂金属氧化物(诸如铁或钛的氧化物),在紫外线照射下能高效地分解各类抗生素。以某废水处理厂为例,其通过引入含钛氧化物掺杂的光催化设备处理含青霉素废水,分解效率提升了35%之余。采用多种技术联合应用也成为一种重要的处理策略,如将电化学氧化与高级氧化过程(例如臭氧处理)结合使用,能够有效分解抗生素及其衍生物。例如,一家工业废水处理厂,其采纳电化学氧化

与臭氧处理相结合的系统,成功清除了废水中的头孢菌素类抗生素,并降低了二次污染的风险。此外,优化反应器设计也能提升分解效果,例如,开发流化床反应器,使催化剂颗粒悬浮在反应液中,扩大了催化剂与污染物的接触面,进而显著提高了分解效率。

结语:抗生素类新污染物对水体环境安全及公共健康构成了重大威胁,这些污染源分布广泛、污染途径多样,并且具备长期蓄积的特性和潜在的风险性。对抗生素新污染物在水体中的污染进行有效管理,不仅依赖于技术革新和工艺的改进,同时也需要政策层面的扶持以及跨部门的协作,这为对抗生素新污染物提供了科学支撑和实际操作指南。未来,应当深化跨领域的研讨与技术运用,促进对抗生素污染的系统性治理和精确控制,以此确保水体环境质量和人类健康的坚实保障。

### 参考文献

- [1] 陈昱如,段艳平,张智博,等.长江经济带水环境中抗生素人体健康风险评价[J].中国环境科学,2023,43(7):3713-3729.
- [2] 刘远飞.珠三角典型城市制药企业和周边水环境抗生素的污染特征及风险评价[D].华南理工大学,2023.
- [3] 张书缘,张威,董一慧,等.滹沱河石家庄段浅层地下水回补过程中磺胺类抗生素污染特征及风险评价[J].地质通报,2024,43(4):620-629
- [4] 张文斌,赵晶,张秀,等.重庆市水环境中抗生素的污染特征及其风险评价[J].生态毒理学报,2023,18(6):314-324.
- [5] 陈联国,陈青弟,胡陈艳.水生态系统典型新污染物的特征与生态风险评估[J].河南师范大学学报(自然科学版),2024,52(4):22-35.
- [6] 许婧,余丽,李卫华,等.水环境中新污染物研究进展[J].环境科学与管理,2023,48(2):65-70.