

水质中重金属元素对人体健康的潜在危害与影响机制

赵剑^{1,2}, 李昌^{1,2}, 国林^{1,2}, 胡宸^{1,2}, 凌昕^{1,2}, 赵思佳^{1,2}, 王旭^{1,2}, 高基景^{1,2}, 崔大鹏^{1,2}, 赵东来^{1,2}, 孙岐发^{1,2*}

1. 中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 黑龙江 哈尔滨 150086

2. 自然资源部哈尔滨黑土地地球关键带野外科学观测研究站, 黑龙江 哈尔滨 150086

DOI:10.61369/WCEST.2025010003

摘要： 本文围绕水质中重金属元素对人体健康的潜在危害及影响机制展开。随着工业化和城市化推进，水体重金属也伴随着一定污染，污染源包括工业生产、农业活动、生活污水排放及大气沉降等，在工业发达、人口密集地区污染明显。重金属对人体健康危害众多，铅、汞等会损害神经系统、血液系统等多个部位，还会增加患癌风险。其危害机制有干扰人体代谢、破坏器官组织、引发氧化应激和影响免疫系统功能等。为保障健康，需减少水体中重金属含量，加强监测治理，并深入研究其影响机制，推动污染防治技术发展。

关键词： 水体重金属污染；重金属元素；人体健康危害

Potential Hazards and Impact Mechanisms of Heavy Metal Elements in Water Quality on Human Health

Zhao Jian^{1,2}, Li Chang^{1,2}, Guo Lin^{1,2}, Hu Chen^{1,2}, Ling Xin^{1,2}, Zhao Sijia^{1,2}, Wang Xu^{1,2}, Gao Jijing^{1,2},
Cui Dapeng^{1,2}, Zhao Donglai^{1,2}, Sun Qifa^{1,2*}

1. Harbin Natural Resources Comprehensive Survey Center of China Geological Survey, Harbin, Heilongjiang 150086

2. Harbin Black Soil Earth Critical Zone Field Scientific Observation and Research Station, Ministry of Natural Resources, Harbin, Heilongjiang 150086

Abstract： This article focuses on the potential hazards and impact mechanisms of heavy metal elements in water quality on human health. With the advancement of industrialization and urbanization, heavy metal pollution in water bodies has become a significant issue. Sources of pollution include industrial production, agricultural activities, domestic sewage discharge, and atmospheric deposition, especially in industrially developed and densely populated areas. Heavy metals such as lead and mercury can cause numerous harms to human health, including damage to the nervous system, blood system, and other body parts, as well as increasing the risk of cancer. The mechanisms of these hazards include interfering with human metabolism, destroying organ tissues, triggering oxidative stress, and affecting immune system function. To protect health, it is necessary to reduce the content of heavy metals in water bodies, strengthen monitoring and management, and conduct in-depth research on their impact mechanisms to promote the development of pollution prevention and control technologies.

Keywords： water heavy metal pollution; heavy metal elements; human health hazards

引言

水是生命之源，然而随着工业化和城市化的快速发展，容易引发水体重金属污染问题。重金属元素在水体中的存在和积累，不仅能够破坏水生态的平衡，而且通过食物链进入人体，对人体健康造成潜在的威胁。因此，深入研究水质中重金属元素对人体健康的潜在危害与影响机制具有重要的现实意义。

一、重金属污染研究与水环境的新挑战

水质重金属污染研究涵盖多方面，包括调查污染现状，明确

在不同水体的空间分布和污染程度；分析工业、农业、生活等重金属来源；探究在水体、水-土界面的迁移转化以及在生物体内的富集传递规律；研究沉淀、化学沉淀、生物修复等物理、化

运维项目：国家地下水监测网运行维护（哈尔滨中心）（编号：DD20251292）资助。

作者简介：赵剑，男，助理工程师，主要从事水文地质与水资源调查工作。

通讯作者：孙岐发，邮箱：152468435@qq.com。Email: 570006630@qq.com。

学、生物治理技术；开展健康和生态风险评估，并据此制定管理政策、建立监测预警体系以保障水体环境质量和生态安全。

随着人民生活水平提高，在工业化与城市化快速发展进程中，水环境面临严峻挑战，重金属污染成为威胁人类健康的关键因素。工业废水含重金属、有机物等，农业和畜牧业的农药、畜禽废弃物，以及城市化进程中大量城市生活垃圾和污水，都能够严重影响水质，欠发达地区因基础设施落后，水污染现象更加严峻。新污染物如持久性有机污染物、微塑料等涌现，我国在新污染物治理上存在监测技术手段少、防护治理措施不完善等难题。

2023年8月26日，山西省长治市沁河流域上游支流乔龙沟河突发水污染事件，一时间，河水水质恶化，生态系统遭受重创。经调查，这起严重水污染事件是由某能源有限公司。其涉案人员在清楚知晓行为违法违规的情况下，为了一己私利，私自使用水泵、消防水管等工具，将企业污水处理站调节池中含高浓度氨氮的污水偷排入外环境。

高浓度氨氮污水的肆意排放，对乔龙沟河及周边生态环境产生了毁灭性的影响。河流水质急剧恶化，水体发臭，大量水生生物死亡，周边土壤也受到污染，生态平衡被严重打破。这不仅破坏了当地的自然景观，还对居民的生活和健康造成了潜在威胁。

工业废水不仅关系着我国饮用水安全，而且直接威胁到人民群众身体健康和生态环境安全。更重要的是由于工业废水具有复杂性，难降解及富集性的特点，其进入自然水体对水质安全及人体健康可能产生的影响很难估算，且损失不可衡量^[1]。

二、重金属元素对人体健康的潜在危害

（一）铅

铅对人体健康危害多面。神经系统上，它干扰神经递质的合成、代谢和释放，影响神经信号传导。研究表明，儿童长期接触铅污染水体，血铅每升高10 $\mu\text{g/dL}$ ，智商或降3-5分，还会出现注意力不集中、记忆力减退等行为异常，严重时可能引发帕金森病或阿尔茨海默病。

血液系统中，铅进入血液后与红细胞结合，抑制血红蛋白合成。它抑制血红素合成关键酶ALAD的活性，阻碍血红素合成，减少红细胞生成，还降低红细胞膜稳定性，缩短红细胞寿命，引发溶血。血铅浓度达50 $\mu\text{g/dL}$ 时，人可能出现贫血症状，铅作业职业人群贫血发生率高于常人^[2]。

在肾脏方面，铅在肾脏蓄积，引发肾小球硬化、肾间质纤维化等病变，干扰肾脏细胞代谢，影响其调节水、电解质和酸碱平衡的功能。长期接触铅的人群肾脏疾病发病率高，会出现蛋白尿、血尿等症状。研究发现，铅污染地区居民慢性肾脏病患病率高于非污染地区，且病变严重程度与铅暴露水平正相关。

（二）汞

汞能够穿越血脑屏障进入中枢神经系统，直接对神经细胞造成损害，进而干扰神经递质的代谢并影响其功能。若长期暴露在汞污染的水体环境中，人体可能会出现诸如头痛、头晕、失眠、记忆力下降、肢体麻木以及共济失调等症状。情况严重时，甚至

会引发汞中毒性脑病，对生命安全构成威胁^[3]。

当汞进入人体后，消化系统会首当其冲受到影响。汞会直接作用于胃肠黏膜细胞，引发炎症反应，造成组织损伤。它会破坏胃肠黏膜的屏障功能，致使胃肠道对有害物质的吸收增多，同时干扰胃肠道正常的蠕动和消化功能^[4]。因此，患者可能会出现恶心、呕吐、腹泻、食欲不振等症状，长期暴露在汞污染环境中还很有可能引发慢性胃炎、肠穿孔等疾病。在一些汞污染较为严重地区的居民，消化系统疾病的发病率显著高于其他地区，而且病情通常更为严重。

（三）镉

镉对肾脏具有直接的毒性作用，倘若长期暴露在含镉环境中，极有可能引发肾功能损害、肾结石，甚至肾衰竭。研究发现，长期饮用含镉的水，镉在肾脏中的蓄积量约占全身蓄积量的三分之一，肾皮质中的镉浓度更是全肾脏的1.5倍，这很可能导致慢性肾脏疾病，比如肾小管功能障碍、肾小球肾炎等^[5]。

镉还会干扰钙在骨骼中的正常代谢进程，致使骨密度下降，引发骨软化或骨质疏松等骨骼疾病。它能够抑制成骨细胞的活性，同时促进破骨细胞的功能，使得骨吸收的速度大于骨形成的速度。而且，镉还会与骨组织中的胶原蛋白相结合，破坏骨组织的结构和力学性能。历史上著名的日本“痛痛病”事件，就是因为当地居民长期饮用被镉污染的水，从而患上了严重的骨软化和骨质疏松症，患者饱受全身骨骼疼痛、骨折等症状的折磨，身心承受了极大的痛苦^[6]。

（四）铬

铬存在三价和六价两种形态，其中六价铬毒性较强，被视为致癌物，可能诱发肺癌、胃癌、皮肤癌等多种癌症。美国国家环境保护局（EPA）的数据显示，成年人每天摄入六价铬的量不应超过0.0004毫克/千克体重。若长期接触含有六价铬的水体，铬会在人体内不断蓄积，进而增加患癌风险^[7]。

六价铬化合物具有很强的氧化性和腐蚀性，一旦接触皮肤，就可能引发皮肤瘙痒、红斑、水肿、溃烂等症状。要是长期接触，还可能导致铬鼻病、暴露性皮炎和皮肤铬溃疡等皮肤黏膜性疾病。

（五）砷

长期饮用含砷的水，砷会在人体内逐渐蓄积，对皮肤造成显著损害。砷会干扰皮肤细胞的正常代谢，致使皮肤出现色素沉着、角化过度、疣状增生等病变，情况严重时甚至会发展成皮肤癌。在一些砷污染较为严重的区域，居民皮肤病变的发生率相对较高。以我国台湾地区的部分砷污染地区为例，当地居民因长期饮用含砷的井水，皮肤癌的发病率显著上升。

砷是一种已被确认的致癌物，长期摄入含砷的水会增加患肝癌、肺癌、膀胱癌等多种癌症的风险。砷能够通过多种途径诱导细胞发生癌变，比如干扰DNA的甲基化过程、影响基因表达、诱导氧化应激反应等。在一些砷污染严重的地区，居民患癌症的发病率明显高于其他地区，并且癌症的发病年龄也相对较早^[8]。研究显示，砷暴露与肝癌的发生关系密切，长期饮用含砷的水会使肝癌的发病风险增加数倍。

三、重金属元素对人体健康的影响机制

（一）干扰人体正常代谢过程

重金属进入人体后，会与体内的多种生物大分子，如酶、蛋白质、核酸等发生特异性结合，改变其结构和功能，从而干扰人体的正常代谢过程。以铅为例，铅可抑制 δ -氨基- γ -酮戊酸脱水酶（ALAD）的活性，该酶是血红素合成过程中的关键酶，其活性受到抑制后，会导致血红素合成障碍，进而引起贫血。此外，重金属还可以干扰细胞内的能量代谢过程，影响细胞的正常功能。例如，汞可以抑制线粒体呼吸链中的酶活性，减少细胞的能量生成，导致细胞功能受损。

（二）破坏人体器官和组织的结构与功能

重金属在体内蓄积后，会对人体的各个器官和组织产生直接的毒性作用，破坏其正常的结构和功能。镉在肾脏中的蓄积可导致肾小管上皮细胞变性、坏死，影响肾脏的重吸收和排泄功能，导致肾功能衰竭。汞在中枢神经系统中的蓄积可损害神经细胞，导致神经细胞的形态和功能发生改变，引起神经系统功能障碍。此外，重金属还可以影响心脏、肝脏、肺等器官的正常功能，导致心血管疾病、肝脏疾病、肺部疾病等的发生^[9]。

（三）引发氧化应激反应

重金属可诱导人体细胞产生氧化应激反应，导致体内活性氧自由基（ROS）的生成增加，而抗氧化防御系统的功能相对不足，无法及时清除过多的ROS。ROS具有很强的氧化性，可攻击细胞内的生物大分子，如DNA、蛋白质、脂质等，导致细胞损伤和死亡。例如，六价铬可通过细胞膜上的转运蛋白进入细胞内，在细胞内被还原为三价铬的过程中会产生大量的ROS，引发氧化应激反应，导致细胞膜脂质过氧化、蛋白质氧化修饰、DNA损伤

等，从而对细胞造成损伤。长期的氧化应激反应还可能导致慢性炎症、细胞凋亡和癌变等。

（四）影响人体免疫系统功能

重金属可干扰人体免疫系统的正常功能，导致免疫细胞的活性和数量发生改变，使人体的免疫防御能力下降。镉暴露可抑制T淋巴细胞的增殖和分化，降低机体的细胞免疫功能，使人体对病原体的抵抗力减弱，容易感染各种疾病。铅暴露可影响B淋巴细胞的抗体分泌功能，导致体液免疫功能异常，使人体对病原体的特异性免疫应答能力下降^[10]。此外，重金属还可以影响巨噬细胞的吞噬功能、自然杀伤细胞的活性等，进一步削弱人体的免疫系统功能。

四、结束语

水质中的重金属元素会对人体健康造成严重的潜在威胁。这些重金属进入人体后，其影响机制十分复杂，会干扰人体正常的代谢过程，破坏人体器官和组织的结构与功能，引发氧化应激反应，还会影响人体免疫系统的正常功能。

为保障人体健康，必须采取有效措施降低水体中的重金属含量，还应加大对水体重金属污染防治技术的研发和应用，而生物修复技术在水体重金属污染治理中具有广阔前景。未来，随着生物技术的不断发展，有望开发出更多高效、适应性强的生物修复材料和技术。例如，利用基因工程技术培育超富集植物新品种，使其具备更强的重金属吸收能力和环境适应性；研发新型微生物制剂，提高微生物对复杂污染水体的修复能力。同时，加强生物修复技术与其他治理技术的融合，构建更加完善的水体重金属污染治理体系，实现水环境的可持续发展。

参考文献

- [1] 高秋凤. 工业企业废水排放对城市污水处理厂运行影响的研究 [D]. 扬州大学, 2023. DOI: 10.27441/d.cnki.gyzdu.2023.002748.
- [2] 吴佳玲, 毛德华. 湘江流域水体重金属污染及健康风险评价 [J]. 人民珠江, 2023, 44(03): 94–103.
- [3] 李伟伟. 环境水质分析中重金属检测技术的应用研究 [J]. 造纸装备及材料, 2023, 52(01): 144–146.
- [4] 黄卫巍, 刘敏, 刘晓维. 化妆品汞超标致人身损害法医临床鉴定分析 [J]. 中国司法鉴定, 2023, (01): 93–96.
- [5] 刘树函. 论水质重金属分析检测技术研究与应用 [J]. 世界有色金属, 2022, (21): 136–138.
- [6] 许候杰, 漆燕琴, 冯志刚. 重金属检测技术在水质分析中的应用 [J]. 科技风, 2022, (19): 79–81. DOI: 10.19392/j.cnki.1671-7341.202219027.
- [7] 任晓亮, 施羽露, 廖河庭, 等. 水产环境污染现状及治理策略 [J]. 农学报, 2022, 12(05): 42–46.
- [8] 徐峰. 重金属污染水体的环境保护处理技术分析 [J]. 信息记录材料, 2021, 22(09): 235–237. DOI: 10.16009/j.cnki.cn13-1295/tq.2021.09.111.
- [9] 李雨恒, 韦盼, 黄葵, 等. 我国地表水环境质量现状及污染修复技术研究 [J]. 中国资源综合利用, 2021, 39(02): 195–197.
- [10] 黄惠, 张永波. 山底河流域重金属污染特征分析 [J]. 水电能源科学, 2020, 38(07): 49–52.