

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2020.03.009

“一带一路”沿线中欧国家地表水环境污染状况分析

冯亚坤^{1,2}, 张伟^{1,2,3,4}, 左其亭^{1,2,3}, 李佳璐^{1,2}, 郝明辉^{1,2}, 韩淑颖^{1,2}

(1. 郑州大学水利与环境学院, 河南 郑州 450001; 2. 郑州市水资源与水环境重点实验室, 河南 郑州 450001; 3. 河南省地下水污染防治与修复重点实验室, 河南 郑州 450001; 4. 河南省水体污染防治与修复重点实验室, 河南 平顶山 467036)

摘要:为了解“一带一路”沿线中欧国家地表水环境现状,梳理了近年来中欧国家地表水污染物数据,分析了地表水环境的污染状况。结果表明:20世纪70年代以来维斯瓦河等4个流域中氮、磷等常规污染物污染程度呈下降趋势,但仍需进一步治理;流域中抗生素等新兴污染物污染程度日渐严重,主要来源于中欧地区城市的污水排放。认为应根据不同污染物类型进行针对性治理,加强国家之间关于水环境污染治理的合作,以促进中欧地区地表水环境的改善,为“一带一路”沿线国家经济和社会发展提供坚实的基础。

关键词:“一带一路”;中欧国家;地表水环境;污染物

中图分类号:X522 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2020)03-0046-06

Analysis of surface water pollution in Central European countries along “Belt and Road” // FENG Yakun^{1,2}, ZHANG Wei^{1,2,3,4}, ZUO Qiting^{1,2,3}, LI Jialu^{1,2}, HAO Minghui^{1,2}, HAN Shuying^{1,2} (1. School of Water Conservancy & Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Zhengzhou Key Laboratory of Water Resource and Environment, Zhengzhou 450001, China; 3. Henan Key Laboratory of Groundwater Pollution Prevention and Rehabilitation, Zhengzhou 450001, China; 4. Henan Key Laboratory of Water Pollution Control and Rehabilitation, Pingdingshan 467036, China)

Abstract: In order to acquaint with the current status of surface water environment in Central European countries along the “Belt and Road”, the data of surface water pollutants in Central European countries in recent years were summarized, and the pollution status of surface water environment was analyzed. The results show that the levels of conventional pollutants such as nitrogen, phosphorus and heavy metals in four river basins such as Vistula River basin show a downward trend since the 1970s. However, further treatment route was still needed to remove the pollutants. At present, the levels of emerging pollutants such as antibiotics in each river basin were increasing, which was mainly resulted from the urban sewage discharge. In the future, different types of pollutants should be treated according to their specific sources, while the cooperation between nations on water pollutants treatment should be strengthened to promote the quality of water environment in Central European countries, promoting the economic and social development of countries along the “Belt and Road”.

Key words: “Belt and Road”; Central European country; surface water environment; pollutants

位于“一带一路”沿线的中欧国家有波兰、捷克、斯洛伐克和匈牙利。这4个国家经济结构和发展模式既有共同点,又各有明显差异:工业均较发达,采矿、冶金和机械制造等重工业占比较大,同时农业、啤酒产业和林业等也在国民经济中占重要地位,而此类行业的发展均高度依赖于良好的水质。

以捷克为例,其最具特色的啤酒业具有较大的生产和消费能力,所生产的啤酒远销德国和美国等国家,而每生产1L啤酒需要5L干净水。同时,4个国家的首都华沙、布拉格、布拉迪斯拉发和布达佩斯均依河而建(华沙位于维斯瓦河两岸、布拉格位于伏尔塔瓦河两岸、布拉迪斯拉发和布达佩斯位于多瑙河

基金资助:国家自然科学基金(51779230, U1803241);河南省高等学校重点科研项目(18B610008, 19A610010);河南省重点研发与推广专项(182102311033)

作者简介:冯亚坤(1996—),男,硕士研究生,研究方向为水环境污染与修复。E-mail:fyakun96@163.com

通信作者:张伟,副教授。E-mail:zhangwei88@zzu.edu.cn

两岸),其他许多大城市也均坐落在河畔,如维斯瓦河上的克拉科夫、格但斯克等。因此,系统了解中欧国家地表水资源和水环境现状具有重要意义,可促进自身水资源的可持续性利用、各行业发展以及“一带一路”的建设。

目前,对“一带一路”沿线国家水资源与水环境的研究多集中于主体水资源区划分、自然地理特征^[1-4]、水资源利用与管理^[5-6]等方面,已经确定 11 个水资源一级分区,也对沿线国家的自然地理特征有了较为系统的梳理。此外还有一些关于虚拟水、社会政策方面的研究^[7-9]。关于水环境污染,尤其针对中欧国家的地表水环境研究还相对较少。水环境污染会加剧“一带一路”沿线国家的水资源短缺矛盾,影响工农业生产,制约国民经济发展。同时,水环境污染会影响饮用水、地下水和农产品的品质,对人类健康构成严重威胁。本文对中欧沿线国家的水环境污染状况进行系统总结,并对未来治理的方向提出建议。

1 研究区概况

研究区位于东经 12°05′~24°09′、北纬 45°44′~54°50′之间,北部地区地势平坦,平均海拔为 173 m,其中大部分地区位于低矮的波德平原;东部地区大部分位于捷克-摩拉维亚高原,海拔较高,平均海拔可达 500~600 m,而拉贝河平原和比尔盆地的海拔低于 500 m;中部地区位于喀尔巴阡山脉西部,地势最高,平均海拔超过 1 000 m;南部地区地势平坦,属于多瑙河中游流域,80% 地区的海拔不足 200 m。研究区域内主要河流有维斯瓦河、奥得河、拉贝河、伏尔塔瓦河和多瑙河等。维斯瓦河是波兰第一长河,发源于贝斯基德山脉,长 1 047 km,流域面积占波兰国土面积的 2/3,最后注入波罗的海;奥得河为国际河流,发源于捷克,流经波兰西北部,最后注入波罗的海;伏尔塔瓦河为捷克第一长河,长 435 km,流经捷克西部地区,在梅尔尼克附近汇入拉贝河;拉贝河是国际河流,发源于捷克-波兰边境的苏台德山脉,流经捷克北部地区,之后进入德国;多瑙河是世界上最为国际化的河流,发源于德国西南部,从布拉迪斯拉发附近进入斯洛伐克境内,沿斯洛伐克和匈牙利边界向东流动,在布达佩斯北部折向南流,之后流经匈牙利全境。研究区域及河流分布如图 1 所示。

相关学者对研究区的测试指标主要集中于氮、磷、重金属等常规污染物以及药物等新兴污染物,而这些污染物也被认为是影响水环境的重要污染物,属于研究的热点和难点。本文主要对研究区的氮、磷、重金属以及药物等污染物指标进行分析。

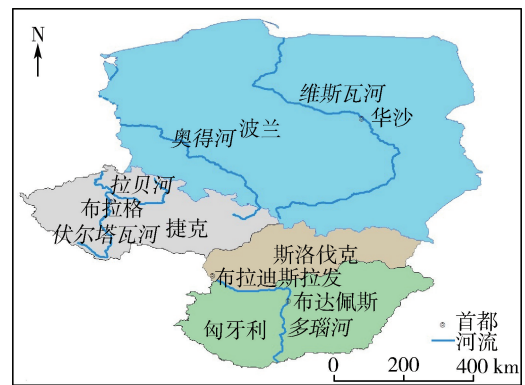


图 1 研究区域及河流分布

Fig. 1 Distribution of study area and river

2 地表水环境污染状况

2.1 维斯瓦河流域

波兰经济体制转变后,众多企业和工厂关闭,在此背景下,维斯瓦河的水质从 20 世纪 70 年代开始有显著的改善,部分污染物,如 N 和 P 的排放得到有效控制,在水体中的浓度趋于稳定。1985—2005 年,河流中 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度整体上呈下降趋势^[10];2009—2015 年,河流的平均 TN 排放量为 140 597 t/a,TP 排放量为 10 676 t/a^[11],较 2009 年,2015 年的 TN 排放量下降了约 20%,TP 排放量下降了约 26%。河流中的 N、P 主要来源于地下水、管网排水和污水处理厂,所占比例分别为 40%、30% 和 10%。同时,河流中 Hg 浓度在升高。2006 年 7 月检测到维斯瓦湖鸬鹚肾脏和肝脏中 Hg 质量比分别为 13.1 $\mu\text{g/g}$ 和 7.71 $\mu\text{g/g}$ ^[12],呈升高趋势。由于检测的鸬鹚主要以维斯瓦湖为栖息地,所以可以间接反映出维斯瓦河中 Hg 浓度也在升高。Hg 有剧毒,可在人体内累积并造成巨大伤害,如水俣病就是由 Hg 污染引起的,所以对维斯瓦河水体中 Hg 浓度的升高要有足够的重视。

从相关数据中得知,维斯瓦河流域中 N、P 等的污染程度基本得到控制,但近年来由于抗生素等药物的广泛使用和大量排入流域环境,抗生素等新兴污染物对流域水体造成的污染已不可忽视。在华沙市 Czajka 污水处理厂维斯瓦河排放处下游的 10 m 处检测到吠塞米和氢氯噻嗪(心血管药物)(2014 年),质量浓度分别为 2 670 ng/L 和 1 270 ng/L^[13]。在维斯瓦河上游华沙市生活用水取水处附近检测到了阿奇霉素(抗生素)和霉酚酸(免疫抑制剂),质量浓度分别为 53 ng/L^[14]和 1.5~5.5 ng/L^[15]。水体中的药物会引起较为严重的后果,如抗生素会引起抗生素污染,即导致敏感菌耐药性的增强以及耐药基因在环境中的扩展和演化,对其他生物也可能产生一定的

毒性^[16-19]。在城市以及大型污水处理厂下游水体中检测到抗生素等的浓度要远高于河流水体中的平均水平,所以生活污水等的排放是河流中抗生素等药物^[20]的主要来源。

2.2 奥得河流域

奥得河干流和支流流经西里西亚地区,两岸坐落有拉齐布日、弗罗茨瓦夫、什切青等重要城市。西里西亚地区属高度污染区域,主要产业为煤炭开采、金属采矿和金属冶炼等,有许多石油炼制、钢铁铸造等工矿企业。奥波莱市属于奥得河洪泛区,2010年,在奥波莱市南部所取土壤样品中检测到的重金属 Zn、Cu、Cd、Pb、Cr、Hg 质量比分别为 50.51 mg/kg、17.41 mg/kg、0.09 mg/kg、9.41 mg/kg、5.36 mg/kg 和 0.04 mg/kg。土壤中重金属可能会通过降雨和地表径流等方式进入水体,从而对奥得河造成污染。Biała Przemsza 河流经西里西亚地区,主要受重金属污染,2014年监测到的 Pb 和 Cd 平均质量比分别为 56.6 μg/g 和 1.62 μg/g^[21]。上述重金属元素在自然界中较难降解,可通过生物链进行富集,从而引起高血压,甚至导致肾功能衰竭。该地区的重金属污染主要由西里西亚地区石油化工等工业造成。矿化岩石的风化会导致水环境中重金属浓度升高,现在该地区的采矿和冶炼活动大大加快了重金属向环境中的排放。与维斯瓦河相似,虽然经过波兰经济转型后,西里西亚地区的采矿和冶金等工业活动有所减少,也针对重金属污染进行了一定程度的治理,但奥得河干流及支流的重金属浓度依然较高。工业活动中较大量的重金属排放,以及重金属在该地区的迁移和二次污染,可能是造成重金属污染的原因。

过去近 50 年,人类活动的加剧对奥得河水环境产生了较大影响。2009—2015 年,流域内平均 TN 和 TP 的排放量分别达 94 550 t/a 和 5 051 t/a^[11],2014 年奥得河和奥得河潟湖存在富营养化,该流域中甘醇二甲醚(工业溶剂)质量浓度较高(二甘醇二甲醚 0.056 μg/L;三甘醇二甲醚 0.219 μg/L,四甘醇二甲醚 0.786 μg/L)。工业溶剂可通过皮肤或呼吸系统进入人体,从而对人体产生危害。奥得河中甘醇二甲醚的重要来源为莱格尼察市的污水处理厂^[22],此外靠近河流的众多印刷厂、木材工厂以及化工企业也造成了奥得河水环境的污染,是奥得河及支流中甘醇二甲醚等有机污染物的重要来源。

2.3 拉贝河-伏尔塔瓦河流域

在拉贝河流域流经的波希米亚地区采集的样品中检测到布洛芬、双氯芬酸、萘普生、酮洛芬和吲哚美辛等 5 种非甾体抗炎药,其中布洛芬的浓度最高。

2011 年在 Čelákovice 镇大坝下游检测到的双氯芬酸质量浓度为 514 ~ 1 080 ng/L,布洛芬质量浓度为 3 210 ng/L^[23]。与 2000 年相比,药物浓度有显著升高,支流的药物质量浓度要大于干流,涉及范围较广,农村地区也检测到药物的存在。虽然自 20 世纪 90 年代以来,拉贝河流域的干流河段水质因经济活动减少而得到一定程度的改善,但其支流仍受到工业废水和生活污水排放的影响,许多支流的水质仍在不断恶化。2010 年拉贝河 Verdek 镇和比利纳河 Tmice 镇的 PFAS(全氟烷基和多氟烷基物质)质量比分别为 47.8 ng/g 和 51.9 ng/g^[24],污染源主要为化工企业等,该地区 PFAS 污染水平略低于世界范围内大型工业区的平均水平。比利纳河中的 As、Cd 等重金属含量如表 1 所示,其地表水中 Cd 质量浓度接近水质基准限值,Pb 浓度超出基准限制,污染程度较高。Slapy 水库是伏尔塔瓦河上一座重要水库,库中 TP 质量浓度波动较大,1963—2015 年其平均水平为 31 ~ 77 μg/L^[25]。52 年间水中 TP 质量浓度整体上呈现下降趋势,但仍有富营养化的风险。Slapy 水库水体的营养程度可以在一定程度上反映伏尔塔瓦河中 TP 质量浓度的变化情况以及富营养化的风险。

表 1 2004—2007 年比利纳河重金属含量

Table 1 Contents of heavy metals in Bilina River from 2004 to 2007

重金属	地表水中/ (μg · L ⁻¹)	生物膜中/ (mg · kg ⁻¹)	沉积物中/ (mg · kg ⁻¹)
As	14.13	68.22	77.18
Cd	0.23	7.99	4.00
Hg	0.10	1.61	2.22
Pb	7.92	67.40	85.38
V	85.56	398.17	595.17
Zn	35.95	495.67	549.83

2.4 多瑙河流域

研究区域内多瑙河河段水体中主要检测到萘、茈、茈烯、茈、茈、茈并(a)萘等 10 种多环芳烃^[26-27], (萘,茈,茈烯,茈,萘,菲,茈萘,茈,茈,茈并(a)萘)的质量浓度分别为 21.09 ng/L、3.62 ng/L、3.51 ng/L、6.16 ng/L、2.25 ng/L、25.79 ng/L、11.35 ng/L、12.49 ng/L、2.14 ng/L 和 1.90 ng/L),其中茈和茈并(a)萘的质量浓度接近 EPA 水质基准的限值,其他种类多环芳烃的质量浓度远低于限值,总体上污染程度较轻。但多环芳烃属于强致癌物质,对人体危害巨大,仍要引起重视。水体中检测到的多环芳烃以两环和三环多环芳烃为主,在沉积物样品中检测到的多环芳烃主要是四环多环芳烃。根据其形成机制,多环芳烃根据来源可分为热源多环芳烃或石油

多环芳烃,石油多环芳烃主要来自城市车辆中的原油、汽油、柴油等精炼产品的泄漏,而热源多环芳烃主要来源于柴油、原油、煤炭的不完全燃烧。多瑙河水体和沉积物主要受热源多环芳烃的污染^[26-28],即多环芳烃的主要来源为柴油和煤炭等物质的不完全燃烧,未来应该针对这一来源进行重点治理。多瑙河中游河段受到粪便污染,与抗生素等药物污染类似,其污染程度在经过布达佩斯等大型城市以及污水处理厂后显著升高。2017年在布达佩斯上游 Szentendre 岛和下游 Csepel 岛所采样品中检测到了双酚 A、乙酰磺胺酸(人造甜味剂)、头孢吡肟、双氯芬酸和碘美普尔,质量浓度分别为 4~2 381 ng/L、102~512 ng/L、376 ng/L、154 ng/L、126 ng/L。此外,在多瑙河采集的样品中 59% 含有农药残留,污染比较严重,水体中农药的主要来源为匈牙利快速发展的农业对农药的大量使用。

3 地表水环境污染的影响与未来治理对策

“一带一路”沿线波兰、捷克、斯洛伐克和匈牙利等 4 个中欧国家的水环境污染主要有氮、磷、重金属、多环芳烃等常规污染物,以及药物等新兴污染物。虽然部分河流(如维斯瓦河)中氮、磷污染由于经济转型、工业活动等减少而得到了有效控制,但仍存在富营养化的风险,奥得河流域的重金属和有机污染物含量依然较高,所以还需要进行进一步治理。抗生素等新兴污染物由于近年来大量使用抗生素,且社会以及政府环境部门等对其关注和治理的力度很低,所以其在河流中的含量正在逐年上升,对人体以及环境的危害将更加深远,严重程度并不亚于氮、磷等常规污染物。水资源是工农业发展不可或缺的基础资源,保证水资源的清洁程度具有重要意义,而目前中欧 4 个国家地表水环境的污染会严重阻碍其发展,进而将对“一带一路”倡议“五通”(政策沟通、设施联通、贸易畅通、资金融通、民心相通)的构建产生不利影响。针对中欧地区国家特点和“一带一路”的政策需求,未来可针对以下方面进行重点治理:

a. 在水体中氮、磷等营养物质含量有所下降但仍存在富营养化风险的基础上,继续坚持相关的政策和措施,使水体中营养物质含量进一步下降,水质持续改善。

b. 针对造成水体中重金属污染的采矿、冶金等工业活动进一步进行治理,并对重金属元素在水环境中的迁移和二次污染进行重点研究。

c. 有机污染物的治理比重金属污染的治理难度更大,未来可在科学使用农药、化肥以及加强污染物无害化处理等方面采取有效措施。

d. 规范抗生素、免疫抑制剂等药物的使用,并加大对大型城市生活污水以及污水处理厂处理过程中抗生素等药物的监测和处理力度,从源头上减少排放到水环境中的药物。由于抗生素等药物属于新兴污染物,与常规污染物不同,目前对其在水体中质量浓度的测定以及不同地区分布情况的检测均处于初始阶段,未来要加强这方面的工作,并完善相关法律。

e. 由于“一带一路”沿线中欧 4 个国家中涉及多条国际河流,所以国家之间关于水环境污染治理的合作将变得尤为重要。如东南亚地区的湄公河流经中国、老挝、缅甸等 6 个国家,近年来各个国家之间不断加强河流治理的交流与合作,达成了一些有效的协议与机制。未来波兰、捷克、斯洛伐克、匈牙利之间也应在现有基础上(如由 14 个国家组成的多瑙河保护国际委员会等)进一步加强国家之间环境部门的高层互访,为跨界河流制定统一的水质标准等,并协商建立关于河流污染信息的共享、沟通、反馈机制。这既可以加强对跨界河流水体污染的治理,又能促进“一带一路”倡议“五通”的构建。

4 结 语

“一带一路”沿线波兰、捷克、斯洛伐克和匈牙利 4 个中欧国家水环境中氮、磷、重金属等常规污染物的污染程度近几十年来有了一定的改善,但仍存在一定的问题,而且抗生素等新兴污染物污染程度不断加剧,已经日渐成为另一个水环境污染重点。未来应该巩固好目前治理成果,使常规污染物的污染程度进一步减轻,并加强关于新兴污染物监测、研究、法律法规制定等方面的工作。国家之间还应该针对跨界河流进行共同治理,使水环境在整个流域不断改善,避免只对部分河段进行治理,之后却又遭受其他河段水体污染情况的出现。“一带一路”合作倡议提出时间较短,针对中欧地表水环境污染的研究还相对较少。水环境污染是“一带一路”实施亟须解决的问题。本文对“一带一路”沿线中欧 4 个国家地表水环境污染的分析涉及范围较广,在具体问题上的分析深度不够,今后可针对具体的污染物进行深入研究。

参考文献:

[1] 左其亭,郝林钢,刘建华,等.“一带一路”分区水资源特征及水安全保障体系框架[J].水资源保护,2018,34(4):16-21.(ZUO Qiting,HAO Lingang,LIU Jianhua,et al.Characteristics of water resources in“Belt and Road” district and its framework of water security system[J].

- Water Resources Protection, 2018, 34 (4): 16-21. (in Chinese))
- [2] 左其亭, 韩春辉, 郝林钢, 等. “一带一路”主体路线及主体水资源区研究[J]. 资源科学, 2018, 40(5): 1006-1015. (ZUO Qiting, HAN Chunhui, HAO Lingang, et al. The main route and water resource areas of the Belt and Road Initiative [J]. Resources Science, 2018, 40 (5): 1006-1015. (in Chinese))
- [3] 郝林钢, 左其亭, 韩春辉, 等. “一带一路”沿线分区用水结构与产业结构的分析比较[J]. 干旱区研究, 2019, 36 (1): 44-51. (HAO Lingang, ZUO Qiting, HAN Chunhui, et al. Water consumption and industrial structure in different regions along the “Belt and Road” [J]. Arid Zone Research, 2019, 36(1): 44-51. (in Chinese))
- [4] 郝林钢, 左其亭, 刘建华, 等. “一带一路”中亚区水资源利用与经济社会发展匹配度分析[J]. 水资源保护, 2018, 34 (4): 42-48 (HAO lingang, ZUO Qiting, LIU Jianhua, et al. Analysis of matching degree between water resource utilization and economic-social development in Central Asia area of “Belt and Road” [J]. Water Resources Protection, 2018, 34(4): 42-48. (in Chinese))
- [5] 韩淑颖, 马军霞, 王鑫, 等. “一带一路”欧洲区水资源管理发展历程及启示[J]. 水资源保护, 2018, 34(4): 29-34. (HAN Shuying, MA Junxia, WANG Xin, et al. Development history of water resource management in Europe area of “Belt and Road” and its enlightenment [J]. Water Resources Protection, 2018, 34(4): 29-34. (in Chinese))
- [6] 左其亭, 郝林钢, 马军霞, 等. “一带一路”分区水问题与借鉴中国治水经验的思考[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(1): 1-7. (ZUO Qiting, HAO Lingang, MA Junxia, et al. “Belt and Road” water problem in regionalization and reflections on drawing lessons from China’s water management experiences [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(1): 1-7. (in Chinese))
- [7] 孙才志, 王中慧. 中国与“一带一路”沿线国家农产品贸易的虚拟水量流动特征[J]. 水资源保护, 2019, 35 (1): 14-19 (SUN Caizhi, WANG Zhonghui. Characteristics of virtual water volume flow of agricultural products trade between China and countries along “Belt and Road” [J]. Water Resources Protection, 2019, 35 (1): 14-19. (in Chinese))
- [8] 张兆方, 沈菊琴, 何伟军, 等. “一带一路”中国区域水资源利用效率评价: 基于超效率 DEA-Malmquist-Tobit 方法[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2018, 20 (4): 60-66. (ZHANG Zhaofang, SHEN Juqin, HE Weijun, et al. An analysis of water utilization efficiency of the belt and road initiative’s provinces and municipalities in China based on DEA-Malmquist-Tobit model [J]. Journal of Hohai University (Philosophy and Social Sciences), 2018, 20(4): 60-66. (in Chinese))
- [9] 朱源, 施国庆, 程红光, 等. “一带一路”倡议的环境社
- 会政策框架研究[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2017, 19 (1): 69-73 (ZHU Yuan, SHI Guoqing, CHEN Hongguang, et al. A study of environmental and social policy framework of “The Belt and Road Initiative” [J]. Journal of Hohai University (Philosophy and Social Sciences), 2017, 19(1): 69-73. (in Chinese))
- [10] ABSALON D. Changes in water quality in the Upper Wisla (Vistula) River Basin [C]//2009 Second International Conference on Environmental and Computer Science. Silesia Sosnowiec: IEEE, 2009: 29-32.
- [11] PASTUSZAK M, KOWALKOWSKI T, KOPIŃSKI JERZY, et al. Long-term changes in nitrogen and phosphorus emission into the Vistula and Oder catchments (Poland): modeling (MONERIS) studies [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2018, 25 (29): 29734-29751.
- [12] MISZTAŁ-SZKUDLIŃSKA M, KALISIŃSKA E, SZEFER P, et al. Mercury concentration and the absolute and relative sizes of the internal organs in cormorants *Phalacrocorax carbo* (L. 1758) from the breeding colony by the Vistula Lagoon (Poland) [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2018, 154: 118-126.
- [13] GIEBUŁTOWICZ J, STANKIEWICZ A, WROCZYŃSKI P, et al. Occurrence of cardiovascular drugs in the sewage-impacted Vistula River and in tap water in the Warsaw region (Poland) [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, 23 (23): 24337-24349.
- [14] GIEBUŁTOWICZ J, TYSKI S, WOLINOWSKA R, et al. Occurrence of antimicrobial agents, drug-resistant bacteria, and genes in the sewage-impacted Vistula River (Poland) [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2018, 25 (6): 5788-5807.
- [15] GIEBUŁTOWICZ J, NAŁCZ-JAWECKI G. Occurrence of immunosuppressive drugs and their metabolites in the sewage-impacted Vistula and Utrata rivers and in tap water from the Warsaw region (Poland) [J]. Chemosphere, 2016, 148: 137-147.
- [16] JABŁOŃSKA-CZAPLA M, NOCÓN K, SZOPA S, et al. Impact of the Pb and Zn ore mining industry on the pollution of the Biała Przemsza River, Poland [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2016, 188 (5): 262.
- [17] STEPIEN D K, PÜTTMANN W. Source identification of high glyme concentrations in the Oder River [J]. Water Research, 2014, 54: 307-317.
- [18] 胡冠九, 陈素兰, 穆肃, 等. 江苏省某市典型饮用水水源中抗生素质量浓度特征[J]. 水资源保护, 2016, 32 (3): 84-88. (HU Guanjiu, CHEN Sulan, MU Su, et al. Characteristics of concentrations of antibiotics in typical drinking water sources in a city of Jiangsu Province [J]. Water Resources Protection, 2016, 32 (3): 84-88. (in

- Chinese))
- [19] 李勇,蒋婷婷,景龙飞,等. 舟山岛水库有机农药和抗生素残留特征及潜在风险评估[J]. 水资源保护,2014,30(3):31-37. (LI Yong,JIANG Tingting,JING Longfei,et al. Characteristics of residual organic pesticides and antibiotics in reservoirs of Zhoushan Islands and potential risk evaluation [J]. Water Resources Protection,2014,30(3):31-37. (in Chinese))
- [20] MARSIK P, REZEK J, ŽIDKOVÁ M, et al. Non-steroidal anti-inflammatory drugs in the watercourses of Elbe basin in Czech Republic[J]. Chemosphere,2017,171:97-105.
- [21] SVIHLIKOVA V, LANKOWA D, PLOUTKA J, et al. Perfluoroalkyl substances (PFASs) and other halogenated compounds in fish from the upper Labe River basin[J]. Chemosphere,2015,129:170-178.
- [22] VYSTAVNA Y, HEJZLAR J, KOPÁČEK J. Long-term trends of phosphorus concentrations in an artificial lake; Socio-economic and climate drivers[J]. PloS One,2017,12(10):e0186917.
- [23] NAGYA, SIMON G, VASS I. Monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface water of the Hungarian upper section of the Danube River [J]. Nova Biotechnologica et Chimica,2012,11(1):27-36.
- [24] KIRSCHNER A K T,REISCHER G H,JAKWERTH S,et al. Multiparametric monitoring of microbial faecal pollution reveals the dominance of human contamination along the whole Danube River[J]. Water Research,2017,124:543-555.
- [25] NAGY-KOVÁCS Z, LÁSZLÓ B, FLEIT E, et al. Behavior of organic micropollutants during river bank filtration in Budapest, Hungary[J]. Water,2018,10(12):1861.
- [26] MALOSCHIK E, ERNST A, HEGEDŰS G, et al. Monitoring water-polluting pesticides in Hungary [J]. Microchemical Journal,2007,85(1):88-97.
- [27] 姚晶晶,吴东海,陆光华,等. 水环境中PPCPs检测技术及风险评估研究进展[J]. 水资源保护,2018,34(1):76-82. (YAO Jingjing,WU Donghai,LU Guanghua,et al. Research progress of aquatic PPCPs detection technology and risk assessment [J]. Water Resources Protection,2018,34(1):76-82. (in Chinese))
- [28] 戴颖萱,刘颖,丁珊珊,等. 光催化降解水环境中多环芳烃的研究进展[J]. 水资源保护,2018,34(5):63-68. (DAI Yuxuan,LIU Ying,DING Shanshan,et al. Research progress on photocatalytic degradation of PAHs in water environment [J]. Water Resources Protection,2018,34(5):63-68. (in Chinese))

(收稿日期:2019-05-19 编辑:彭桃英)

(上接第33页)

- [12] 广东省水文局. 广东省暴雨径流查算图表使用手册[R]. 广州:广东省水文局,1991.
- [13] 刘家福,蒋卫国,占文凤,等. SCS模型及其研究进展[J]. 水土保持研究,2010,17(2):120-124. (LIU Jiafu,JIANG Weiguo,ZHAN Wenfeng,et al. Processes of SCS model for hydrological simulation;a review [J]. Research of Soil and Water Conservation,2010,17(2):120-124. (in Chinese))
- [14] 许波刘,董增川,洪娴. 集总式喀斯特水文模型构建及其应用[J]. 水资源保护,2017,33(2):37-42,58. (XU Boliu,DONG Zengchuan,HONG Xian. Lumped karst hydrological model and its application [J]. Water Resources Protection,2017,33(2):37-42,58. (in Chinese))
- [15] WILLIAMS J R, LASEUR W V. Water yield model using SCS curve numbers [J]. Journal of the Hydraulics Division,1976,102(9):1241-1253.
- [16] 齐苑儒,李怀恩,李家科,等. 西安市非点源污染负荷估算[J]. 水资源保护,2010,26(1):9-12,74. (QI Yuanru,LI Huaen,LI Jiake,et al. Estimation of Xi'an urban non-point source pollution load [J]. Water Resources Protection,2010,26(1):9-12,74. (in Chinese))
- [17] 赵人俊. 流域水文模拟:新安江模型与陕北模型[M]. 北京:水利水电出版社,1984.
- [18] 芮孝芳,凌哲,刘宁宁,等. 新安江模型的起源及其进一步发展的建议[J]. 水利水电科技进展,2012,32(4):1-5. (RUI Xiaofang,LING Zhe,LIU Ningning,et al. Origin of Xin'anjiang model and its further development [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2012,32(4):1-5. (in Chinese))
- [19] 霍文博,朱跃龙,李致家,等. 新安江模型和支持向量机模型实时洪水预报应用比较[J]. 河海大学学报(自然科学版),2018,46(4):283-289. (HUO Wenbo,ZHU Yuelong,LI Zhijia,et al. Comparison of Xin'anjiang model and Support Vector Machine model in the application of real-time flood forecasting [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences),2018,46(4):283-289. (in Chinese))
- [20] 杨哲,张行南,夏达忠,等. 基于包气带厚度的流域蓄水量计算及水文模拟[J]. 水力发电学报,2015,34(3):8-13. (YANG Zhe,ZHANG Xingnan,XIA Dazhong,et al. Calculation of maximum thickness of unsaturated zone and modeling of hydrological process in Xingxing watershed [J]. Journal of Hydroelectric Engineering,2015,34(3):8-13. (in Chinese))
- [21] 刘家宏,周晋军,邵薇薇. 城市高耗水现象及其机理分析[J]. 水资源保护,2018,34(3):17-21. (LIU Jiahong,ZHOU Jinjun,SHAO Weiwei. Analysis of urban high water dissipation phenomenon and its mechanism [J]. Water Resources Protection,2018,34(3):17-21. (in Chinese))

(收稿日期:2019-09-25 编辑:彭桃英)