

徐阳洁, 陆运涛, 仇雁翎, 等. 太湖周边水厂原水中有机磷酸酯的赋存状况及处理效果[J]. 净水技术, 2022, 41(3):46-53.

XU Y J, LU Y T, QIU Y L, et al. Occurrence and treatment effect of organophosphate esters in raw water of WTPs in surrounding areas of Taihu Lake[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(3):46-53.



扫我试试?

太湖周边水厂原水中有机磷酸酯的赋存状况及处理效果

徐阳洁^{1,2}, 陆运涛^{1,2}, 仇雁翎^{1,2,*}, 张 华³, 朱志良^{2,3}, 尹大强^{1,2}

(1. 同济大学环境科学与工程学院, 长江水环境教育部重点实验室, 上海 200092; 2. 上海污染控制与生态安全研究院, 上海 200092; 3. 同济大学环境科学与工程学院, 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

摘 要 目前, 有机磷酸酯(organophosphate esters, OPEs)已在各类环境介质中被普遍检出。由于亲脂性, 进入水环境中的OPEs易在水生生物体内富集, 并通过食物链放大后造成危害。文中选取太湖周边典型水厂, 检测分析水厂原水中OPEs的赋存特征, 并考察水处理工艺段对OPEs的处理效果。结果表明, 太湖周边水体中11种OPEs的总含量为48.7~1100 ng/L, 且整体呈现“西南低东北高”的特点。研究的水处理工艺段对超过半数的OPEs产生一定的去除效果, 但去除效率因物质而异。该结果有望为深入了解太湖流域饮用水中OPEs的来源、环境行为及最终归趋提供科学依据。

关键词 有机磷酸酯 饮用水 太湖 处理效果 赋存特征 水厂

中图分类号: TU991.2 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2022)03-0046-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.03.007

Occurrence and Treatment Effect of Organophosphate Esters in Raw Water of WTPs in Surrounding Areas of Taihu Lake

XU Yangjie^{1,2}, LU Yuntao^{1,2}, QIU Yanling^{1,2,*}, ZHANG Hua³, ZHU Zhiliang^{2,3}, YIN Daqiang^{1,2}

(1. Key Laboratory of Yangtze River Water Environment <Ministry of Education>, College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Shanghai Institute of Pollution Control and Ecological Security, Shanghai 200092, China;

3. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract Currently, organophosphate esters (OPEs) are widely detected in environment. However, due to strong lipophilicity, OPEs are prone to undergo bioaccumulation and biomagnification in aquatic organisms after entering water environment, and then cause harm. In this study, water treatment plants (WTPs) in surrounding area of Taihu Lake were selected. The concentration and composition characteristics of 11 target OPEs in raw water of WTPs were analyzed, and the treatment effects of OPEs in main water treatment processes were investigated. Results showed that the concentration of target OPEs in the surface water of Taihu Lake and its surrounding waters were in the range of 48.7~1100 ng/L. Geographically, target OPEs in surface waters of Taihu Lake and its vicinity showed a characteristic of “low in southwest and high in northeast”. Studied WTPs showed a certain removal effect on more than half amount of target OPEs, but removal efficiency varied from substance to substance. Results are expected to provide a scientific basis for in-depth understanding of source, environmental behavior and eventual fate of OPEs in drinking water of Taihu Lake.

Keywords organophosphate esters (OPEs) drinking water Taihu Lake treatment effect occurrence characteristics water treatment plant (WTP)

[收稿日期] 2021-09-06

[基金项目] 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07201005)

[作者简介] 徐阳洁(1997—), 女, 硕士, 研究方向为环境污染物的监测分析, E-mail: 1930520@tongji.edu.cn。

[通信作者] 仇雁翎, 女, 教授, 研究方向为环境污染物的监测分析、环境行为机制与健康效应, E-mail: yliqiu@tongji.edu.cn。

随着多溴联苯醚和以六溴环十二烷为代表的溴代阻燃剂在全球范围内逐步被禁止生产和使用,有机磷酸酯(OPEs)作为替代阻燃剂在国际市场上得到了更多的应用,OPEs还被广泛用作各种家居和工业产品中的塑化剂和消泡剂^[1-3]。OPEs在多领域的应用促使我国对OPEs的生产量持续增加。1999年,我国OPEs的年产量仅为0.7万t^[4];2007年,OPEs的年生产量接近7.0万t^[5];到2010年,OPEs的年产量已达10.0万t^[6]。OPEs主要以物理添加的方式与产品结合,极易在使用过程中因磨损而被释放到环境中^[7]。由于其具有较强的亲脂性,进入水环境中的OPEs易在水生生物体内富集,并通过食物链放大。此外,Suhring等^[8]在北极地区构建的大气模型显示,一些OPEs具有非常高的环境持久性和远距离迁移能力。已有的毒理研究数据表明,多种OPEs具有致癌性、生殖毒性、神经毒性和内分泌干扰性等危害^[9-10]。因此,OPEs的危害不容小觑。

目前,已在多种环境介质中检测到OPEs的存在,然而不同环境介质中其含量水平差异较大。总体而言,OPEs在水体和室内灰尘中的检出含量较高,在其他介质中的检出含量较低。Li等^[11]检测了我国8个城市饮用水中9种OPEs的含量水平,结果发现自来水中9种OPEs(Σ_9 OPEs)的含量为85.1~325 ng/L。Xu等^[12]和Zhang等^[13]分别对洞庭湖中的OPEs和抗生素进行检测,结果发现雨季两类物质的含量分别为5~45.7 ng/L和5.32~107 ng/L。Schmidt等^[14]对地中海马赛峡湾2017年—2018年的海水样品进行检测,发现 Σ_9 OPEs的含量为9~1 010 ng/L,而相同样品中检测到的邻苯二甲酸酯(PAEs)的总含量为100~527 ng/L。由此可知,地表水体中OPEs的含量水平已与抗生素和PAEs的含量相当。

太湖及其周边水体(包括长江等大型河流与小型河网)一直以来是周边地区人民主要的饮用水和生活用水来源,然而近些年来,太湖流域水体中包括有机磷在内的污染日益加重,因此,亟需对相关污染物的污染程度及赋存状况进行研究分析。本文以工业、生活中大量使用的11种OPEs作为目标污染物,选取太湖周边8个典型的饮用水厂作为检测对象,分别于2018年9月和2019年4月采集水样,检测分析水厂原水中11种OPEs的含量水平和组成

特征,并考察主要水处理工艺段对OPEs的处理效果,以期深入了解太湖流域饮用水中OPEs的来源、环境行为及最终归趋提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试剂与仪器

磷酸三丙酯(TPP)、磷酸三丁酯(TnBP)、磷酸三(2-乙基己基)酯(TEHP)、磷酸三(2-氯乙基)酯(TCEP)、磷酸三(2-氯异丙基)酯(TCIPP)、磷酸三苯酯(TPhP)、磷酸三甲苯酯(TMPP)和磷酸三(2-丁氧基乙基)酯(TBOEP)等购自德国Dr. Ehrenstorfer公司;磷酸三乙酯(TEP)、磷酸三(1,3-二氯-1-丙基)酯(TDCIPP)和2-乙基己基二苯基磷酸酯(EHDPP)购自美国AccuStandard公司;氘代磷酸三丁酯(TnBP-d27)和氘代磷酸三苯酯(TPhP-d15)购自挪威Chiron AS公司;正己烷、丙酮和乙酸乙酯均为HPLC级,购自CNW Technologies GmbH公司;甲醇和二氯甲烷均为HPLC级,购自上海安谱科学仪器有限公司;玻璃纤维滤膜购自上海亚兴净化材料厂;GC进样小瓶购自CNW Technologies GmbH公司;Oasis HLB小柱和巴斯德管购自上海安谱科学仪器有限公司。

气相色谱-三重四级杆串联质谱仪(TSQ-Quantum XLS)购自Thermo Fisher公司;电子天平(FA2004 N)购自上海精密科学仪器有限公司;Millipore超纯水仪(GWA-UP)购自北京普析通用仪器有限公司;固相萃取装置购自CNW Technologies GmbH公司;氮吹仪(MTN-2800 D)购自北京华瑞博远科技发展有限公司;涡流振荡器(XW-8XA)购自海门市其林贝尔仪器有限公司;真空泵(GM-0.33B)购自天津市津腾实验设备有限公司

1.2 样品的采集和预处理

本研究分别于2018年9月和2019年4月对太湖周边的8座饮用水水厂进行集中采样,水厂分布如图1所示。采样点以各水厂进水、出水及其不同处理工艺段为单元进行布设,共计42个采样点。使用棕色玻璃瓶盛放水样以避免光照对目标物产生影响,采样后冷藏并尽快运回实验室,在24 h内将水样通过0.45 μ m玻璃纤维滤膜进行过滤以去除悬浮物等杂质,保证其稳定性和有效性。过滤后的水样保存在低温环境中以待进一步的处理分析。

取500 mL过滤后水样,加入20 ng替代标

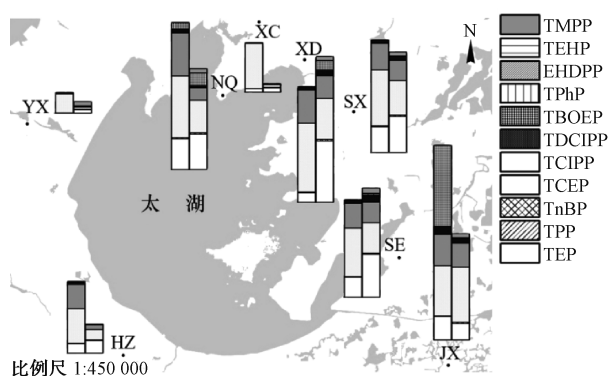


图1 太湖周边水厂采样与 OPEs 含量空间分布

Fig. 1 Distribution of OPEs Levels in Samplings of WTPs in Surrounding Area of Taihu Lake

TnBP-d27 并超声使其混合均匀。上样前,依次用 5 mL 二氯甲烷溶液和 5 mL 超纯水活化 Oasis HLB 小柱,而后控制水样以 10 mL/min 通过小柱,待真空泵加压抽气将小柱真空干燥处理 30 min 后,用二氯甲烷溶液洗脱小柱得到洗脱液。将收集得到的洗脱液通过无水硫酸钠进一步干燥除水,而后氮吹至约 1 mL,转移至 GC 小瓶,再氮吹至近干,最后加入内标 TPhP-d15 并定容至 1 mL,等待上机分析。

1.3 仪器分析条件

采用气相色谱-三重四级杆串联质谱对样品进行定量分析。色谱条件:气相色谱柱为 Agilent DB-5 MS (30 m×0.25 mm×0.25 μm),载气采用高纯氮气,柱流速为 1 mL/min,进样量为 1 μL,不分流进样。升温程序:初始柱温 60 °C (保持 1 min),先以 15 °C/min 升至 260 °C,再以 3 °C/min 升至 270 °C (保持 1 min),最后以 20 °C/min 升至 300 °C (保持 2 min),进样口温度为 250 °C。质谱条件:质谱运行模式为 EI 源电离,选择反应监测扫描模式 (SRM),高纯氦气为碰撞气,离子源温度和 MS 传输线温度分别为 250 °C 和 280 °C。

1.4 质量控制与保证

样品采集过程中,携带 1 个空白水样作为全程空白,每个采样点各采集 3 份水样,以排查采样过程中可能出现的意外污染和干扰。样品分析过程中,采用方法空白、基质加标、样品平行样和标准工作曲线等措施来进行分析质量控制。标准工作曲线采用内标法定量,每做一批次样品均同时加入 1 个空白样品。每个待测样品中均加入回收率指示物 TnBP-d27 (替代标),其回收率为 62%~115%。加标回收

率中 TEP 和 TPP 较低,分别为 46%±11% 和 31%±18%;EHDPP 回收率较高,为 129%±12%;其余均分布在 80%~129%。仪器分析过程中,在样品分析前后以及每分析 10 个样品后,都用空白溶剂和已知浓度的标准样品检查仪器的灵敏度和稳定性。若标准样品实际测定浓度与理论浓度的差值大于理论浓度的 20%,则重新配制标准工作曲线溶液。检测方法对各物质的检出限主要分布在 0.036~2.06 ng/L。

2 结果与讨论

2.1 太湖周边饮用水中 OPEs 的赋存状况

2.1.1 太湖周边饮用水原水中 OPEs 的含量

2018 年 9 月和 2019 年 4 月太湖周边 8 个饮用水水厂原水中 11 种 OPEs 的含量如表 1 所示。在所有采集到的原水样品中,11 种 OPEs 均有检出,8 种 OPEs 的检出率达到 100%。总体而言,2018 年 9 月样品中 $\sum_{11}$ OPEs 的含量为 115~1 100 ng/L,平均含量为 569 ng/L;2019 年 4 月样品中 $\sum_{11}$ OPEs 的含量为 48.7~768 ng/L,平均含量为 449 ng/L。上述含量水平与 2013 年我国渤海湾水体中 $\sum_{12}$ OPEs 的含量水平 (9.6~1 550 ng/L) 相当^[15],高于 2011 年—2012 年北美五大湖中 $\sum_6$ OPEs 的含量 (7.3~95.9 ng/L)^[16],且上述研究组分与本研究的 OPEs 主要成分基本一致。比较 2 个月份的结果,发现 2018 年 9 月采集的原水样品中 $\sum_{11}$ OPEs 的含量水平更高。究其原因,OPEs 在产品使用的过程中通过磨损挥发、溶出等多途径进入环境^[17],含有 OPEs 的污水可以直接将 OPEs 带入水环境,此外受 OPEs 污染的空气、土壤和灰尘也可以通过雨水冲刷或地表径流等方式间接将 OPEs 汇入水环境。根据水利部太湖流域管理局水情月报^[18-19]显示,2018 年 9 月太湖流域平均降雨量为 135.6 mm,远大于 2019 年 4 月的平均降雨量 (62.2 mm),由此可推测,造成 2018 年 9 月样品中 OPEs 含量更高的原因与降雨量大导致的大气湿沉降和地表径流较大有关。此外,9 月更高的平均气温也促使含有 OPEs 的产品在生产和使用过程中更多地通过挥发溶出等途径释放进入环境。

2.1.2 太湖周边饮用水原水中 OPEs 的空间分布特征

太湖周边所采样的饮用水厂与原水中 OPEs 含量的空间分布如图 1 所示。太湖周边水厂原水中

表 1 2018 年 9 月和 2019 年 4 月太湖周边水厂原水中 OPEs 的含量水平 (单位:ng/L)

Tab. 1 Concentrations of OPEs in Surrounding Areas of Taihu Lake in September 2018 and April 2019 (Unit: ng/L)

目标物质	2018 年 9 月			2019 年 4 月		
	范围	平均值	检出率	范围	平均值	检出率
TCEP	105~387	269	100%	11.6~310	147	100%
TCIPP	4.55~242	130	100%	<MDL~135	74	100%
TDCIPP	<MDL~43.7	17.1	100%	3.29~37.9	18.1	100%
TPP	0.39~0.92	0.61	100%	N. D. ~0.49	0.12	50%
TnBP	<MDL~6.88	2.94	100%	2.32~8.8	5.8	100%
TEP	<MDL~173	86.1	100%	18.9~343	149	100%
TEHP	N. D. ~0.76	0.27	50%	N. D. ~0.7	0.12	37.5%
TBOEP	N. D. ~456	61.3	25%	N. D. ~91.95	34.4	50%
TPhP	<MDL~2.3	0.78	100%	0.12~8.87	2.32	100%
EHDPP	0.06~0.7	0.34	100%	N. D. ~1.34	0.34	87.5%
TMPP	N. D. ~1.89	0.49	62.5%	N. D. ~30.1	18	75%
Σ 氯代 OPEs	113~612	417	100%	18.3~470	239	100%
Σ 烷基 OPEs	1.60~592	151	75%	21.3~353	189	65%
Σ 芳基 OPEs	0.11~4.65	1.61	87.5%	0.31~40.4	20.7	87.5%
Σ ₁₁ OPEs	115~1 100	569	85.2%	48.7~768	449	80.7%

注:MDL 为检出限;N. D. 为未检出

OPEs 含量呈现出“西南低东北高”的特点,这与太湖周边的产业分布特点有关。张姗姗等^[20]利用空间分析法对太湖周边的污染型制造业进行了空间集聚分析,发现在太湖东北部的苏州高新科技园区拥有众多计算机、通讯及电子设备制造企业,这些企业在生产过程中会向产品添加大量有机磷阻燃剂,通过废水、废气将其排放并影响周边环境,使相关污染加剧。

2.1.3 太湖周边饮用水水源原水中 OPEs 的含量差异

太湖周边饮用水厂按水源类型主要分为湖泊型、河网型和江河型^[21],本研究中,JX 水厂的水源为河网型,XC 水厂的水源为江河型,而 SX、XD、NQ、YX、HZ、SE 水厂的水源均为湖泊型。不同水源类型水厂的原水样品中 OPEs 的含量分布如图 2 所示,其中各物质的含量均为该水源类型原水中其含

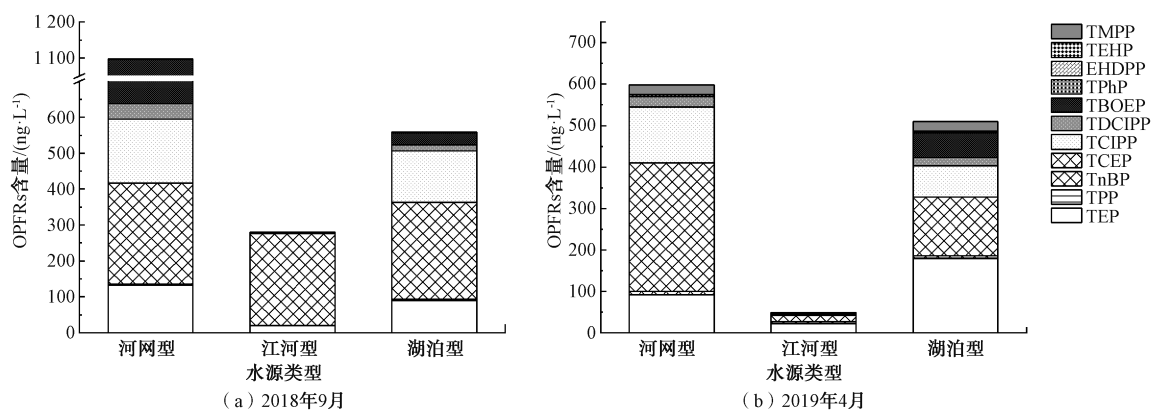


图 2 太湖周边不同类型水源的原水中 OPEs 的含量情况

Fig. 2 Concentrations of OPEs in Raw Water of Different Sources in Surrounding Areas of Taihu Lake

量的平均值。两个季节采集得到的不同水源类型的原水样品中 Σ_{11} OPEs的含量均为河网型>湖泊型>江河型。河网型水系由密集复杂的小型河流组成,特点为水流速小、与周边城镇的接触面积大,使得其中的OPEs不易被稀释迁移,从而造成其一定程度的累积和聚集。太湖等湖泊的周围土地面积广且水体水力停留时间长,对OPEs同样具有汇集作用,然而其水量大对污染物的稀释作用明显,因此,OPEs的含量水平相对较低。江河型水系为长江等大型河流,其主要特征是水流量大、水流速大,其中的污染物更易被扩散稀释或发生转化降解,因此,相比其他两类水源,OPEs在其中的含量水平最低。

2.1.4 太湖周边饮用水原水中OPEs的组成特征

根据取代基团的不同OPEs可以大致分为氯代OPEs、烷基OPEs和芳基OPEs^[22]。不同取代基的OPEs物理化学性质差异显著^[23]。由表1、图1和图2可知,2018年9月水样中氯代OPEs、烷基OPEs和芳基OPEs分别占总含量水平的73.2%、26.6%和0.28%;2019年4月水样中氯代OPEs、烷基OPEs和芳基OPEs分别占总含量水平的55.6%、39.6%和4.81%。两个季节采集的样品均呈现氯代OPEs含量占比最高,烷基OPEs次之,芳基OPEs含量占比最低的现象。三类OPEs在原水中含量差异显著,一方面与其的使用量密不可分^[24],另一方面也与其性质有关。研究表明,烷基OPEs和芳基OPEs在沉积物、悬浮颗粒物等固相中所占的比例明显高于地表水中,这一分配系数与其辛醇水分配系数显著相关^[25]。TCEP在氯代OPEs中占比最高,在两个季节里分别占氯代OPEs总含量的64.7%和61.5%,为11.6~386 ng/L,均值为208 ng/L,其含量水平高于2012年西班牙3条河流(1.60~330 ng/L,均值为85.3 ng/L)^[26]、2014年—2015年美国奥兰多河流(100~190 ng/L)^[27]以及我国成都锦江流域(0.16~98.3 ng/L,均值为33.3 ng/L)^[28]。烷基OPEs中TEP的含量占比显著高于同类别的其他物质,两个季节其在烷基OPEs中的占比分别为56.9%和87.5%。可能一方面与TEP的辛醇水分配系数(0.8)有关,使其成为极性和亲水性均较强的化合物^[29];另一方面与其饱和蒸汽压(0.165)远高于其他烷基OPEs有关,在同样的温度条件下TEP比其他烷基OPEs更易通过挥发进入环境中^[3,8]。

2.2 太湖周边饮用水中OPEs的处理效果

2018年9月和2019年4月太湖周边8个水厂进水和出水中11种OPEs的含量水平以及水厂对OPEs的总处理效果如图3所示,其中的去除效率均为平均去除效率。总体而言,太湖周边的饮用水厂可以对超过半数的OPEs产生一定的去除效率。其中,饮用水厂对烷基OPEs的总去除效果最稳定,8个饮用水厂在2个月份对烷基OPEs的去除效率分别为12.1%和28.5%。烷基OPEs主要通过吸附和氧化反应被去除,然而不同的水处理工艺对烷基OPEs的去除效果变化较大。相较而言,饮用水厂对氯代OPEs的去除效果最差甚至可能为负,该结果与Meyer等^[30]研究OPEs在污水处理厂的处理效果得到的结论相似,即水处理工艺对氯代OPEs和非氯代OPEs的去除差别很大,且工艺段对氯代OPEs的去除效果很差。除此之外,分析数据显示这些饮用水厂可以对芳基OPEs达到最高的去除效率,然而考虑到芳基OPEs在原水中含量占比较低,数据误差相对较大,因此并无实际意义。

本研究选择5种饮用水厂常规的水处理工艺(预臭氧、絮凝、沉淀、砂滤和炭滤),对比各处理工艺段对三类OPEs的处理效果,结果如图4所示。预臭氧工艺段对烷基OPEs有较好的去除效果,2个月份的平均处理效率分别为39.4%和18.4%,推测与2个月份的气温不同有关。而沉淀池对烷基OPEs的处理效果受外部因素影响较大,其对氯代OPEs和芳基OPEs的处理效果较差,2个月份对这两类物质的平均处理效果均为负去除,产生这一现象的原因可能是工艺处理设施所采用的材料中含有相应OPEs成分,从而通过其溶出间接增加了这两类OPEs的含量^[31]。砂滤池对氯代OPEs和烷基OPEs均有较好的去除效率,超过60%的水厂中的砂滤池可以对这两类OPEs产生正向的去除效果。炭滤池对烷基OPEs(平均处理效率为44.2%)和芳基OPEs(平均处理效率为33.7%)均有较良好的处理效果,说明通过活性炭吸附和微生物降解可以对上述两类OPEs达到部分去除的目的。除此之外,通过比较发现,相较于烷基OPEs和氯代OPEs,芳基OPEs在不同水厂相同工艺段中的处理效果波动较大,且随不同处理工艺段变化的差异较大,可能与这类物质在水中的含量较低、检测的相对误差较大有关。

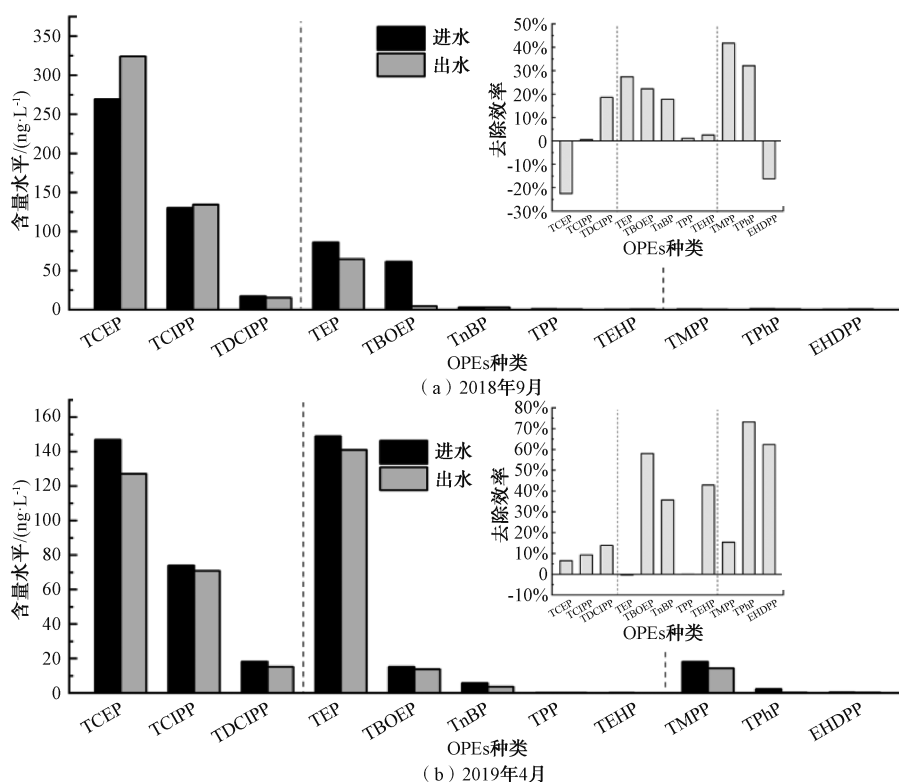


图3 太湖周边水厂进出水中 OPEs 的含量水平及总去除效率

Fig.3 Concentrations Levels and Average Removal Rate of OPEs of WTPs in Surrounding Areas of Taihu Lake

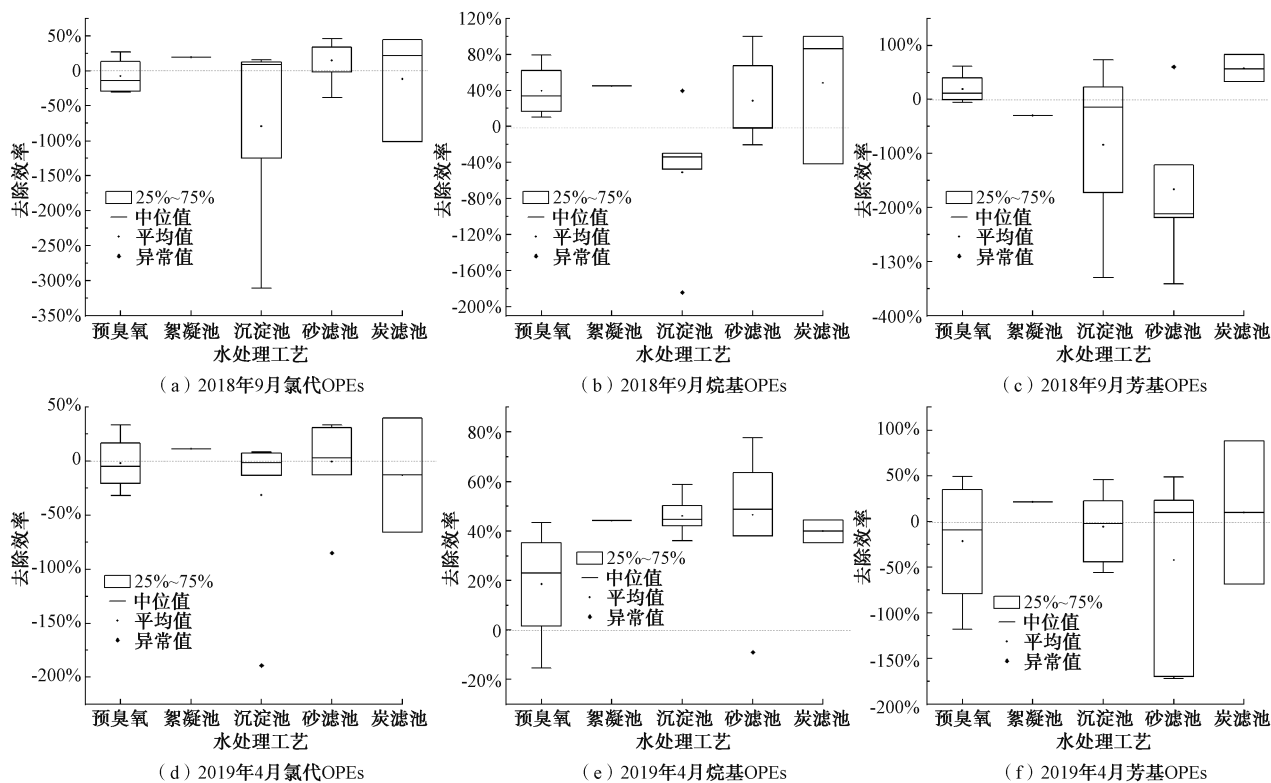


图4 常规水处理工艺对3种类型 OPEs 的去除效果

Fig.4 Removal Effect of Three Types of OPEs by Conventional Water Treatment Processes

3 结论

(1)2018年9月和2019年4月采集的太湖周边8个饮用水厂原水中,分析的11种OPEs均有不同程度的检出, Σ_{11} OPEs的含量分别为115~1100 ng/L和48.7~768 ng/L,其中,氯代OPEs是占比最高的物质,其含量水平高于国内外其他水体。太湖周边饮用水厂原水中OPEs的空间分布呈现“西南低东北高”的特点,不同水源类型的原水样品中OPEs的含量为河网型>湖泊型>江河型。

(2)太湖周边的饮用水厂可以对超过半数的OPEs产生一定的去除效果,但去除效率不明显。其中,烷基OPEs的去除效果最稳定,氯代OPEs的去除效果最差。比较饮用水厂不同的水处理工艺对OPEs的去除效果,发现预臭氧、砂滤池和炭滤池对烷基OPEs有较好的处理效果,而沉淀池对三类物质的平均处理效果均为负去除。芳基OPEs在不同水厂相同工艺段中的处理效果波动较大,且随不同处理工艺段变化的差异较大,可能与这类物质在水中的含量较低、检测的相对误差较大有关。

(3)本文针对工业和日常生活中大量使用的OPEs,通过考察太湖周边8个典型的饮用水厂原水中11种OPEs的赋存特征及其处理效果,可以为深入了解太湖流域饮用水中OPEs的来源、环境行为及最终归趋提供科学依据。

(4)未来可以增加各个季节的采样频率,进一步掌握太湖流域水中OPEs随时间的变化规律,深入研究水处理工艺对OPEs的去除机制,以便为该类物质的风险管控提供数据支撑。

参考文献

- [1] HE M J, LU J F, MA J Y, et al. Organophosphate esters and phthalate esters in human hair from rural and urban areas, Chongqing, China: Concentrations, composition profiles and sources in comparison to street dust [J]. *Environmental Pollution*, 2018, 237: 143 – 153. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.02.040.
- [2] VAN DER VEEN I, DE BOER J. Phosphorus flame retardants: Properties, production, environmental occurrence, toxicity and analysis[J]. *Chemosphere*, 2012, 88(10):1119–1153.
- [3] SUN Y X, DE SILVA A O, ST PIERRE K A, et al. Glacial melt inputs of organophosphate ester flame retardants to the largest high Arctic lake [J]. *Environmental Science & Technology*, 2020, 54(5):2734–2743.
- [4] 梁诚. 阻燃剂生产现状与发展趋势[J]. *中国石油和化工*, 2003(9):22–26.

- [5] 王晓伟,刘景富,阴永光. 有机磷酸酯阻燃剂污染现状与研究进展[J]. *化学进展*, 2010, 22(10):1983–1992.
- [6] 欧育湘,郎柳春. 全球阻燃剂市场分析及预测[J]. *塑料助剂*, 2010(6):1–4.
- [7] SALTHAMMER T, FUHRMANN F, UHDE E. Flame retardants in the indoor environment—Part II: Release of VOCs (triethylphosphate and halogenated degradation products) from polyurethane [J]. *Indoor Air*, 2003, 13: 49 – 52. DOI: 10.1034/j.1600-0668.2003.01150.x.
- [8] SUHRING R, DIAMOND M L, SCHERINGER M, et al. Organophosphate esters in Canadian arctic air: Occurrence, levels and trends [J]. *Environmental Science & Technology*, 2016, 50(14):7409–7415.
- [9] 李静. 环境灰尘中有机磷阻燃剂和增塑剂的分布特征研究[D]. 苏州:苏州科技大学, 2018.
- [10] ZENG F, WEN J, CUI K, et al. Seasonal distribution of phthalate esters in surface water of the urban lakes in the subtropical city, Guangzhou, China [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009(1–3):719–725.
- [11] LI J, YU N, ZHANG B, et al. Occurrence of organophosphate flame retardants in drinking water from China [J]. *Water Research*, 2014, 54(4):53–61.
- [12] XU L, ZHANG B, HU Q P, et al. Occurrence and spatio-seasonal distribution of organophosphate tri- and di-esters in surface water from Dongting Lake and their potential biological risk [J]. *Environmental Pollution*, 2021(3):117031. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.117031.
- [13] ZHANG B, XU L, HU Q P, et al. Occurrence, spatiotemporal distribution and potential ecological risks of antibiotics in Dongting Lake, China [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2020(12):804–804.
- [14] SCHMIDT N, CASTRO-JIMENEZ J, OURSEL B, et al. Phthalates and organophosphate esters in surface water, sediments and zooplankton of the NW Mediterranean Sea: Exploring links with microplastic abundance and accumulation in the marine food web [J]. *Environmental Pollution*, 2021, 272. DOI:10.1016/j.envpol.2020.115970.
- [15] WANG R M, TANG J H, XIE Z Y, et al. Occurrence and spatial distribution of organophosphate ester flame retardants and plasticizers in 40 rivers draining into the Bohai Sea, north China [J]. *Environmental Pollution*, 2015, 198: 172 – 178. DOI: 10.1016/j.envpol.2014.12.037.
- [16] VENIER M, DOVE A, ROMANAK K, et al. Flame retardants and legacy chemicals in Great Lakes' water [J]. *Environmental Science & Technology*, 2014, 48(16):9563–9572.
- [17] USEPA. Furniture flame retardancy partnership: Environmental profiles of chemical flame-retardant alternatives for low-density polyurethane foam [Z]. 2005.

- [18] 太湖流域管理局水文局. 水情月报 (2019 年第 4 期) [EB/OL]. (2019-05-13) [2021-08-05]. http://www.tba.gov.cn/slbthlyglj/sqyb/content/slth1_b65b9e4ac54b432fbd577804d9213f26.html.
- [19] 太湖流域管理局水文局. 水情月报 (2018 年第 9 期) [EB/OL]. (2018-10-23) [2021-08-05]. http://www.tba.gov.cn/slbthlyglj/sqyb/content/slth1_5b5578c816364b52917e511dfcd697f4.html.
- [20] 张姗姗, 张磊, 张落成. 苏南太湖流域污染企业集聚与水环境污染空间耦合关系 [J]. 地理科学, 2018, 38 (6): 954-962.
- [21] 楚文海, 杨旭, 周子翀, 等. 形成针对太湖流域三类水源的综合解决方案实现典型和新型污染物的协同控制 [J]. 净水技术, 2021, 40 (4): 6-11.
- [22] HOU R, XU Y P, WANG Z J. Review of OPFRs in animals and humans: absorption, bioaccumulation, metabolism, and internal exposure research [J]. Chemosphere, 2016, 153: 78-90. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.03.003.
- [23] DAVID M D, SEIBER J N. Analysis of organophosphate hydraulic fluids in U. S. air force base soils [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 1999, 36 (3): 235-241.
- [24] 隋强男, 翟玮, 耿存珍. 有机磷酸酯类阻燃剂在环境中的最新残留现状研究 [J]. 环境科学与管理, 2015 (10): 4-4.
- [25] ZHONG W J, CUI Y N, LI R X, et al. Distribution and sources of ordinary monomeric and emerging oligomeric organophosphorus flame retardants in Haihe Basin, China [J]. Science of the Total Environment, 2021 (6): 147274. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147274.
- [26] JOYCE C, ALEJANDRO G, CARLOS B. Priority and emerging flame retardants in rivers: Occurrence in water and sediment, daphnia magna toxicity and risk assessment [J]. Environment International, 2013, 59: 232-243. DOI: 10.1016/j.envint.2013.06.011.
- [27] HAO C Y, HELM P A, MORSE D, et al. Liquid chromatography-tandem mass spectrometry direct injection analysis of organophosphorus flame retardants in Ontario surface water and wastewater effluent [J]. Chemosphere, 2018, 191: 288-295. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.10.060.
- [28] HOU L, JIANG J Y, GAN Z W, et al. Spatial distribution of organophosphorus and brominated flame retardants in surface water, sediment, groundwater, and wild fish in Chengdu, China [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2019, 77 (2): 279-290.
- [29] 高立红. 北京市城市环境有机磷酸酯污染水平和分布特征研究 [D]. 北京: 北京科技大学, 2016.
- [30] MEYER J, BESTER K. Organophosphate flame retardants and plasticisers in wastewater treatment plants [J]. Journal of Environmental Monitoring, 2004 (7): 599-605.
- [31] 吕佳佩, 张振飞, 刘杨, 等. 太湖重点区域多介质水体中有机磷酸酯的分布特征及来源解析 [J]. 环境科学, 2020, 41 (12): 5438-5447.

行业资讯

住建部发改委发布关于加强公共供水管网漏损控制的通知 (附图解)

随着城镇化发展,我国城市和县城供水管网设施建设成效明显,公共供水普及率不断提升,但不少城市和县城供水管网漏损率较高。为进一步加强公共供水管网漏损控制,提高水资源利用效率,现就有关事项通知如下。

一、总体要求:工作思路;主要目标。

二、工作任务:实施供水管网改造工程;推动供水管网分区计量工程;推进供水管网压力调控工程;开展供水管网智能化建设工程;完善供水管网管理制度。

三、组织实施:强化责任落实;加大投入力度;推进激励机制建设;推广合同节水模式。

四、中央预算内投资支持开展公共供水管网漏损治理试点。



扫描二维码阅读全文