

方知库  
Eco-Environmental  
Knowledge Web

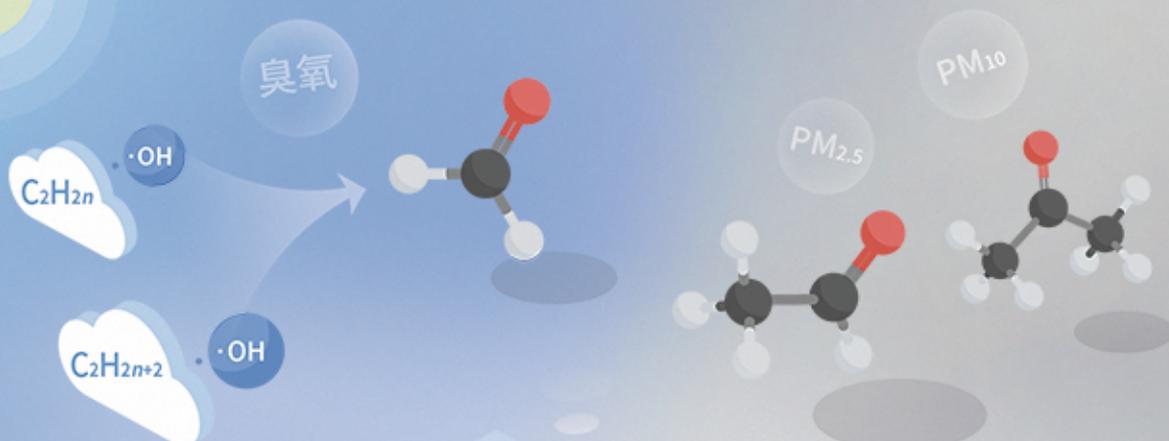
# 环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

基于PMF和源示踪物比例法的大气羰基化合物来源解析：以南京市观测为例  
胡崑，王鸣，王红丽，景盛翱，陈文泰，卢兴东



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社

2021年1月

第42卷 第1期

Vol.42 No.1



目次

2019年国庆节前后北京气态氨和气溶胶铵盐浓度的同步观测 ..... 顾梦娜, 潘月鹏, 宋琳琳, 李萍, 田世丽, 武岳洋, 杨婷婷, 李浩洋, 石生伟, 吐莉尼沙, 吕雪梅, 孙倩, 方运霆 (1)

基于无人机探空和数值模拟天津一次重污染过程分析 ..... 杨旭, 蔡子颖, 韩素芹, 史静, 唐颖潇, 姜明, 邱晓滨 (9)

中原城市群典型城市秋冬季大气 PM<sub>2.5</sub> 污染特征及溯源 ..... 苗青青, 姜楠, 张瑞芹, 赵孝因, 齐静文 (19)

沈阳市冬季大气 PM<sub>2.5</sub> 中水溶性离子污染特征及来源解析 ..... 王国祯, 任万辉, 于兴娜, 侯思宇, 张毓秀 (30)

保定地区 PM<sub>2.5</sub> 中重金属元素的污染特征及健康风险评价 ..... 雷文凯, 李杏茹, 张兰, 徐静, 赵文吉, 刘子锐 (38)

基于 PMF 和源示踪物比例法的大气羰基化合物来源解析: 以南京市观测为例 ..... 胡崑, 王鸣, 王红丽, 景盛翔, 陈文泰, 卢兴东 (45)

2019年天津市挥发性有机物污染特征及来源 ..... 高璟璇, 肖致美, 徐虹, 李立伟, 李鹏, 唐逸, 杨宁, 李源, 毕温凯, 陈魁 (55)

柳州市春季大气挥发性有机物污染特征及源解析 ..... 刘齐, 卢星林, 曾鹏, 于爽 (65)

天津市郊夏季的臭氧变化特征及其前体物 VOCs 的来源解析 ..... 罗瑞雪, 刘保双, 梁丹妮, 毕晓辉, 张裕芬, 冯银厂 (75)

2017年春夏期间南京地区臭氧污染输送影响及潜在源区 ..... 谢放尖, 陆晓波, 杨峰, 李文青, 李浩, 谢轶嵩, 王艳, 刘益和, 王庆九, 胡建林 (88)

2006~2019年珠三角地区臭氧污染趋势 ..... 赵伟, 高博, 卢清, 钟志强, 梁小明, 刘明, 马社霞, 孙家仁, 陈来国, 范绍佳 (97)

大型石化企业邻近区域大气沉降中多环芳烃赋存特征及源解析 ..... 李大雁, 齐晓宝, 吴健, 黄沈发, 王敏, 沙晨燕, 沈城 (106)

叶片大气颗粒物滞纳能力评估方法的定量对比 ..... 岳晨, 李广德, 席本野, 曹治国 (114)

东江流域敌敌畏的排放量估算及归趋模拟 ..... 张冰, 张芊芊, 应光国 (127)

松花江哈尔滨段及阿什河抗生素的分布规律与生态风险评估 ..... 杨尚乐, 王旭明, 王伟华, 胡雪莹, 高立伟, 孙兴滨 (136)

东北小兴凯湖沉积物 POPs 污染特征及生态风险评估 ..... 李慧, 李捷, 宋鹏, 程云轩, 焦立新, 杨亚铮 (147)

河南省地表水源中 PPCPs 分布及生态风险评估 ..... 周颖, 吴东海, 陆光华, 姚晶晶, 魏磊, 韩枫 (159)

无锡-常州地下水水中内分泌干扰物的赋存特征和健康风险评估 ..... 王淑婷, 饶竹, 郭峰, 刘成海, 战楠, 王娅南, 彭洁, 杨鸿波 (166)

清江流域地表水重金属季节性分布特征及健康风险评估 ..... 刘昭, 周宏, 曹文佳, 刘伟, 兰圣涛 (175)

会仙岩溶湿地丰平枯时期地下水金属元素污染与健康风险 ..... 李军, 赵一, 邹胜章, 蓝美宁, 樊连杰, 谢浩, 秦月, 朱丹滢 (184)

三峡库区城镇化影响下河流 DOM 光谱特征季节变化 ..... 陈昭宇, 李思悦 (195)

不同植物覆盖下黄河三角洲湿地土壤中微塑料的分布 ..... 岳俊杰, 赵爽, 程昊东, 段鑫越, 石洪华, 汪磊, 端正花 (204)

基于宏基因组学探讨东平湖水库的菌群结构、耐药基因谱及其公共健康风险 ..... 张红娜, 崔娜, 申红妙 (211)

分层型水库藻类季相演替的细菌种群驱动机制 ..... 闫苗苗, 张海涵, 黄廷林, 宗容容, 刘凯文, 苗雨甜, 杨尚业, 黄鑫, 王娜 (221)

丹江口库区浮游真菌组成与功能及其影响因素 ..... 郑保海, 王晓宇, 李英军, 陈彦, 李百炼, 李玉英, 陈兆进 (234)

太湖出流河道藻颗粒变化及其水质效应 ..... 郭宇龙, 许海, 陈旭清, 郑建中, 詹旭, 朱广伟, 朱梦圆 (242)

石盘丘小流域不同土地利用方式下土壤氮磷流失形态及通量 ..... 邓华, 高明, 龙翼, 黎嘉成, 王盛燕, 王子芳 (251)

前期干旱天数对生物滞留系统除氮性能的影响 ..... 陈焱, 李欣芮, 郑爽, 刘臻, 余雪花, 程启洪 (263)

浒苔生物炭对雨水径流中氨氮的吸附特性及吸附机制 ..... 陈友媛, 李培强, 李闲驰, 孙萍, 赵新月, 李洁, 李晋, 辛至然 (274)

填料对潮汐流人工湿地中 CANON 作用强化的影响 ..... 刘冰, 郑煜铭, 秦会安, 古励 (283)

FeMnNi-LDHs 对水中 As(III) 的吸附性能与机制 ..... 廖玉梅, 余杰, 魏世强, 蒋珍茂 (293)

硝酸钙添加和铅改性膨润土覆盖联用控制底泥中磷释放的效果及机制 ..... 张宏华, 林建伟, 詹艳慧, 俞阳, 张志斌 (305)

某市污水厂抗生素和抗生素抗性基因的分布特征 ..... 颜亚玮, 於驰晟, 李菲菲, 姚鹏城, 刘宏远 (315)

不同污泥在微波预处理-厌氧消化过程中抗性基因分布及菌群结构演替 ..... 李慧莉, 武彩云, 唐安平, 佟娟, 魏源送 (323)

天然富硒土地划定的富硒阈值 ..... 王惠艳, 曾道明, 郭志娟, 成晓梦, 彭敏, 孙跃 (333)

融合自然-人为因子改进回归克里格对土壤镉空间分布预测 ..... 高中原, 肖荣波, 王鹏, 邓一荣, 戴俊杰, 刘楚藩 (343)

南方典型水稻土镉(Cd)累积规律模拟 ..... 戴雅婷, 傅开道, 杨阳, 王美娥, 陈卫平 (353)

闽西南土壤-水稻系统重金属生物可给性及健康风险 ..... 林承奇, 蔡宇豪, 胡恭任, 于瑞莲, 郝春莉, 黄华斌 (359)

干湿交替灌溉制度下纳米修复材料对杂交水稻籽粒 Cd 累积及产量的影响 ..... 杨茹, 陈馨睿, 张颖, 崔俊义, 武立权, 马友华, 廖江, 何海兵 (368)

三元复合调理剂对土壤镉吸附形态和糙米镉累积的调控效应 ..... 蒋毅, 刘雅, 辜娇峰, 杨世童, 曾雄, 王轩宇, 周航, 廖柏寒 (378)

风化煤组配改良剂结合水分管理对水稻根际土壤与稻米甲基汞含量的影响 ..... 郑顺安, 吴泽赢, 杜兆林, 倪润祥, 姚启星 (386)

不同施肥措施对水稻土壤微生物抗性的影响 ..... 郑开凯, 马志远, 孙波, 梁玉婷 (394)

氮添加影响下新疆天山雪岭云杉林土壤酶活性及其与环境因子的相关性 ..... 张涵, 贡璐, 刘旭, 邵康, 李昕竹, 李蕊希 (403)

黄土陵区撂荒农田土壤酶活性及酶化学计量变化特征 ..... 钟泽坤, 杨改河, 任成杰, 韩新辉 (411)

生物炭对土壤酶活性和细菌群落的影响及其作用机制 ..... 冯慧琳, 徐辰生, 何欢辉, 曾强, 陈楠, 李小龙, 任天宝, 姬小明, 刘国顺 (422)

植被恢复对刺萼龙葵根际土壤细菌群落结构与功能的影响 ..... 张瑞海, 宋振, 付卫东, 鄂玲玲, 高金会, 王然, 王忠辉, 张国良 (433)

黄壤稻田土壤微生物量碳氮及水稻品质对生物炭配施氮肥的响应 ..... 史登林, 王小利, 刘安凯, 侯再芬, 梁国太 (443)

等碳量添加秸秆和生物炭对土壤呼吸及微生物量碳氮的影响 ..... 何甜甜, 王静, 符云鹏, 符新妍, 刘天, 李亚坤, 李建华 (450)

秸秆与氮肥配比对农田土壤内外源碳释放的影响 ..... 孙昭安, 张轩, 胡正江, 王开永, 陈清, 孟凡乔 (459)

生物炭与化肥混合对氨挥发和磷固定的影响 ..... 杨文娜, 邓正昕, 李娇, 郑杰炳, 王子芳, 高明 (467)

氮肥减投条件下膜材料使用对稻田氨挥发排放的影响 ..... 俞映惊, 王梦凡, 杨根, 何世颖, 段婧婧, 杨林章, 薛利红 (477)

微塑料对斑马鱼胚胎孵化影响及其在幼鱼肠道中的积累 ..... 赵佳, 饶本强, 郭秀梅, 高进勇 (485)

无人机热红外支持下的城市微尺度热环境模拟 ..... 阳少奇, 冯莉, 田慧慧, 刘艳霞 (492)

基于人居尺度的中国城市热岛强度时空变化及其驱动因子解析 ..... 孙艳伟, 王润, 郭青海, 高超 (501)

《环境科学》征订启事(8) 《环境科学》征稿简则(220) 信息(233, 352, 421)

# 河南省地表水源中 PPCPs 分布及生态风险评价

周颖<sup>1</sup>, 吴东海<sup>1</sup>, 陆光华<sup>1\*</sup>, 姚晶晶<sup>2</sup>, 魏磊<sup>3</sup>, 韩枫<sup>3</sup>

(1. 海河大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 南京 210098; 2. 西藏农牧学院水利土木工程学院, 林芝 860000; 3. 河南省水文水资源局, 郑州 450004)

**摘要:** 新兴污染物药物及个人护理品 (pharmaceuticals and personal care products, PPCPs) 在水环境中的赋存会对水生生物产生不良影响, 饮用水源地 PPCPs 的存在更可能对人类健康造成危害. 对河南省 5 个代表性饮用水源地中 PPCPs 的污染赋存进行了采样调查, 并进行了相关的溯源分析和生态风险评价. 结果表明, 20 种 PPCPs 在采样点检出累积浓度范围为 24.2 ~ 317.6 ng·L<sup>-1</sup>. 其中, 咖啡因 (CFI) 最高浓度达 186.4 ng·L<sup>-1</sup>, 其次为磺胺甲噁唑 (SMX) 和氧氟沙星 (OFC), 最高检出浓度分别为 70.8 ng·L<sup>-1</sup> 和 24.2 ng·L<sup>-1</sup>. 黑岗口水源地 PPCPs 污染水平高于其他水源地. 通过不稳定化合物 CFI 与稳定化合物卡马西平 (CBZ) 浓度比值分析了 PPCPs 来源, 水源地上游水体受污水排污污染以及水源地周边分散式生活污水面源污染可能是污染物主要来源. 风险商 (RQ) 计算结果表明, 各水源地检出的 PPCPs 对藻类呈现出中等到高风险, 对无脊椎动物和鱼类呈现出低风险到中等风险, 需要对相关的污染控制引起重视.

**关键词:** 药物及个人护理品 (PPCPs); 饮用水水源; 河南省; 污染分布; 生态风险评价

中图分类号: X522; X820.4 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2021)01-0159-07 DOI: 10.13227/j.hjcx.202005239

## Distribution and Ecological Risk Assessment of PPCPs in Drinking Water Sources of Henan Province

ZHOU Ying<sup>1</sup>, WU Dong-hai<sup>1</sup>, LU Guang-hua<sup>1\*</sup>, YAO Jing-jing<sup>2</sup>, WEI Lei<sup>3</sup>, HAN Feng<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resource Development on Shallow Lakes, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Water Conservancy Project & Civil Engineering College, Tibet Agriculture & Animal Husbandry University, Linzhi 860000, China; 3. Hydrology and Water Resources Bureau of Henan Province, Zhengzhou 450004, China)

**Abstract:** The occurrence of emerging pollutants pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in aquatic environments has potential adverse effects on aquatic organisms, and the presence of PPCPs in drinking water sources is very likely to cause harm to human health. The PPCPs pollution in five typical drinking water sources in Henan province was investigated. Moreover, the source of pollutants was analyzed and the relevant ecological risks were evaluated. The results showed that the cumulative concentrations of 20 PPCPs at different sampling sites ranged from 24.2 to 317.6 ng·L<sup>-1</sup>. Caffeine (CFI) was the highest level contaminant, with the concentration up to 186.4 ng·L<sup>-1</sup>, followed by sulfamethoxazole (SMX) and ofloxacin (OFC), with detected concentrations up to 70.8 ng·L<sup>-1</sup> and 24.2 ng·L<sup>-1</sup>, respectively. The pollution of PPCPs in Heigangkou drinking water sources was higher than those of other drinking water sources. The comparison of the labile indicator CFI and the conservative indicator carbamazepine (CBZ) concentrations implies that the pollutions from the upstream water and around scattered domestic sewage might be responsible for the PPCPs present in these drinking water sources. The risk quotient (RQ) calculation results indicated that the detected PPCPs in 5 drinking water sources have moderate to high risks to algae, while low to moderate risks to invertebrates and fish. Therefore, attention should be paid to relevant pollution control.

**Key words:** pharmaceuticals and personal care products (PPCPs); drinking water sources; Henan province; pollution distribution; ecological risk assessment

药物及个人护理品 (pharmaceuticals and personal care products, PPCPs) 包括用于个人健康或美容的产品, 以及用于促进牲畜生长或健康的产品 (抗生素、激素类药物、滤光剂和香料等)<sup>[1]</sup>. PPCPs 在使用后可通过未能有效处理的污水尾水、地表径流以及垃圾填埋渗滤液渗流等流入自然水体<sup>[2,3]</sup>. 虽然 PPCPs 在水环境中以痕量浓度存在<sup>[4]</sup>, 一般不会引起急性毒性, 但在非靶生物体内累积后, 可能会引起内分泌干扰效应、氧化应激、生长及生殖毒性和行为改变等<sup>[5,6]</sup>, 所以长期暴露对生态环境和人类健康的潜在毒性效应值得关注<sup>[7-9]</sup>.

目前, 全球范围内对安全饮用水的需求越来越迫切, 饮用水水源地作为人类给水来源, 其水质对用水安全至关重要<sup>[10]</sup>. 有研究表明传统的给水处理过程对 PPCPs 的去除效率较低<sup>[11]</sup>, 因此需要关注 PPCPs 在饮用水水源中引起的风险. 对水环境中有机污染物风险评价时, 量化其风险值十分重要.

河南是我国的人口和经济大省, 对安全饮用水

收稿日期: 2020-05-22; 修订日期: 2020-07-21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51608167); 河南省科技攻关项目 (162102310057); 江苏高校优势学科建设工程项目

作者简介: 周颖 (1996 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为水环境保护与水污染控制, E-mail: njlhzhouying@163.com

\* 通信作者, E-mail: ghlu@hhu.edu.cn

的需求很大,但目前仍缺少 PPCPs 在河南省饮用水水源中分布及风险评价研究. 本文通过对河南省五大代表性水源地水体中 PPCPs 类污染物的采样测定,分析其污染水平,并利用风险熵法 (risk quotient, RQ) 评价其生态风险.

## 1 材料与方法

### 1.1 试剂

药物:磺胺甲噁唑、磺胺二甲嘧啶、氧氟沙星、

双氟沙星、红霉素、布诺芬、对氯苯氧异丁酸、雌酚酮、苯扎菲特、咖啡因、卡马西平、吉非罗齐、甲氧苄啶和罗红霉素; 有机滤光剂:对-氨基苯甲酸、苯唑卡因、二苯甲酮-3、阿伏苯宗、二苯酮和二苯甲酮-4. PPCPs (药物和有机滤光剂) 标准品纯度 >99%, 购于德国 Dr. Ehrenstorfer 或美国 Sigma-Aldrich 公司, 20 种 PPCPs 基本理化信息见表 1. 甲醇、丙酮、二氯乙烷、甲酸、醋酸铵和乙腈为色谱纯(德国 Merck 公司).

表 1 20 种 PPCPs 基本信息<sup>1)</sup>

Table 1 Basic information of 20 PPCPs

物质	CAS 号	英文缩写	相对分子质量	lg $K_{ow}$	lg $K_{oc}$
磺胺甲噁唑	723-46-6	SMX	253.28	0.48	2.41
磺胺二甲嘧啶	57-68-1	SMT	278.33	0.76	2.28
氧氟沙星	82419-36-1	OFC	361.37	-0.2	1.09
双氟沙星	98106-17-3	DF	399.39	1.28	2.74
红霉素	114-07-8	ETM	733.95	2.48	2.75
布诺芬	15687-27-1	IPF	206.28	3.79	2.63
对氯苯氧异丁酸	882-09-7	CA	214.65	2.84	1.64
雌酚酮	53-16-7	E1	270.37	3.43	4.38
苯扎菲特	41859-67-0	BZB	361.82	4.25	2.62
咖啡因	58-08-2	CFI	194.19	0.16	1.09
卡马西平	298-46-4	CBZ	236.28	2.25	3.12
吉非罗齐	25812-30-0	GFB	250.33	4.77	2.64
甲氧苄啶	738-70-5	TMT	290.32	0.73	2.86
罗红霉素	80214-83-1	ROX	837.07	2.75	3.98
对-氨基苯甲酸	150-13-0	PABA	137.14	0.96	0.9
苯唑卡因	94-09-7	Et-PABA	165.19	1.8	1.77
二苯甲酮-3	131-57-7	BP3	228.25	3.52	2.98
阿伏苯宗	70356-09-1	BM-DBM	310.4	4.51	3.3
二苯酮	131-56-6	BP1	214.22	2.96	3.28
二苯甲酮-4	4065-45-6	BP4	308.31	0.37	1.83

1) lg  $K_{ow}$  和 lg  $K_{oc}$  值来源于软件 EPIWEB 4.1

### 1.2 采样点布设及样品采集

根据河南省内水源地分布特点,设置了 5 个水源地为研究对象,如图 1 所示. 在所选取的水源地设置采样点,于 2017 年 4 月中旬分别在尖岗水库 J (J1、J2 和 J3)、白龟山水库 B (B1、B2 和 B3)、南湾水库 N (N1、N2、N3 和 N4)、黑岗口水源地 H (H1 和 H2) 和沙河饮用水水源地 S (S1、S2 和 S3) 采样,采样点坐标见表 2. 采样时,500 mL 水样用水质采样器分别从采样点水面下 0.5 和 2.5 m 处采集,装入干净的、用待测水样润洗过的聚乙烯塑料瓶中,并加入适量甲醇(1%)以抑制细菌生长,低温保存,运回实验室于 24 h 内处理. 现场采用便携式水质检测仪测定采样点的 pH 值、溶解氧(DO)和温度等参数,见表 2.

### 1.3 样品分析及质量控制

水样预处理时,先将采集的 500 mL 待测水样经过 0.45  $\mu\text{m}$  的玻璃纤维滤膜(上海兴亚净化材料

厂)过滤去除杂质. 对于药物类化合物的处理,采用



图 1 河南省饮用水水源地调查地分布示意

Fig. 1 Distribution of drinking water sources investigated in Henan province

表 2 采样点环境参数

Table 2 Parameters of the sampling point

采样点 <sup>1)</sup>	东经	北纬	pH	DO /mg·L <sup>-1</sup>	电导率 /μS·cm <sup>-1</sup>	水温 /℃
J1-1	113°34'23"	34°42'01"	8.25	10.3	928	11.9
J1-2	113°34'23"	34°42'01"	8.34	10.2	926	11.8
J2-1	113°33'53"	34°41'34"	8.03	10.4	911	12.0
J2-2	113°33'53"	34°41'34"	8.19	10.3	924	11.8
J3-1	113°34'31"	34°41'32"	8.21	10.3	931	11.9
J3-2	113°34'31"	34°41'32"	8.35	10.4	932	11.5
B1-1	112°56'03"	33°42'46"	7.44	10.5	395	11.0
B2-1	113°14'33"	33°43'21"	7.80	10.2	452	11.6
B2-2	113°14'33"	33°43'21"	7.86	10.3	454	11.5
B3-1	113°14'22"	33°43'14"	7.62	10.1	447	12.2
B3-2	113°14'22"	33°43'14"	7.83	10.2	452	11.6
N1-1	113°59'23"	32°07'15"	7.00	10.5	188	10.4
N1-2	113°59'23"	32°07'15"	7.28	10.5	186	10.6
N2-1	113°56'05"	32°06'05"	7.33	10.5	191	10.9
N2-2	113°56'05"	32°06'05"	7.40	10.4	187	10.9
N3-1	113°57'52"	32°04'43"	7.45	10.7	189	10.9
N3-2	113°57'52"	32°04'43"	7.53	10.4	188	10.8
N4-1	113°57'59"	31°55'52"	8.22	12.1	231	14.1
H1-1	114°17'40"	34°53'10"	8.56	11.7	963	9.8
H2-1	114°15'25"	34°53'46"	8.52	11.4	1103	10.2
S1-1	114°34'20"	33°36'22"	8.12	8.3	595	14.7
S2-1	114°33'09"	33°36'43"	8.05	11.2	569	14.2
S3-1	114°34'46"	33°36'32"	8.12	15.2	608	13.1

1) J1-1 表示 J1 采样点水面下 0.5 m 处水样, J1-2 表示 J1 采样点水面下 2.5 m 处水样, 以此类推

Waters Oasis HLB (200 mg, 美国 Waters 公司) 的固相萃取小柱富集, 然后用 6 mL 甲醇对目标物进行洗脱, 洗脱液在水浴条件下用 EFAA-D12 型氮吹仪 (上海安谱科学仪器有限公司) 吹至近干, 用甲醇定容 1 mL 后测定分析。对于有机滤光剂类化合物, 过滤后样品以 5 mL·min<sup>-1</sup> 的流速通过 Oasis HLB SPE 萃取柱, 然后用 10 mL 超纯水清洗萃取柱并真空下干燥 0.5 h, 再用 2 × 5 mL 甲醇/二氯甲烷 (1:1, 体积比) 对目标物洗脱, 最后通过氮吹用甲醇定容至 1 mL 后测定。

PPCPs 分析采用 Waters Acquity UPLC-MS/MS 高效液相色谱-质谱联用系统 (美国 Waters 公司), 电喷雾电离源 (ESI) 为正、负电离模式。Acquity UPLC BEH-C18 柱 (100 mm × 1.7 μm × 2.1 mm; 美国 Waters 公司) 使用时保持在 40℃, 进样量为 5 μL。药物分析流动相由洗脱液 A (含有 0.1% 甲酸的超纯水, 体积比) 和洗脱液 B (乙腈) 组成。梯度程序是: 80% A 保持 0.5 min, 在 5.5 min 内线性下降到 10% A, 保持 2 min, 然后在 1.5 min 增加到 80% A, 流量为 0.3 mL·min<sup>-1</sup>。有机滤光剂分析的流动相是洗脱液 A [含有 0.1% (体积分数) 甲酸的超纯水、甲醇混合物 (98:2, 体积比)] 和洗脱液 B [含有 0.1% (体积分数) 甲酸的甲醇]。梯度程序是: 90%

A 保持 0.25 min, 在 4.75 min 中降到 2% A, 然后 1.5 min 内增加到 90% A, 流速为 0.4 mL·min<sup>-1</sup>。

为了检测背景污染, 对程序空白、溶液空白和现场空白做了检测, 并未在空白组检出目标污染物。做空白样品加标回收实验, 回收率为 78.2% ~ 103.1%, 检出限为 0.05 ~ 1.15 ng·L<sup>-1</sup>。

#### 1.4 生态风险评价方法

根据欧洲关于风险评价的技术指导文件, 风险商 (RQ) 法常被用于评价水中 PPCPs 的生态风险, 计算公式如下<sup>[12~14]</sup>:

$$RQ = MEC/PNEC \quad (1)$$

$$PNEC = \frac{EC_{50}, LC_{50}, NOEC}{AF} \times 10^6 \quad (2)$$

式中, MEC 为目标污染物在水中检测浓度 (ng·L<sup>-1</sup>); PNEC 为预测无效应浓度 (ng·L<sup>-1</sup>); EC<sub>50</sub>、LC<sub>50</sub> 和 NOEC 分别表示半数效应浓度、半数致死浓度和无观测效应浓度 (mg·L<sup>-1</sup>); AF 为评价因子, 一般取 1000, 当 3 个营养级受试生物毒性数据中存在 1、2 和 3 个营养级生物的 NOEC 值已知时, 此 NOEC 值计算 PNEC 值时, AF 取值分别为 100、50 和 10, EC<sub>50</sub>、LC<sub>50</sub> 和 NOEC 来源于已报道研究<sup>[6,15]</sup>, 如表 3 所示。RQ 值小于 0.1, 低风险; 0.1 ~ 1, 中等风险; 大于 1, 高风险<sup>[16]</sup>。

表 3 PPCPs 的 EC<sub>50</sub>、LC<sub>50</sub>、NOEC 和 PNEC 值<sup>1)</sup>  
Table 3 Values of EC<sub>50</sub>, LC<sub>50</sub>, NOEC, and PNEC of PPCPs

物质	EC <sub>50</sub> 、LC <sub>50</sub> 和 NOEC/mg·L <sup>-1</sup>			PNEC/ng·L <sup>-1</sup>		
	藻类	无脊椎动物	鱼类	藻类	无脊椎动物	鱼类
SMX	2.7 × 10 <sup>-2</sup>	2.1 × 10 <sup>-1</sup>	5.6 × 10 <sup>2</sup>	2.7 × 10 <sup>1</sup>	2.1 × 10 <sup>2</sup>	5.6 × 10 <sup>5</sup>
SMT	6.3	2.0	2.9 × 10 <sup>2</sup>	6.3 × 10 <sup>3</sup>	2.0 × 10 <sup>3</sup>	2.9 × 10 <sup>5</sup>
OFC	1.0 × 10 <sup>-3</sup> *	5.3 × 10 <sup>-1</sup>	1.9 × 10 <sup>4</sup>	1.0 × 10 <sup>1</sup>	5.3 × 10 <sup>2</sup>	1.9 × 10 <sup>7</sup>
DF	2.4 × 10 <sup>2</sup>	2.5 × 10 <sup>2</sup>	1.4 × 10 <sup>3</sup>	2.4 × 10 <sup>5</sup>	2.5 × 10 <sup>5</sup>	1.4 × 10 <sup>6</sup>
ETM	2.0 × 10 <sup>-2</sup>	2.2 × 10 <sup>-1</sup>	1.0 × 10 <sup>2</sup>	2.0 × 10 <sup>1</sup>	2.2 × 10 <sup>2</sup>	1.0 × 10 <sup>5</sup>
IPF	1.0 × 10 <sup>-2</sup> *	9.1	1.0 × 10 <sup>-3</sup> *	2.0 × 10 <sup>2</sup>	9.1 × 10 <sup>3</sup>	2.0 × 10 <sup>1</sup>
CA	8.9 × 10 <sup>1</sup>	1.1 × 10 <sup>2</sup>	8.6 × 10 <sup>1</sup>	8.9 × 10 <sup>4</sup>	1.1 × 10 <sup>5</sup>	8.6 × 10 <sup>5</sup>
EI	8.7	2.2	6.0 **	8.7 × 10 <sup>3</sup>	2.2 × 10 <sup>3</sup>	6.0
BZB	1.8 × 10 <sup>1</sup>	2.3 × 10 <sup>-2</sup> *	6.0	1.8 × 10 <sup>4</sup>	2.3 × 10 <sup>2</sup>	6.0 × 10 <sup>3</sup>
CFI	7.7 × 10 <sup>-1</sup>	1.2 × 10 <sup>1</sup>	1.1 × 10 <sup>2</sup>	7.7 × 10 <sup>2</sup>	1.2 × 10 <sup>4</sup>	1.1 × 10 <sup>5</sup>
CBZ	3.2 × 10 <sup>1</sup>	3.8	4.6 × 10 <sup>1</sup>	3.2 × 10 <sup>4</sup>	3.8 × 10 <sup>3</sup>	4.6 × 10 <sup>4</sup>
GFB	4.0	6.0	9.0 × 10 <sup>-1</sup>	4.0 × 10 <sup>3</sup>	6.0 × 10 <sup>3</sup>	9.0 × 10 <sup>2</sup>
TMT	1.6 × 10 <sup>1</sup>	9.2 × 10 <sup>1</sup>	1.0 × 10 <sup>2</sup>	1.6 × 10 <sup>4</sup>	9.2 × 10 <sup>4</sup>	1.0 × 10 <sup>5</sup>
ROX	1.0 × 10 <sup>-2</sup> *	7.1	2.9 × 10 <sup>2</sup>	1.0 × 10 <sup>2</sup>	7.1 × 10 <sup>3</sup>	2.9 × 10 <sup>5</sup>
PABA	2.8 × 10 <sup>1</sup>	1.0 × 10 <sup>1</sup>	1.0 × 10 <sup>3</sup>	2.8 × 10 <sup>4</sup>	1.0 × 10 <sup>4</sup>	1.0 × 10 <sup>6</sup>
Et-PABA	2.1	5.0	7.3 × 10 <sup>-1</sup> *	2.1 × 10 <sup>3</sup>	5.0 × 10 <sup>3</sup>	7.3 × 10 <sup>3</sup>
BP3	1.4 × 10 <sup>-2</sup>	9.0 × 10 <sup>-1</sup>	1.3 × 10 <sup>-1</sup> *	1.4 × 10 <sup>1</sup>	9.0 × 10 <sup>2</sup>	1.3 × 10 <sup>3</sup>
BM-DBM	2.6 × 10 <sup>-1</sup>	7.1 × 10 <sup>-1</sup>	6.4 × 10 <sup>-1</sup>	2.6 × 10 <sup>2</sup>	7.1 × 10 <sup>2</sup>	6.4 × 10 <sup>2</sup>
BP1	2.1	4.9 × 10 <sup>-1</sup>	8.9 × 10 <sup>-1</sup> *	2.1 × 10 <sup>3</sup>	4.9 × 10 <sup>2</sup>	8.9 × 10 <sup>3</sup>
BP4	2.6 × 10 <sup>3</sup>	1.4 × 10 <sup>3</sup>	8.9 × 10 <sup>-1</sup> *	2.6 × 10 <sup>6</sup>	1.4 × 10 <sup>6</sup>	8.9 × 10 <sup>3</sup>

1) \* 表示此处为 NOEC 值, \*\* 表示此处为 PNEC 值

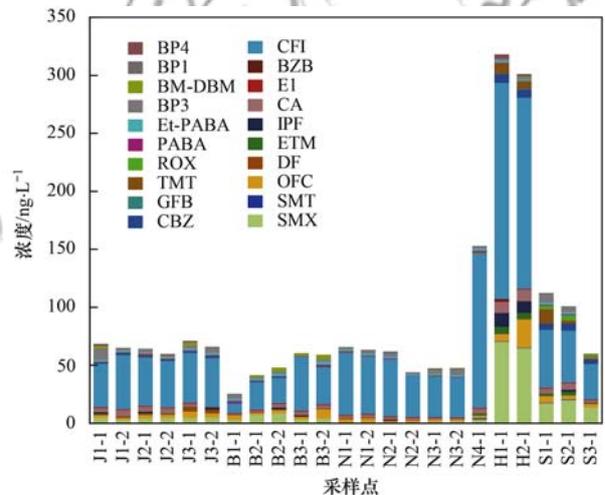
## 2 结果与讨论

### 2.1 PPCPs 在水源水中分布状况

本研究共选取了 20 种 PPCPs, 样品检出浓度见图 2. 在所选取的 20 种 PPCPs 中, 所有目标污染物都至少检出一次, 其中, 11 种目标物检出率超过 50%, 这表明 PPCPs 在选取的水源地地区被大量使用且广泛存在. 在所检测的 PPCPs 中, CFI、SMX、OFC、PABA 和 BP3 共 5 种目标物的检出率为 100%, 而 BZB、GFB 和 BP4 均仅在黑岗口水源地有检出, 检出率较低. 20 种 PPCPs 在不同采样点的累积浓度在 24.2 ~ 317.6 ng·L<sup>-1</sup> 之间, 不同 PPCPs 的检出浓度也存在明显差异. 其中, CFI 的检出浓度均明显高于其他 PPCPs, 采样点检出浓度范围为 8.2 ~ 186.4 ng·L<sup>-1</sup>. PABA 尽管检出率为 100%, 但检出浓度较低, 为 0.2 ~ 2.0 ng·L<sup>-1</sup>.

根据检测结果, 5 个水源水体中的 PPCPs 污染情况存在差异. 黑岗口水源地的 PPCPs 污染水平高于其他 4 个饮用水水源地, 其采样点 PPCPs 的平均累积浓度达 308.7 ng·L<sup>-1</sup>. 尖岗水库、白龟山水库、南湾水库和沙河饮用水水源地的 PPCPs 检出浓度相差不大, 采样点平均累积浓度范围为 45.6 ~ 89.8 ng·L<sup>-1</sup>.

图 3 描述了 5 个水源水体中 PPCPs 主要组成, 展示了各水源地平均浓度占比前 5 的 PPCPs. 尖岗水库、白龟山水库和南湾水库的 PPCPs 组成特征相似, CFI、SMX、OFC、CA 和 BP3 为主要赋存的 PPCPs, 尤其是尖岗水库和白龟山水库, 无论是检出



J1-1 表示 J1 采样点水面下 0.5 m 处水样,  
J1-2 表示 J1 采样点水面下 2.5 m 处水样, 以此类推, 下同

图 2 水源地水中 PPCPs 浓度

Fig. 2 Concentrations of PPCPs in the water of the drinking water sources

浓度还是浓度比例都更为相近. 黑岗口水源地中 IPF 取代 BP3 成为浓度占比较高的有机污染物, 而在沙河饮用水水源地中, TMT 和 CBZ 代替 BP3 和 CA 作为浓度占比更高的污染物.

尽管 CFI 在 5 个饮用水水源中的浓度占比存在差异, 但其均为 5 个饮用水水源中检出的最主要的 PPCPs 类污染物, CFI 在各水源地平均浓度占 PPCPs 平均累积浓度比例分布在 46.55% ~ 82.07% 之间, 其检出浓度与青草沙水库中检出浓度相当<sup>[17]</sup>, 但高于松花江中检出浓度<sup>[18]</sup>. CFI 广泛存在于日常消费

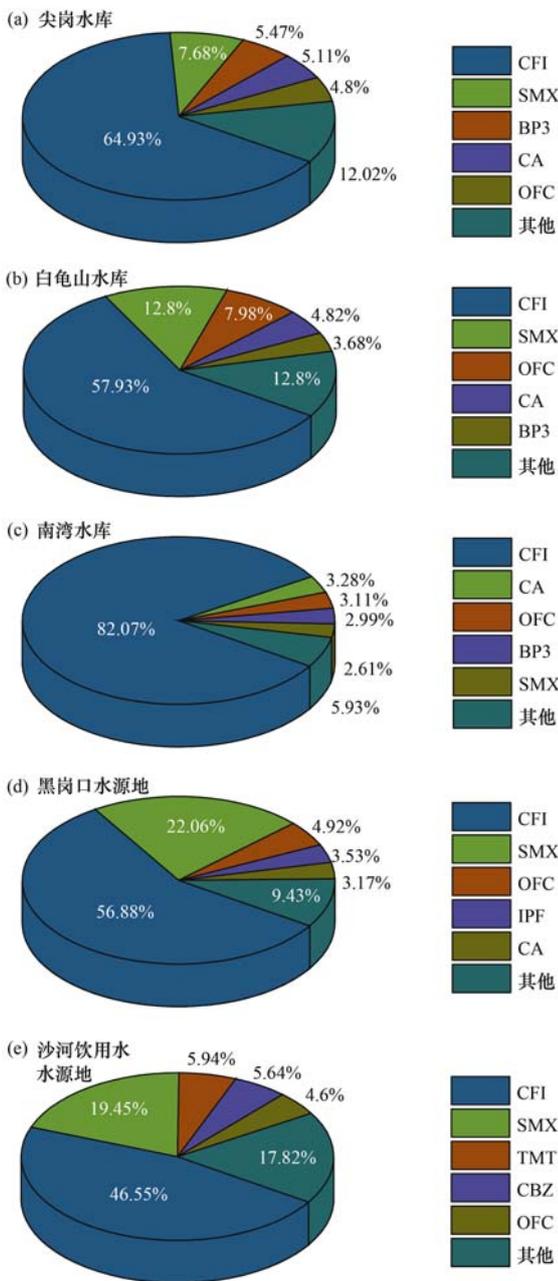
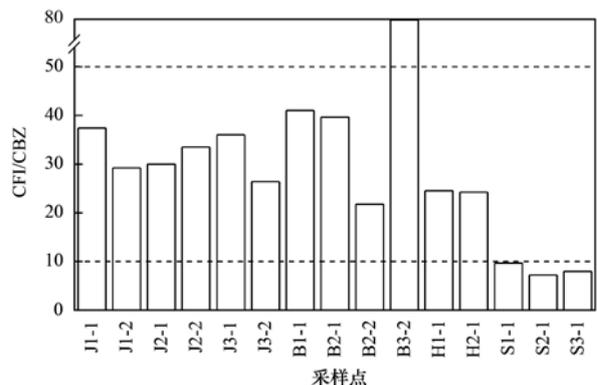


图3 水源地 PPCPs(平均浓度)组成  
Fig. 3 Composition of PPCPs (average concentration) in the drinking water sources

产品中,比如,咖啡、茶和止痛药等<sup>[19]</sup>,CFI的正辛醇水分配系数比较小( $\lg K_{ow} = 0.16$ ),广泛地使用及易分配于水中的性质可能是在水源地检出浓度高的原因.除此之外,SMX和OFC也是5个饮用水水源地共有的主要污染物.SMX是在水产养殖中使用最为广泛的一种磺胺类抗生素<sup>[12]</sup>,各水源地平均浓度范围为 $1.8 \sim 68.1 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ ,远低于其他河流及湖泊中检出浓度<sup>[12,14,20]</sup>.而OFC是一种广谱抗生素,各水源地平均浓度范围为 $2.1 \sim 15.2 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ ,与松花江<sup>[18]</sup>和丹江口水库<sup>[21]</sup>中赋存浓度处于同一水平.CA是尖岗水库、白龟山水库、南湾水库和沙河饮用

水水源地的主要污染物之一,检出浓度与OFC处于同一水平.IPF只在黑岗口水源地中占比较高,平均检出浓度为 $10.9 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ .TMT和CBZ仅在沙河饮用水水源地中检出浓度比例较高.BP3是个人护理品含量最大的一种有机滤光剂<sup>[22]</sup>,被发现是尖岗水库、南湾水库和白龟山水库的主要污染物,但检出浓度并不高,每个水源地平均检出浓度范围为 $1.7 \sim 4.0 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ ,远低于文献<sup>[23]</sup>报道的自来水中检出约 $290 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ .而E1、GFB和BP1检出浓度均不高于 $1 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ ,所以浓度占比也很低.

饮用水源地中PPCPs的溯源分析对于了解污染物的环境行为和管理控制具有重要意义.目前,根据两种典型PPCPs指示物浓度比在废水中的特殊性,分析水体PPCPs中不稳定化合物与稳定化合物比值差异是识别PPCPs来源的有效方法<sup>[24~26]</sup>.通常,稳定性PPCPs在污水处理厂处理效率相对较低,并且在污水厂进水和环境介质中长期赋存;而不稳定性PPCPs在污水处理厂处理效率高,但在污水厂进水和实际水体检出率也均较高.因此,在本研究,根据污染物的特性<sup>[27]</sup>,选择了CFI和CBZ分别作为典型不稳定PPCPs和稳定性PPCPs,进行了河南省地表水源中PPCPs污染来源分析.当不稳定化合物和稳定化合物的浓度比值大于10,表明污水处理效率低或较大比例含污水体被直接排放;当比值大于50,表明生活污水被直接排放,或者存在未知的污染源<sup>[28]</sup>.如图4所示,沙河水源地CFI/CBZ比值均小于10,说明污水处理厂尾水排入可能是该水源地PPCPs主要污染源.尖岗水库、黑岗口水源地和白龟山水库CFI/CBZ比值均大于10,其中白龟山水库B3-2采样点CFI/CBZ比值大于50,南湾水库检出较高浓度的CFI而未检出CBZ,说明这些地区污水处理效率较低.此外,通过现场调查和资料查阅,所研究的几个水源地均无直接的污水排污口,但周边有分散的村



不包括未检测出CBZ的采样点  
图4 水源地 CFI/CBZ 比值

Fig. 4 CFI/CBZ ratios in various drinking water sources

庄,存在生活污水未经处理分散汇入的可能性.因此,水源地上游河道内水体受污水排污污染以及水源周边分散式生活污水面源污染可能是目前河南省地表水源中 PPCPs 污染的主要原因.

## 2.2 PPCPs 的风险评价

水体中 PPCPs 会影响水生生物已有很多研究报道<sup>[21,29~31]</sup>.因此,对河南饮用水水源中 PPCPs 对水生生态环境的风险从 3 个营养级的非靶生物进行了评价,具体包括藻类、无脊椎动物和鱼类<sup>[16]</sup>.根据已经检测的 PPCPs 浓度,计算出累积 RQ 值的分布如图 5 所示.

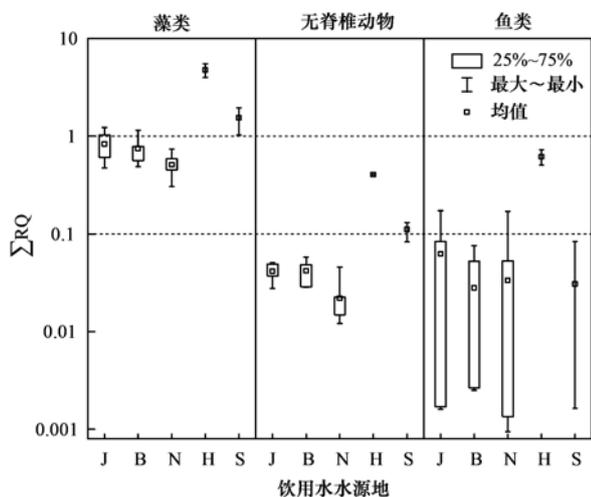


图 5 水源地 PPCPs 累积 RQ 值

Fig. 5 Cumulative values of RQ of the PPCPs in the drinking water sources

由图 5 可以看出,PPCPs 对 3 个营养级非靶生物呈现出不同的风险.总体而言,对藻类呈现出的生态风险高于无脊椎动物和鱼类.对于藻类,PPCPs 在不同采样点的累积 RQ 值在 0.3~5.5 之间.其中黑岗口水源地和沙河饮用水水源地的采样点 PPCPs 累积 RQ 值均大于 1,说明呈现出高风险,SMX 和 OFC 是这两个水源地生态风险最主要的贡献者,这两种物质在水源地采样点的 RQ 值均大于 0.1,特别是 SMX 在黑岗口水源地 RQ 值均大于 1.尖岗水库和白龟山水库中 PPCPs 主要呈现中等风险,部分采样点呈现出高风险.南湾水库 PPCPs 整体呈现出中等风险.对于无脊椎动物,PPCPs 在 5 个水源地主要呈现出低风险,部分采样点呈现出中等风险,SMX 是构成各水源地生态风险最重要的物质.而 PPCPs 对鱼类的生态风险呈现出低风险到中等风险,其中只有黑岗口水源地中 PPCPs 在采样点累积 RQ 值均在 0.1~1 之间,IPF 在黑岗口水源地的风险明显高于其他污染物.根据研究,PPCPs 会在鱼体内累积,不仅会引起不良反应<sup>[5]</sup>,人长期食用这类鱼还可能对人类健康造成潜在危害<sup>[32]</sup>.

## 3 结论

(1)河南省地表水源中存在着 PPCPs 的污染,在 5 个典型水源水体中,所检测的 20 种 PPCPs 均有检出.不同采样点的 PPCPs 检出总浓度范围在 24.2~317.6 ng·L<sup>-1</sup>之间,黑岗口水源地中 PPCPs 检出浓度高于其他饮用水水源地,CFI、OFC 和 SMX 等物质的污染水平相对较高,需要引起关注.

(2)沙河饮用水水源地 PPCPs 污染可能主要来源于汇入其中的上游河道水体中污水处理厂正常尾水排放,而尖岗水库、黑岗口水源地、白龟山水库和南湾水库水体中 PPCPs 污染可能是因为汇入的上游水体接纳了未经有效处理的污水以及水源地周边分散式的生活污水面源污染.

(3)水源水体中赋存的 PPCPs 对藻类呈现的生态风险明显高于无脊椎动物和鱼类.与污染物检出浓度高相应,黑岗口水源地的 RQ 值相对其他饮用水水源地更高.需要指出的是,水环境中的污染物受到季节性温度、水量、化合物使用量等因素影响,对区域性饮用水源中的 PPCPs 污染综合评价尚需结合不同季节的研究加以分析.

## 参考文献:

- [1] Liu N, Jin X W, Feng C L, *et al.* Ecological risk assessment of fifty pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in Chinese surface waters: a proposed multiple-level system [J]. *Environment International*, 2020, **136**, doi: 10.1016/j.envint.2019.105454.
- [2] Hossain A, Nakamichi S, Habibullah-Al-Mamun M, *et al.* Occurrence and ecological risk of pharmaceuticals in river surface water of Bangladesh [J]. *Environmental Research*, 2018, **165**: 258-266.
- [3] Pai C W, Leong D, Chen C Y, *et al.* Occurrences of pharmaceuticals and personal care products in the drinking water of Taiwan and their removal in conventional water treatment processes [J]. *Chemosphere*, 2020, **256**, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127002.
- [4] 陈贤,张彩杰,杨桂朋,等.典型药物及个人护理品在黄海海域水体中的检测、分布规律及其风险评估[J].*环境科学*, 2020, **41**(1): 194-204.  
Chen X, Zhang C J, Yang G P, *et al.* Detection method, distribution, and risk assessment of pharmaceuticals and personal care products in the Yellow Sea and the East China Sea [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(1): 194-204.
- [5] de Jesus Silva Chaves M, Barbosa S C, de Melo Malinowski M, *et al.* Pharmaceuticals and personal care products in a Brazilian wetland of international importance: Occurrence and environmental risk assessment [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **734**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139374.
- [6] Yang H B, Lu G H, Yan Z H, *et al.* Occurrence, spatial-temporal distribution and ecological risks of pharmaceuticals and personal care products response to water diversion across the rivers in Nanjing, China [J]. *Environmental Pollution*, 2019, **255**, doi: 10.1016/j.envpol.2019.113132.

- [ 7 ] 周程, 吴南翔, 范宏亮. 药物及个人护理品对鱼类毒性的研究进展[J]. 环境与职业医学, 2017, **34**(12): 1123-1129.  
Zhou C, Wu N X, Fan H L. Research advance on toxicity of pharmaceuticals and personal care products on fish[J]. Journal of Environmental & Occupational Medicine, 2017, **34**(12): 1123-1129.
- [ 8 ] 张盼伟, 周怀东, 赵高峰, 等. 北京城区水体中 PPCPs 的分布特征及潜在风险[J]. 环境科学, 2017, **38**(5): 1852-1862.  
Zhang P W, Zhou H D, Zhao G F, *et al.* Potential risk and distribution characteristics of PPCPs in surface water and sediment from rivers and lakes in Beijing, China [ J ]. Environmental Science, 2017, **38**(5): 1852-1862.
- [ 9 ] 封梦娟, 张芹, 宋宁慧, 等. 长江南京段水源水中抗生素的赋存特征与风险评估[J]. 环境科学, 2019, **40**(12): 5286-5293.  
Feng M J, Zhang Q, Song N H, *et al.* Occurrence characteristics and risk assessment of antibiotics in source water of the Nanjing Reach of the Yangtze River[J]. Environmental Science, 2019, **40**(12): 5286-5293.
- [ 10 ] Palansooriya K N, Yang Y, Tsang Y F, *et al.* Occurrence of contaminants in drinking water sources and the potential of biochar for water quality improvement; a review [ J ]. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2020, **50**(6): 549-611.
- [ 11 ] Nasir F A M, Praveena S M, Aris A Z. Public awareness level and occurrence of pharmaceutical residues in drinking water with potential health risk; a study from Kajang ( Malaysia ) [ J ]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2019, **185**, doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.109681.
- [ 12 ] Guruge K S, Goswami P, Tanoue R, *et al.* First nationwide investigation and environmental risk assessment of 72 pharmaceuticals and personal care products from Sri Lankan surface waterways[J]. Science of the Total Environment, 2019, **690**: 683-695.
- [ 13 ] Fang T H, Lin C W, Kao C H. Occurrence and distribution of pharmaceutical compounds in the Danshuei River Estuary and the Northern Taiwan Strait [ J ]. Marine Pollution Bulletin, 2019, **146**: 509-520.
- [ 14 ] Wang Z, Du Y, Yang C, *et al.* Occurrence and ecological hazard assessment of selected antibiotics in the surface waters in and around Lake Honghu, China [ J ]. Science of the Total Environment, 2017, **609**: 1423-1432.
- [ 15 ] Wu D H, Zhou Y, Lu G H, *et al.* The occurrence and risks of selected emerging pollutants in drinking water source areas in Henan, China [ J ]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, **16**(21), doi: 10.3390/ijerph16214109.
- [ 16 ] Yan Z H, Yang H H, Dong H K, *et al.* Occurrence and ecological risk assessment of organic micropollutants in the lower reaches of the Yangtze River, China; A case study of water diversion[J]. Environmental Pollution, 2018, **239**: 223-232.
- [ 17 ] Xu C, Chen L, You L H, *et al.* Occurrence, impact variables and potential risk of PPCPs and pesticides in a drinking water reservoir and related drinking water treatment plants in the Yangtze Estuary [ J ]. Environmental Science: Processes & Impacts, 2018, **20**(7): 1030-1045.
- [ 18 ] He S N, Dong D M, Zhang X, *et al.* Occurrence and ecological risk assessment of 22 emerging contaminants in the Jilin Songhua River ( Northeast China ) [ J ]. Environmental Science and Pollution Research, 2018, **25**(24): 24003-24012.
- [ 19 ] Zhang P W, Zhou H D, Li K, *et al.* Occurrence of pharmaceuticals and personal care products, and their associated environmental risks in Guanting Reservoir and its upstream rivers in north China[J]. Rsc Advances, 2018, **8**(9): 4703-4712.
- [ 20 ] Na T W, Kang T W, Lee K H, *et al.* Distribution and ecological risk of pharmaceuticals in surface water of the Yeongsan river, Republic of Korea[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2019, **181**: 180-186.
- [ 21 ] Li S, Shi W Z, You M T, *et al.* Antibiotics in water and sediments of Danjiangkou Reservoir, China: Spatiotemporal distribution and indicator screening [ J ]. Environmental Pollution, 2019, **246**: 435-442.
- [ 22 ] Langford K H, Reid M J, Fjeld E, *et al.* Environmental occurrence and risk of organic UV filters and stabilizers in multiple matrices in Norway [ J ]. Environment International, 2015, **80**: 1-7.
- [ 23 ] Ramos S, Homem V, Alves A, *et al.* Advances in analytical methods and occurrence of organic UV-filters in the environment-A review [ J ]. Science of the Total Environment, 2015, **526**: 278-311.
- [ 24 ] Dai G H, Wang B, Fu C C, *et al.* Pharmaceuticals and personal care products ( PPCPs ) in urban and suburban rivers of Beijing, China: occurrence, source apportionment and potential ecological risk[J]. Environmental Science: Processes & Impacts, 2016, **18**(4): 445-455.
- [ 25 ] Mei X B, Sui Q, Lyu S G, *et al.* Pharmaceuticals and personal care products in the urban river across the megacity Shanghai: Occurrence, source apportionment and a snapshot of influence of rainfall[J]. Journal of Hazardous Materials, 2018, **359**: 429-436.
- [ 26 ] Sun Q, Li Y, Li M Y, *et al.* PPCPs in Jiulong River estuary ( China ): Spatiotemporal distributions, fate, and their use as chemical markers of wastewater[J]. Chemosphere, 2016, **150**: 596-604.
- [ 27 ] Wang Z, Zhang X H, Huang Y, *et al.* Comprehensive evaluation of pharmaceuticals and personal care products ( PPCPs ) in typical highly urbanized regions across China[J]. Environmental Pollution, 2015, **204**: 223-232.
- [ 28 ] Cui Y F, Wang Y H, Pan C G, *et al.* Spatiotemporal distributions, source apportionment and potential risks of 15 pharmaceuticals and personal care products ( PPCPs ) in Qinzhou Bay, South China [ J ]. Marine Pollution Bulletin, 2019, **141**: 104-111.
- [ 29 ] Ortiz De Garcia S A, Pinto Pinto G, Garcia-Encina P A, *et al.* Ecotoxicity and environmental risk assessment of pharmaceuticals and personal care products in aquatic environments and wastewater treatment plants [ J ]. Ecotoxicology, 2014, **23**(8): 1517-1533.
- [ 30 ] He K, Hain E, Timm A, *et al.* Occurrence of antibiotics, estrogenic hormones, and UV-filters in water, sediment, and oyster tissue from the Chesapeake Bay [ J ]. Science of the Total Environment, 2019, **650**: 3101-3109.
- [ 31 ] Tsui M M P, Leung H W, Wai T C, *et al.* Occurrence, distribution and ecological risk assessment of multiple classes of UV filters in surface waters from different countries [ J ]. Water Research, 2014, **67**: 55-65.
- [ 32 ] 谢全模, 陈云, 万金泉, 等. 东莞市饮用水源地中抗生素分布特征及风险评估[J]. 环境科学学报, 2020, **40**(1): 166-178.  
Xie Q M, Chen Y, Wan J Q, *et al.* Occurrence, distribution and risk assessment of antibiotics in drinking water source in Dongguan [ J ]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2020, **40**(1): 166-178.

## CONTENTS

Concurrent Collection of Ammonia Gas and Aerosol Ammonium in Urban Beijing During National Celebration Days Utilizing an Acid-Coated Honeycomb Denuder in Combination with a Filter System .....	GU Meng-na, PAN Yue-peng, SONG Lin-lin, <i>et al.</i> ( 1 )
Heavy Pollution Episode in Tianjin Based on UAV Meteorological Sounding and Numerical Model .....	YANG Xu, CAI Zi-ying, HAN Su-qin, <i>et al.</i> ( 9 )
Characteristics and Sources of PM <sub>2.5</sub> Pollution in Typical Cities of the Central Plains Urban Agglomeration in Autumn and Winter .....	MIAO Qing-qing, JIANG Nan, ZHANG Rui-qin, <i>et al.</i> ( 19 )
Characteristics and Sources of Water-soluble Ion Pollution in PM <sub>2.5</sub> in Winter in Shenyang .....	WANG Guo-zhen, REN Wan-hui, YU Xing-na, <i>et al.</i> ( 30 )
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in PM <sub>2.5</sub> Collected in Baoding .....	LEI Wen-kai, LI Xing-ru, ZHANG Lan, <i>et al.</i> ( 38 )
Source Apportionment of Ambient Carbonyl Compounds Based on a PMF and Source Tracer Ratio Method: A Case Based on Observations in Nanjing .....	HU Kun, WANG Ming, WANG Hong-li, <i>et al.</i> ( 45 )
Characterization and Source Apportionment of Atmospheric VOCs in Tianjin in 2019 .....	GAO Jing-yun, XIAO Zhi-mei, XU Hong, <i>et al.</i> ( 55 )
Characteristics and Source Apportionment of Ambient VOCs in Spring in Liuzhou .....	LIU Qi, LU Xing-lin, ZENG Peng, <i>et al.</i> ( 65 )
Characteristics of Ozone and Source Apportionment of the Precursor VOCs in Tianjin Suburbs in Summer .....	LUO Rui-xue, LIU Bao-shuang, LIANG Dan-ni, <i>et al.</i> ( 75 )
Transport Influence and Potential Sources of Ozone Pollution for Nanjing During Spring and Summer in 2017 .....	XIE Fang-jian, LU Xiao-bo, YANG Feng, <i>et al.</i> ( 88 )
Ozone Pollution Trend in the Pearl River Delta Region During 2006-2019 .....	ZHAO Wei, GAO Bo, LU Qing, <i>et al.</i> ( 97 )
Distribution Characteristics and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Atmospheric Deposition in Areas Adjacent to a Large Petrochemical Enterprise .....	LI Da-yan, QI Xiao-bao, WU Jian, <i>et al.</i> ( 106 )
Quantitative Comparison of Methods to Assess the Airborne Particulate Matter Retention Capacity of Leaves .....	YUE Chen, LI Guang-de, XI Ben-ye, <i>et al.</i> ( 114 )
Emission Estimation and Fate Simulation of Dichlorvos in the Dongjiang River Watershed .....	ZHANG Bing, ZHANG Qian-qian, YING Guang-guo ( 127 )
Distribution and Ecological Risk Assessment of Antibiotics in the Songhua River Basin of the Harbin Section and Ashe River .....	YANG Shang-le, WANG Xu-ming, WANG Wei-hua, <i>et al.</i> ( 136 )
Characteristics and Ecological Risk Assessment of POPs Pollution in Sediments of Xiaoxingkai Lake in the Northeast China .....	LI Hui, LI Jie, SONG Peng, <i>et al.</i> ( 147 )
Distribution and Ecological Risk Assessment of PPCPs in Drinking Water Sources of Henan Province .....	ZHOU Ying, WU Dong-hai, LU Guang-hua, <i>et al.</i> ( 159 )
Occurrence Characteristics and Health Risk Assessment of Endocrine Disrupting Chemicals in Groundwater in Wuxi-Changzhou .....	WANG Shu-ting, RAO Zhu, GUO Feng, <i>et al.</i> ( 166 )
Seasonal Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Water of Qingjiang River .....	LIU Zhao, ZHOU Hong, CAO Wen-jia, <i>et al.</i> ( 175 )
Metal Pollutions and Human Health Risks in Groundwater from Wet, Normal, and Dry Periods in the Huixian Karst Wetland, China .....	LI Jun, ZHAO Yi, ZOU Sheng-zhang, <i>et al.</i> ( 184 )
Seasonal Variation of DOM Spectral Characteristics of Rivers with Different Urbanization Levels in the Three Gorges Reservoir Area .....	CHEN Zhao-yu, LI Si-yue ( 195 )
Distribution of Micro-plastics in the Soil Covered by Different Vegetation in Yellow River Delta Wetland .....	YUE Jun-jie, ZHAO Shuang, CHENG Hao-dong, <i>et al.</i> ( 204 )
Metagenomic Analysis Provides Insights into Bacterial Communities, Antibiotic Resistomes, and Public Health Risks in the Dongping Lake Reservoir .....	ZHANG Hong-na, CUI Na, SHEN Hong-miao ( 211 )
Mechanism of Algal Community Dynamics Driven by the Seasonal Water Bacterial Community in a Stratified Drinking Water Reservoir .....	YAN Miao-miao, ZHANG Hai-han, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i> ( 221 )
Community Structure, Function, and Influencing Factors of Planktonic Fungi in the Danjiangkou Reservoir .....	ZHENG Bao-hai, WANG Xiao-yu, LI Ying-jun, <i>et al.</i> ( 234 )
Changes in Algal Particles and Their Water Quality Effects in the Outflow River of Taihu Lake .....	GUO Yu-long, XU Hai, CHEN Xu-qing, <i>et al.</i> ( 242 )
Characteristics of Soil Nitrogen and Phosphorus Losses Under Different Land-use Schemes in the Shipanqiu Watershed .....	DENG Hua, GAO Ming, LONG Yi, <i>et al.</i> ( 251 )
Influence of Antecedent Dry Days on Nitrogen Removal in Bioretention Systems .....	CHEN Yao, LI Xin-rui, ZHENG Shuang, <i>et al.</i> ( 263 )
Effect of <i>Enteromorpha prolifera</i> Biochar on the Adsorption Characteristics and Adsorption Mechanisms of Ammonia Nitrogen in Rainfall Runoff .....	CHEN You-yuan, LI Pei-qiang, LI Xian-chi, <i>et al.</i> ( 274 )
Effect of Filter Medium on the Enhancement of Complete Autotrophic Nitrogen Removal over Nitrite Process in a Tidal Flow Constructed Wetland .....	LIU Bing, ZHENG Yu-ming, QIN Hui-an, <i>et al.</i> ( 283 )
Adsorption Effect and Mechanism of Aqueous Arsenic on FeMnNi-LDHs .....	LIAO Yu-mei, YU Jie, WEI Shi-qiang, <i>et al.</i> ( 293 )
Combined Use of Zirconium-Modified Bentonite Capping and Calcium Nitrate Addition to Control the Release of Phosphorus from Sediments .....	ZHANG Hong-hua, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> ( 305 )
Distribution Characteristics of Antibiotics and Antibiotic Resistance Genes in Wastewater Treatment Plants .....	XIE Ya-wei, YU Chi-sheng, LI Fei-fei, <i>et al.</i> ( 315 )
Occurrence of Antibiotic Resistance Genes and Bacterial Community Structure of Different Sludge Samples During Microwave Pretreatment-Anaerobic Digestion .....	LI Hui-li, WU Cai-yun, TANG An-ping, <i>et al.</i> ( 323 )
Selenium Threshold for the Delimitation of Natural Selenium-Enriched Land .....	WANG Hui-yan, ZENG Dao-ming, GUO Zhi-juan, <i>et al.</i> ( 333 )
Improved Regression Kriging Prediction of the Spatial Distribution of the Soil Cadmium by Integrating Natural and Human Factors .....	GAO Zhong-yuan, XIAO Rong-bo, WANG Peng, <i>et al.</i> ( 343 )
Simulation Cadmium (Cd) Accumulation in Typical Paddy Soils in South China .....	DAI Ya-ting, FU Kai-dao, YANG Yang, <i>et al.</i> ( 353 )
Bioaccessibility and Health Risks of the Heavy Metals in Soil-Rice System of Southwest Fujian Province .....	LIN Cheng-qi, CAI Yu-hao, HU Gong-ren, <i>et al.</i> ( 359 )
Effects of Nano Material on Cadmium Accumulation Capacity and Grain Yield of Indica Hybrid Rice Under Wetting-drying Alternation Irrigation .....	YANG Ru, CHEN Xin-rui, ZHANG Ying, <i>et al.</i> ( 368 )
Regulation Control of a Tribasic Amendment on the Chemical Fractions of Cd and As in Paddy Soil and Their Accumulation in Rice .....	JIANG Yi, LIU Ya, GU Jiao-feng, <i>et al.</i> ( 378 )
Combined Effect of Weathered Coal Based Amendments and Soil Water Management on Methylmercury Accumulation in Paddy Soil and Rice Grains .....	ZHENG Shun-an, WU Ze-ying, DU Zhao-ling, <i>et al.</i> ( 386 )
Effects of Fertilization Strategies on the Cadmium Resistance of Paddy Soil Microorganisms .....	ZHENG Kai-kai, MA Zhi-yuan, SUN Bo, <i>et al.</i> ( 394 )
Soil Enzyme Activity in <i>Picea schrenkiana</i> and Its Relationship with Environmental Factors in the Tianshan Mountains, Xinjiang .....	ZHANG Han, GONG Lu, LIU Xu, <i>et al.</i> ( 403 )
Effects of Farmland Abandonment on Soil Enzymatic Activity and Enzymatic Stoichiometry in the Loess Hilly Region, China .....	ZHONG Ze-kun, YANG Gai-he, REN Cheng-jie, <i>et al.</i> ( 411 )
Effect of Biochar on Soil Enzyme Activity & the Bacterial Community and Its Mechanism .....	FENG Hui-lin, XU Chen-sheng, HE Huan-hui, <i>et al.</i> ( 422 )
Effects of Vegetation Restoration on the Structure and Function of the Rhizosphere Soil Bacterial Community of <i>Solanum rostratum</i> .....	ZHANG Rui-hai, SONG Zhen, FU We-dong, <i>et al.</i> ( 433 )
Response of Microbial Biomass Carbon and Nitrogen and Rice Quality in a Yellow Soil Paddy Field to Biochar Combined with Nitrogen Fertilizer .....	SHI Deng-lin, WANG Xiao-li, LIU An-kai, <i>et al.</i> ( 443 )
Effects of Adding Straw and Biochar with Equal Carbon Content on Soil Respiration and Microbial Biomass Carbon and Nitrogen .....	HE Tian-tian, WANG Jing, FU Yun-peng, <i>et al.</i> ( 450 )
How Different Ratios of Straw Incorporation to Nitrogen Fertilization Influence Endogenous and Exogenous Carbon Release from Agricultural Soils .....	SUN Zhao-an, ZHANG Xuan, HU Zheng-jiang, <i>et al.</i> ( 459 )
Effect of Biochar and Chemical Fertilizer Mixture on Ammonia Volatilization and Phosphorus Fixation .....	YANG Wen-na, DENG Zhen-xin, LI Jiao, <i>et al.</i> ( 467 )
Effects of Film Materials on Ammonia Volatilization Emissions from a Paddy System After Reducing Nitrogen Fertilizer Application .....	YU Ying-liang, WANG Meng-fan, YANG Bei, <i>et al.</i> ( 477 )
Effects of Microplastics on Embryo Hatching and Intestinal Accumulation in Larval Zebrafish <i>Danio rerio</i> .....	ZHAO Jia, RAO Ben-qiang, GUO Xiu-mei, <i>et al.</i> ( 485 )
Urban Micro-Scale Thermal Environment Simulation Supported by UAV Thermal Infrared Data .....	YANG Shao-qi, FENG Li, TIAN Hui-hui, <i>et al.</i> ( 492 )
Estimation of the Urban Heat Island Intensity Change and Its Relationships with Driving Factors Across China Based on the Human Settlement Scale .....	SUN Yan-wei, WANG Run, GUO Qing-hai, <i>et al.</i> ( 501 )