

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第4期

Vol.37 No.4

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2013年12月上海市重度污染期间细颗粒物化学特征与输送轨迹影响	
..... 周敏, 乔利平, 朱书慧, 李莉, 楼晟荣, 王红丽, 陶士康, 黄成, 陈长虹 (1179)	
利用 SPAMS 研究华北乡村站点(曲周)夏季大气单颗粒物老化与混合状态	黄子龙, 曾立民, 董华斌, 李梅, 朱彤 (1188)
南京大气气溶胶混合态与云凝结核活化特征研究	朱麟, 马嫣, 郑军, 李时政, 王利朋 (1199)
北京地区不同天气条件下气溶胶数浓度粒径分布特征研究	苏捷, 赵普生, 陈一娜 (1208)
重庆市主城区 PM _{2.5} 时空分布特征	刘永林, 孙启民, 钟明洋, 钟部卿, 雒昆利 (1219)
大气细颗粒物中有机碳和元素碳监测方法对比	庞博, 吉东生, 刘子锐, 朱彬, 王跃思 (1230)
深圳市大气中全氟化合物的残留特征	何鹏飞, 张鸿, 李静, 何龙, 罗骥, 刘国卿, 沈金灿, 杨波, 崔晓宇 (1240)
北京上甸子站大气 CO ₂ 及 δ ¹³ C(CO ₂) 本底变化	夏玲君, 周凌晔, 刘立新, 张根 (1248)
梅雨期大学宿舍室内生物气溶胶浓度及粒径分布	刘婷, 李露, 张家泉, 占长林, 刘红霞, 郑敬茹, 姚瑞珍, 曹军骥 (1256)
城市黑臭水体空气微生物污染及健康风险	刘建福, 陈敬雄, 辜时有 (1264)
北京市典型室内外灰尘中重金属的粒径和季节变异特征及人体暴露评估	
..... 曹治国, 余刚, 吕香英, 王梦蕾, 李琦路, 冯精兰, 闫广轩, 余浩, 孙剑辉 (1272)	
西安市地表灰尘中多环芳烃分布特征与来源解析	王丽, 王利军, 史兴民, 卢新卫 (1279)
PDMS 基涂层活性炭对甲苯、苯和丙酮吸附研究	刘寒冰, 姜鑫, 王新, 杨兵, 薛南冬, 张石磊 (1287)
海南东北部滨海湿地沉积物微量元素分布特征、来源及污染评价	张卫坤, 甘华阳, 闭向阳, 王家生 (1295)
曹妃甸围填海土壤重金属积累的磁化率指示研究	薛勇, 周倩, 李远, 章海波, 胡雪峰, 骆永明 (1306)
滇南蒙自地区降水稳定同位素特征及其水汽来源	李广, 章新平, 许有鹏, 宋松, 王跃峰, 季晓敏, 项捷, 杨洁 (1313)
江苏省浅水湖泊表层沉积物重金属 GIS 空间分布及生态风险评价	李莹杰, 张列宇, 吴易雯, 李曹乐, 杨天学, 唐军 (1321)
城市景观水体甲基汞的形成机制及微宇宙模拟研究	刘小红, 司友斌, 郭子薇, 杜成竹, 朱聪聪 (1330)
我国北方温排水库——周村水库季节性热分层现象及其水质响应特性	
..... 曾明正, 黄廷林, 邱晓鹏, 王亚平, 史建超, 周石磊, 刘飞 (1337)	
额尔齐斯河源区融雪期积雪与河流的水化学特征	韦虹, 吴锦奎, 沈永平, 张伟, 刘世伟, 周嘉欣 (1345)
太原汾河景区浮游植物群落结构及其与环境因子关系分析	冯佳, 郭宇宁, 王飞, 吕俊平, 刘琪, 谢树莲, 程革, 张建民 (1353)
铜陵市河流沉积物中硝化和反硝化微生物分布特征	程建华, 窦智勇, 孙庆业 (1362)
基流对亚热带农业流域氮素输出的贡献研究	马秋梅, 李玮, 王毅, 刘新亮, 李勇, 吴金水 (1371)
重庆南山表层岩溶泉与地下河三氮运移及氮通量估算	张远瞩, 贺秋芳, 蒋勇军, 李勇 (1379)
山美水库沉积物氮磷和有机质污染特征及评价	邱祖凯, 胡小贞, 姚程, 张文慧, 许秋瑾, 黄天寅 (1389)
伊乐藻-固定化脱氮微生物技术对入贡河道脱氮机制的影响	韩华杨, 李正魁, 王浩, 朱倩 (1397)
环太湖不同性质河流水体磷的时空分布特征	高永霞, 宋玉芝, 于江华, 朱广伟 (1404)
藻类与扰动共存下水体中不同形态磷的数量分布规律	陈俊, 李勇, 李大鹏, 黄勇, 朱培颖 (1413)
扰动对悬浮颗粒物粒径及上覆水中磷形态分布的影响	郭俊锐, 李大鹏, 刘焱见 (1422)
铅改性高岭土覆盖对底泥与上覆水之间磷迁移转化的影响	章喆, 林建伟, 詹艳慧, 王虹 (1427)
电化学还原-氧化工艺降解 4-氯酚的毒性研究	王岩, 施钦, 王辉, 卞兆勇 (1437)
水合氧化铝负载的磁性核/壳结构 Fe ₃ O ₄ @SiO ₂ 纳米颗粒对水中磷的去除及再利用	
..... 赖立, 谢强, 方文侃, 邢明超, 吴德意 (1444)	
多环芳烃及其衍生物在北京典型污水处理厂中的存在及去除	乔梦, 齐维晓, 赵旭, 刘会娟, 曲久辉 (1451)
污水处理厂污泥水溶性有机物的光谱特性分析	牛天浩, 周振, 胡大龙, 魏海娟, 李晶, 窦微笑, 葛红花 (1460)
高含氟的光伏废水反硝化可行性及经济性分析	李祥, 朱亮, 黄勇, 杨朋兵, 崔剑虹, 马航 (1467)
连续流反应器短程硝化的快速启动与维持机制	吴鹏, 张诗颖, 宋吟玲, 徐乐中, 沈耀良 (1472)
反硝化颗粒污泥在纳米零价铁胁迫下的性能恢复	王翻翻, 钱飞跃, 沈耀良, 王建芳, 张月茹, 刘郭洵 (1478)
低浓度环丙沙星对曝气生物滤池生物膜硝化过程及硝化微生物的作用影响	
..... 何势, 顾超超, 魏欣, 黄圣琳, 刘振鸿, 薛罡, 高品 (1485)	
低碳源条件下改良双污泥系统脱氮除磷优化研究	
..... 杨伟强, 王冬波, 李小明, 杨麒, 徐秋翔, 张志贝, 李志军, 向海弘, 王亚利, 孙剑 (1492)	
短期保护性耕作措施对大豆-冬小麦轮作系统温室气体排放的影响	谢燕, 陈曦, 胡正华, 陈书涛, 张寒, 凌慧, 申双和 (1499)
不同封育年限荒漠草原土壤呼吸日、季动态变化及其影响因子	崔海, 张亚红 (1507)
塔里木盆地南缘典型绿洲土壤有机碳、无机碳与环境因子的相关性	贡璐, 朱美玲, 刘曾媛, 张雪妮, 解丽娜 (1516)
小分子有机酸对紫色土及其溶液中 Pb 的赋存影响	刘江, 江韬, 黄容, 张进忠, 陈宏 (1523)
鸢尾对石油烃污染土壤的修复以及根系代谢分析	王亚男, 程立娟, 周启星 (1531)
水锰矿氧化水溶性硫化物过程及其影响因素	罗瑶, 李珊, 谭文峰, 刘凡, 蔡崇法, 邱国红 (1539)
高温纤维素降解菌筛选及产酶特性	冯红梅, 秦永胜, 李筱帆, 周金星, 彭霞薇 (1546)
基于固相萃取及高效液相色谱-荧光检测分析的污泥中氟喹诺酮类抗生素研究方法的开发	
..... 戴晓虎, 薛勇刚, 刘华杰, 戴翎翎, 严寒, 李宁 (1553)	
养殖场周边土壤-蔬菜系统磺胺类药物残留及风险评价	金彩霞, 司晓薇, 王子英, 张琴文 (1562)
4 种典型 PPCPs 对蚕豆和大蒜根尖细胞微核率的影响	王兰君, 王金花, 朱鲁生, 王军, 赵祥 (1568)
新型污染物卤代吡啉的环境行为及生态毒理效应	林坤德, 陈艳秋, 袁东星 (1576)
水源地土壤环境保护优先区划分方法与实例研究	李蕾, 王铁宇, 王晓军, 肖荣波, 李奇峰, 彭驰, 韩存亮 (1584)
《环境科学》征订启事 (1218) 《环境科学》征稿简则 (1370) 信息 (1352, 1412, 1498)	

城市黑臭水体空气微生物污染及健康风险

刘建福, 陈敬雄, 辜时有

(厦门理工学院环境科学与工程学院, 厦门 361024)

摘要: 针对城市黑臭水体周边空气可能存在的微生物污染, 在城市黑臭水体离岸一定范围内, 对细菌、真菌、总微生物的污染特征及其对不同人群健康风险进行了研究. 结果表明, 城市黑臭水体离岸 200 m 范围内以细菌和真菌污染为主; 静风条件下, 离岸 20 m 范围内存在微生物浓度聚集现象; 细菌、真菌、总微生物浓度上午较高, 中午次之, 下午较低; 离岸 200 m 范围内, 黑臭水体断面宽度与细菌、真菌、总微生物浓度有显著相关性; 长居人群微生物健康风险主要集中在离岸 100 m 范围内; 同距离, 短期暴露健康风险儿童最大, 女性次之, 男性短期暴露风险最小.

关键词: 黑臭水体; 微生物; 空气污染; 污染特征; 健康风险

中图分类号: X511; X172; X820.4 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)04-1264-08 DOI: 10.13227/j.hjks.2016.04.010

Air Microbial Pollution and Health Risk of Urban Black Odorous Water

LIU Jian-fu, CHEN Jing-xiong, GU Shi-you

(School of Environmental Science and Engineering, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China)

Abstract: Aiming at the possible air microbial pollution of urban black odorous water the contamination characteristics of bacteria, fungi and total microbe as well as health risks of different types of population within certain distance from the urban black odorous water were studied. The results showed that bacteria and fungi pollution was primary within offshore 200m; under near calm condition, there was an aggregation phenomenon of microorganisms within offshore 20m; the concentrations of bacteria, fungi and total microbe were the highest in the morning, the middle at noon, and the lowest in the afternoon; within offshore 200m, the width of black odorous water was significantly correlated with the concentrations of bacteria, fungi and total microorganisms; the microbial health risk of residents mainly existed in the offshore 100 m range; at the same offshore distance, the short-term exposure health risk to children was the greatest, followed by women, men to a minimum.

Key words: black odorous water; microbe; air pollution; pollution characteristics; health risk

黑臭水体在我国城市中广泛存在, 已经成为一种严重的城市病^[1], 城市黑臭水体除污染水质、散发恶臭外, 其滋生的微生物导致黑臭水体周边空气污染, 甚至引发个体疾病或传染性疾病暴发^[2]. 关于黑臭水体的研究主要集中在黑臭水体的形成机制和治理方法领域^[3~6], 针对黑臭水体周边空气微生物污染及其对周边人群潜在健康风险的研究较少. 对城市黑臭水体周边空气微生物时空分布特征及其健康风险进行研究, 可以掌握黑臭水体周边空气微生物污染水平、污染规律、污染范围及其健康风险, 以期为城市黑臭水体周边空气微生物污染防治提供理论依据, 对保障城市黑臭水体周边群众健康安全具有重要意义.

1 材料与方法

1.1 采样与培养

1.1.1 采样

在城市黑臭水体的上游、中游和下游各设一个取样断面, 上游断面宽 3.5 m, 中游断面宽 4.5 m, 下游断面宽 8.2 m, 在各断面离岸 5、20、50、100、200

m 处布设采样点, 并在离黑臭水体 1.0 km 处设置一个对照采样点. 采样选择在 9 月温度 25℃ 以上、晴朗、静风天气条件下进行, 用灭菌密封后的培养皿通过自然沉降法采样^[7~9]. 每个采样点监测 3 d, 每天采样时间为上午 06:00、中午 12:30 和下午 17:00, 采样时间为 5 min, 采样高度为人群呼吸带范围内中值 1.6 m^[10].

1.1.2 培养计数

真菌培养选用 PDA 培养基, 加入链霉素 (100 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) 抑制细菌生长, 细菌培养采用 NA 培养基, 加入青霉素 (100 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) 抑制真菌生长. 真菌在恒温培养箱中于 28℃ 培养 72 h 后观察计数, 细菌在 37℃ 培养 24 h 后观察计数^[11~13].

1.2 微生物暴露剂量计算

1.2.1 呼吸暴露剂量计算

空气中微生物主要是通过呼吸途径进入人体,

收稿日期: 2015-11-02; 修订日期: 2015-12-10

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51008261)

作者简介: 刘建福 (1981~), 男, 硕士, 实验师, 主要研究方向为环境生物技术, E-mail: 379133828@qq.com

其它途径摄入量很少。因此,空气中微生物暴露剂量只考虑通过呼吸途径进入人体的量,采用美国 EPA 推荐的人体暴露健康风险评价模型分别计算细菌、真菌、微生物总数日均呼吸暴露剂量,日均呼吸暴露剂量的计算公式如下^[14,15]:

$$ADD_{inh} = \frac{c \times InhR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (1)$$

式中,ADD_{inh}为呼吸吸入途径暴露剂量,cfu·d⁻¹; c 为空气微生物浓度,cfu·m⁻³; InhR 为呼吸速率,m³·d⁻¹; EF 为暴露频率,d·a⁻¹; ED 为暴露年限,a; BW 为平均体重,kg; AT 为暴露时间,d.

计算所需参数的取值参考中国人群暴露参数手册^[16]、US EPA 健康风险评价方法以及国内外相关研究成果确定^[17~20].

1.2.2 允许暴露量计算

确定允许暴露剂量首先需要明确人群在长期暴露的环境中健康风险处于可接受水平时空气中各微生物最高允许浓度,由于空气中微生物种类多,且各种微生物浓度、致病能力都不一样,如按照每一种微生物分别确定其允许暴露剂量 RfD,则要对每一种微生物进行分离、培养、鉴定,再单独确定其允许暴露量^[21,22],所需工作量大,不利于在实际工作中开展应用. 中国科学院生态环境研究中心颁布的大气微生物评价分级标准按照细菌、真菌、微生物总数这 3 个指标对大气微生物污染程度进行分级,当大气中这 3 个指标都达到较清洁级别或优于较清

洁级别时,可以认为人体暴露其中不存在健康风险. 因此,采用中国科学院生态环境研究中心颁布的大气微生物评价分级标准中较清洁级别对应的细菌、真菌、微生物总数作为其最高允许浓度,按照公式(1)分别计算细菌、真菌、微生物总数允许暴露量.

1.3 微生物健康风险评价

城市黑臭水体周边空气中的微生物总体可归为非致癌物质,对于非致癌物质,可根据其日均暴露剂量 ADD,计算其风险指数 HQ 作为微生物健康风险评价指标,表征其健康风险大小^[23~25]. HQ 按照式(2)进行计算,若其值小于 1,则认为空气中微生物的健康风险可接受;反之,则认为存在暴露健康风险^[26~29].

$$HQ = \frac{ADD}{RfD} \quad (2)$$

式中,HQ 为微生物风险指数,无量纲; ADD 为微生物日均暴露剂量,cfu·d⁻¹; RfD 为微生物允许暴露剂量,cfu·d⁻¹.

2 结果与讨论

2.1 微生物污染水平

细菌、真菌及微生物总数监测结果如表 1 所示,在上游、中游、下游这 3 个断面 15 个采样点中,细菌超标率为 66.7%,其中轻微污染点位占 30%,污染级别点位占 70%;真菌超标率为 60%,其中轻微污染点位占 33.3%,污染级别点位占 66.7%;微

表 1 各点位微生物数量及污染情况¹⁾

Table 1 Number of microorganisms and the pollution status of each point							
采样点位	微生物数量均值/cfu·m ⁻³			污染级别			
	细菌	真菌	微生物总数	细菌	真菌	微生物总数	
上游断面	距岸 5 m	8 067 ± 324	1 076 ± 55	9 143 ± 371	Ⅳ(污染)	Ⅳ(污染)	Ⅳ(污染)
	距岸 20 m	8 143 ± 304	1 133 ± 97	9 276 ± 385	Ⅳ(污染)	Ⅳ(污染)	Ⅳ(污染)
	距岸 50 m	4 171 ± 164	775 ± 27	4 946 ± 190	Ⅲ(轻微污染)	Ⅲ(轻微污染)	Ⅱ(较清洁)
	距岸 100 m	1 217 ± 140	572 ± 54	1 789 ± 188	Ⅱ(较清洁)	Ⅱ(较清洁)	Ⅰ(清洁)
	距岸 200 m	870 ± 49	429 ± 24	1 299 ± 72	Ⅰ(清洁)	Ⅰ(清洁)	Ⅰ(清洁)
中游断面	距岸 5 m	8 499 ± 224	1 153 ± 63	9 652 ± 276	Ⅳ(污染)	Ⅳ(污染)	Ⅳ(污染)
	距岸 20 m	8 688 ± 253	1231 ± 46	9 919 ± 298	Ⅳ(污染)	Ⅳ(污染)	Ⅳ(污染)
	距岸 50 m	4 187 ± 104	794 ± 41	4 981 ± 143	Ⅲ(轻微污染)	Ⅲ(轻微污染)	Ⅱ(较清洁)
	距岸 100 m	1 385 ± 105	599 ± 53	1 984 ± 152	Ⅱ(较清洁)	Ⅱ(较清洁)	Ⅰ(清洁)
	距岸 200 m	889 ± 69	443 ± 23	1 332 ± 91	Ⅰ(清洁)	Ⅰ(清洁)	Ⅰ(清洁)
下游断面	距岸 5 m	9 296 ± 314	1 235 ± 60	10 531 ± 371	Ⅳ(污染)	Ⅳ(污染)	Ⅳ(污染)
	距岸 20 m	9 367 ± 344	1 289 ± 66	10 656 ± 385	Ⅳ(污染)	Ⅳ(污染)	Ⅳ(污染)
	距岸 50 m	5 180 ± 128	834 ± 51	6 014 ± 176	Ⅳ(污染)	Ⅲ(轻微污染)	Ⅲ(轻微污染)
	距岸 100 m	2 670 ± 84	655 ± 82	3 325 ± 165	Ⅲ(轻微污染)	Ⅱ(较清洁)	Ⅱ(较清洁)
	距岸 200 m	926 ± 138	488 ± 36	1 414 ± 173	Ⅱ(较清洁)	Ⅰ(清洁)	Ⅰ(清洁)
对照	距岸 1.0 km	636 ± 18	346 ± 9	982 ± 21	Ⅰ(清洁)	Ⅰ(清洁)	Ⅰ(清洁)

1) 每个点位样品数 n = 27, 每天采样 9 个, 共 3 d

生物总数超标率 46.7%, 其中轻微污染点位占 14.3%, 污染级别点位占 85.7%。在 45 个污染分级结果中, 有 7 个污染级别为Ⅲ级, 占总数 15.6%, 19 个污染级别为Ⅳ级, 占总数 42.2%。综上可知, 在城市黑臭水体周边空气中细菌和真菌超标率较高, 微生物总数污染程度相对较低, 整体污染水平以Ⅳ级污染为主。

2.2 离岸距离对微生物污染影响

综合分析图 1~3 微生物浓度随距离变化情况可知, 上中下游各采样断面细菌、真菌、总微生物浓度随距离的变化趋势基本一致。在离岸 5~20 m 范围内上中下游各断面细菌浓度分别增加 0.9%、2.2%、0.8%, 真菌浓度分别增加 5.3%、6.7%、4.4%, 总微生物浓度增加幅度分别为 1.5%、2.8%、1.2%。细菌、真菌和微生物总数在该范围内都呈现出浓度增加的趋势, 这是由于采样是在不利于污染物扩散的静风条件下进行, 微生物在这个范围内聚集速率大于扩散速率导致微生物浓度增加, 另外真菌的个体一般要比细菌大, 其扩散速率要比细菌小, 因此在 5~20 m 范围内真菌浓度增加速率比细菌增加速率大。当离岸距离大于 20 m 时, 这时扩散起主导作用, 细菌、真菌和总微生物浓度开始降低, 当离岸距离达到 100 m 时, 上中下游各断面细菌浓度分别降低 85.1%、84.1%、71.5%, 真菌浓度分别降低 49.5%、51.3%、49.2%, 总微生物浓度分别下降 80.7%、80.0%、68.8%, 此时上游断面、中游断面各采样点细菌、真菌和总微生物浓度均没有超标, 下游断面中只有细菌浓度超标。当离岸距离达到 200 m 时, 各断面不同采样点细菌、真菌和总微生物浓度均达到较清洁或清洁水平。综上可知, 在不利于污染物扩散的静风条件下, 离岸 20 m 内范围有个微生物浓度聚集的过程, 也是城市黑臭水体周围空气微生物污染较严重区域; 20~100 m 范围内随着离岸距离的增加, 空气中微生物浓度受黑臭水体影响程度逐渐降低; 当离岸距离达到 200 m 时, 空气中微生物浓度受城市黑臭水体的影响大幅下降。

2.3 时间变化对微生物污染影响

由图 4~6 不同采样时间细菌浓度变化情况可知, 各采样点细菌浓度均是上午 06:00 最高, 中午 12:30 次之, 下午 17:00 浓度最低, 呈现出从上午到中午再到下午细菌浓度逐渐减少的变化规律, 细菌浓度从上午到中午时间段的降低速率总体上高于其从中午到下午时段细菌浓度降低速率。与此同时,

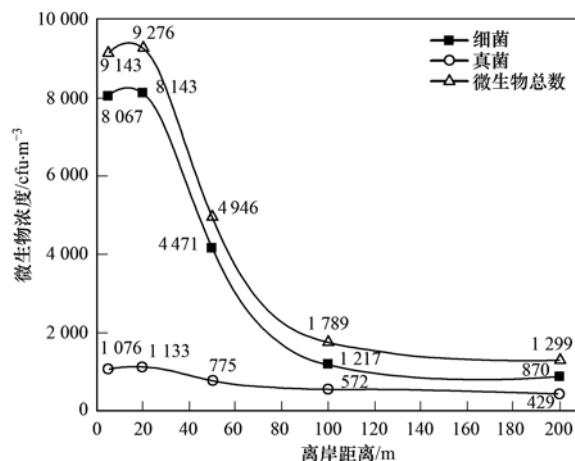


图 1 上游断面各采样点微生物随距离变化情况

Fig. 1 Variation of microbe with distance in the upper section

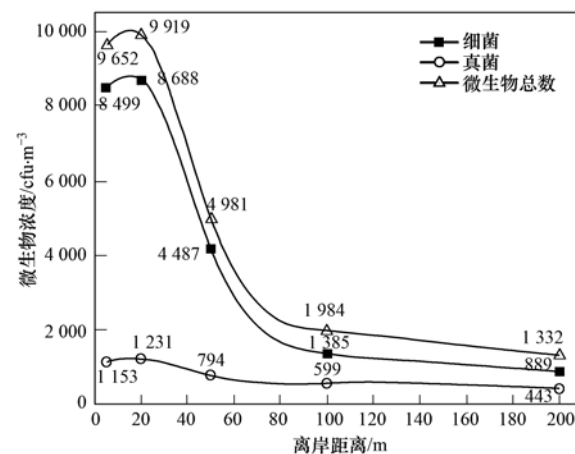


图 2 中游断面各采样点微生物随距离变化情况

Fig. 2 Variation of microbe with distance in the middle section

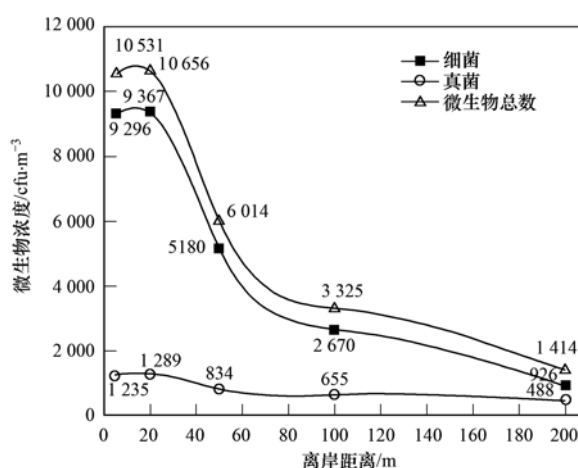


图 3 下游断面各采样点微生物随距离变化情况

Fig. 3 Variation of microbe with distance in the downstream section

图 7~9 真菌浓度呈现出的变化规律也是上午浓度最高, 中午次之, 下午浓度最低, 真菌浓度从上午到中午时间段降低速率高于其从中午到下午时段浓度

的降低速率。综上可知,细菌、真菌浓度在上午最高,微生物总数是细菌与真菌之和,因此,无论是用细菌、真菌还是微生物总数指标衡量,上午时段均是城市黑臭水体周边空气微生物污染最严重的时段。

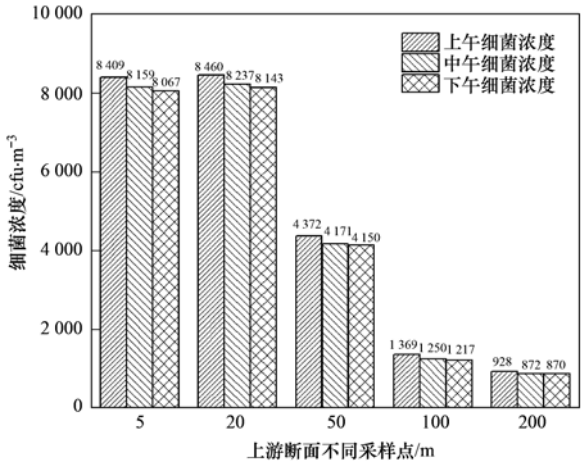


图4 上游断面不同采样时间细菌变化

Fig. 4 Variation of bacteria with sampling time in the upper section

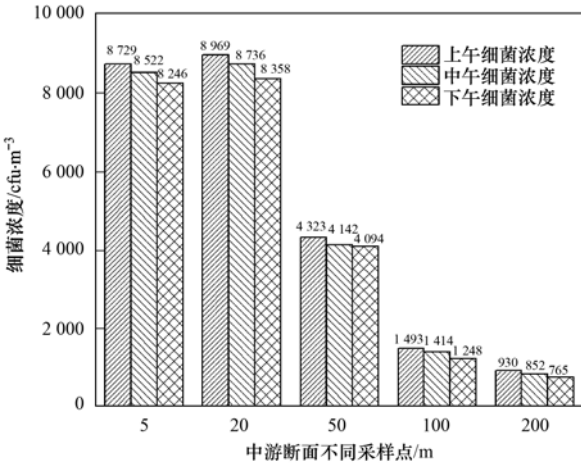


图5 中游断面不同采样时间细菌变化

Fig. 5 Variation of bacteria with sampling time in middle section

2.4 断面宽度对微生物污染影响

由图10~12可知,在离岸距离相等的情况下,随着断面宽度的增加,离岸200 m范围内各采样点细菌、真菌、微生物总浓度均呈现出增加趋势。细菌、真菌、微生物总浓度与断面宽度相关性分析结果显示(表2),在离岸5、20、50、100、200 m时,细菌、真菌、微生物总浓度与断面宽度相关系数都在0.9以上,且 P 值均小于0.01,存在显著相关性。综上可知,在离岸距离200 m范围内,断面宽度与细菌、真菌以及微生物总浓度显著相关,城市黑臭水

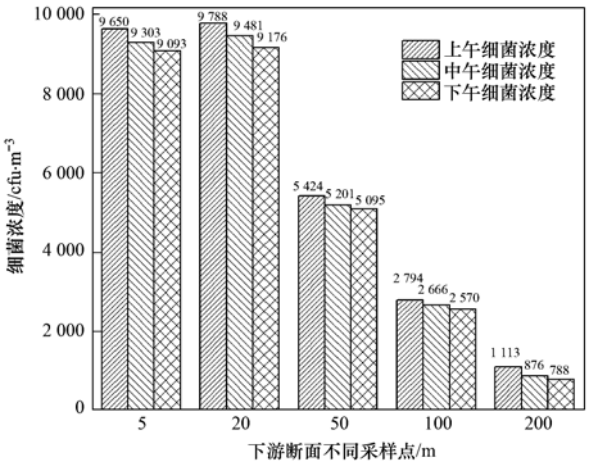


图6 下游断面不同采样时间细菌变化

Fig. 6 Variation of bacteria with sampling time in the downstream section

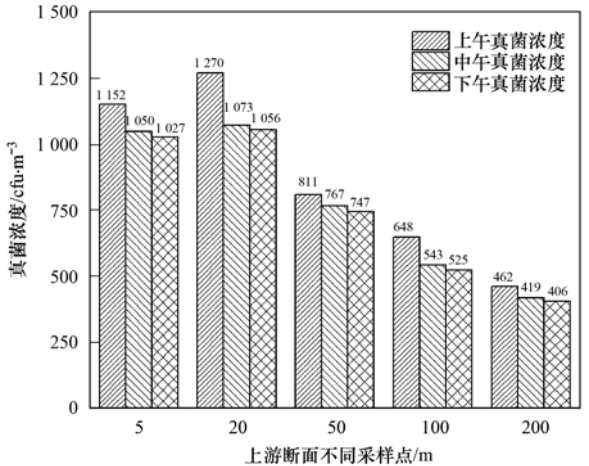


图7 上游断面不同采样时间真菌变化

Fig. 7 Variation of fungi with sampling time in the upper section

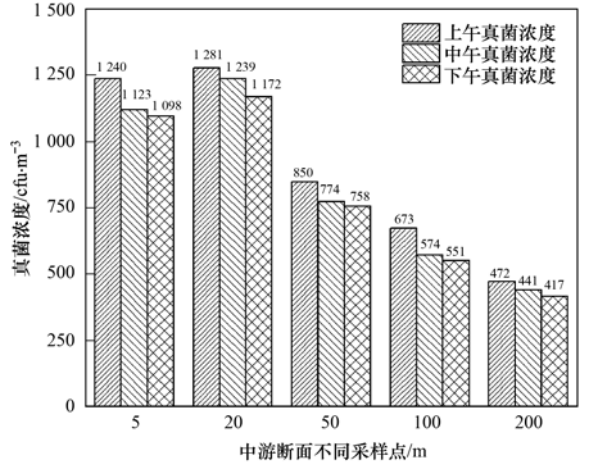


图8 中游断面不同采样时间真菌变化

Fig. 8 Variation of fungi with sampling time in the middle section

体周边空气中细菌、真菌以及微生物总浓度随着断面宽度的增加呈现出不断上升的趋势。

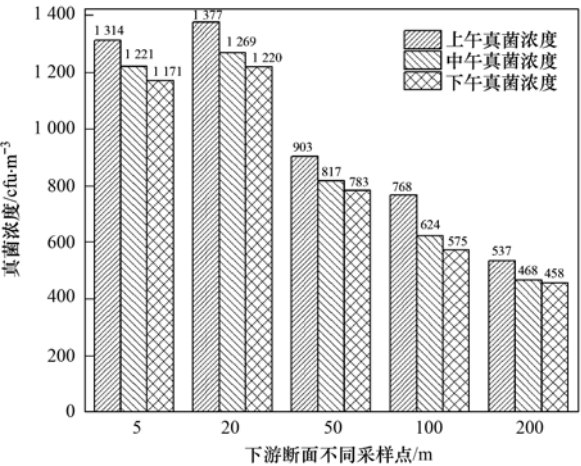


图 9 下游断面不同采样时间真菌变化

Fig. 9 Variation of fungi with sampling time in the downstream section

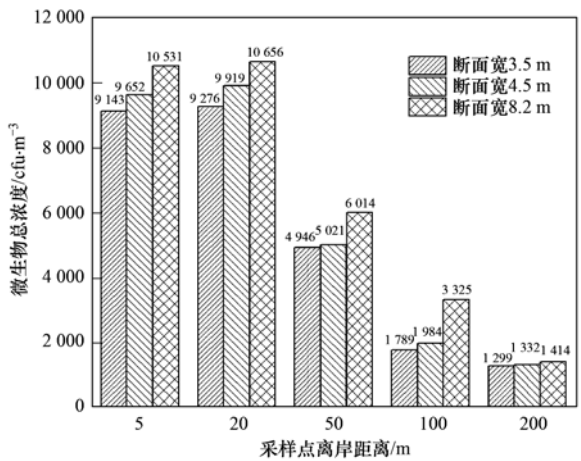


图 12 断面宽度对微生物总浓度的影响

Fig. 12 Effect of cross section width on total microbe concentration

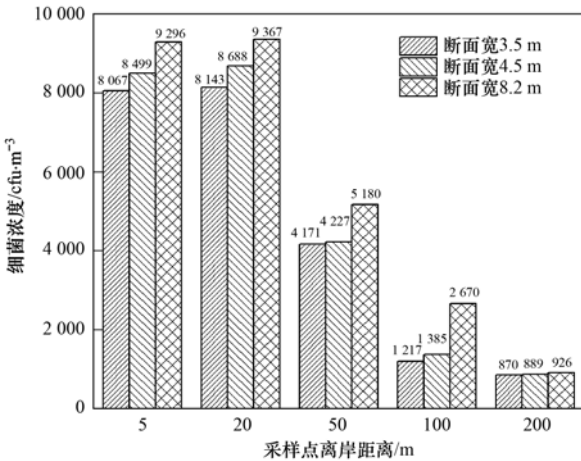


图 10 断面宽度对细菌浓度的影响

Fig. 10 Effect of cross section width on bacterial concentration

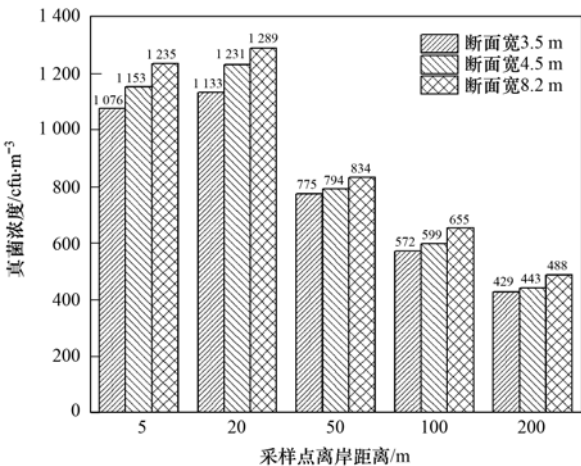


图 11 断面宽度对真菌浓度的影响

Fig. 11 Effect of cross section width on fungal concentration

2.5 健康风险分析

2.5.1 长居人口健康风险

依表 3 人群暴露参数计算男性细菌、真菌、微

表 2 微生物与断面宽度相关性

Table 2 Correlation between microbe and cross section width

离岸距离 /m	细菌与断面宽相关性	真菌与断面宽相关性	总微生物与断面宽相关性	P 值
5	0.998	0.921	0.996	< 0.01
20	0.979	0.980	0.984	< 0.01
50	0.969	0.954	0.977	< 0.01
100	0.992	0.953	0.993	< 0.01
200	0.972	0.983	0.984	< 0.01

生物总数日均允许暴露量分别为 53 350、16 005、106 700 cfu·d⁻¹；女性细菌、真菌、微生物总数允许暴露量为 37 600、11 280、75 200 cfu·d⁻¹，儿童细菌、真菌、微生物总数允许暴露量为 25 000、7 500、50 000 cfu·d⁻¹。图 13 显示，在离岸距离小于 100 m 情况下，各采样点都存在着健康风险系数大于 1 情况，说明居住在离岸 100 m 范围内的人群日均暴露剂量长期超过日允许暴露剂量，存在微生物健康风险，且以细菌污染健康风险指数最大，细菌污染为长居人口健康风险主要来源。图 14 显示，在离岸距离小于 100 m 情况下，都存在着安全暴露时间小于 24 h 的情况，同样表明在城市黑臭水体 100 m 范围内居住存在长期健康风险。综合图 13 ~ 14 可知，随着离岸距离增加，细菌、真菌、微生物总数引发的潜在健康风险系数呈不断减少趋势，安全暴露时间不断增加，表明长居人口离岸距离越近，健康风险越大；安全暴露时间、健康风险指数结果也表明，在不考虑男性、女性和儿童体质差异条件下，长期居住人口处于同样的离岸距离时，男性、女性和儿童的健康风险指数和安全暴露时间值相同，不存在健康风险差异。

表 3 人群暴露量计算参数¹⁾
Table 3 Calculation parameters for population exposure

男			女			儿童		
活动类型	时间/h	呼吸速率 /m ³ ·h ⁻¹	活动类型	时间/h	呼吸速率 /m ³ ·h ⁻¹	活动类型	时间	呼吸速率 /m ³ ·h ⁻¹
睡眠	9	0.48	睡眠	9	0.38	睡眠	12.0	0.3
轻度活动	8	0.61	轻度活动	10	0.47	轻度活动	10.0	0.4
中度活动	6	1.62	中度活动	4	1.26	中度活动	1.5	1.2
重度活动	1	2.42	重度活动	1	1.88	重度活动	0.5	1.9

1) 呼吸速率采用各种活动类型的最大值

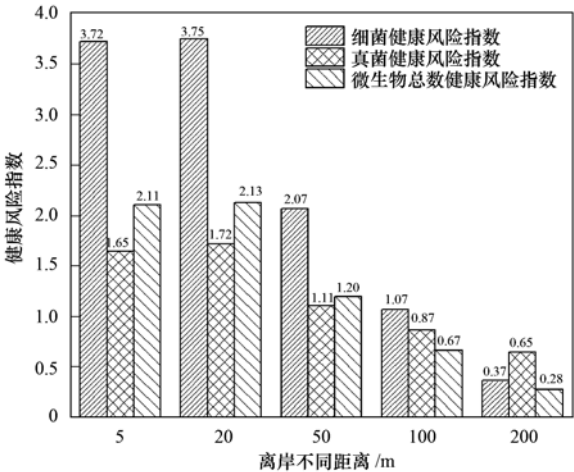


图 13 离岸不同距离长期居住人群健康风险指数

Fig. 13 Health risk index of residents at different offshore distance

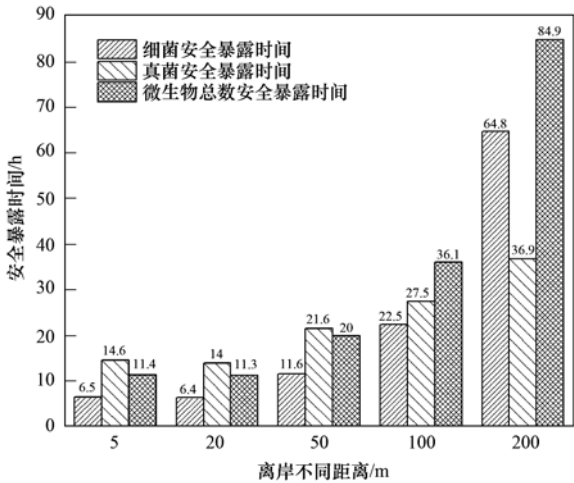


图 14 离岸不同距离长期居住人群离安全暴露时间

Fig. 14 Safety exposure time of residents at different offshore distance

2.5.2 短期暴露健康风险

短期暴露健康风险主要分析微生物污染对短期暴露于黑臭水体附近人群健康影响,短期暴露活动类型设定为重度活动,采用上午时段细菌、真菌、总微生物浓度计算男性、女性、儿童短期安全暴露时间. 结果如图 15 ~ 17 所示,在 5 ~ 100 m 范围内,

男性、女性、儿童细菌短期安全暴露时间最小,表明此范围细菌引起的健康风险最大;当距离达到 200 m 时,男性、女性、儿童真菌短期安全暴露时间最小,此时真菌污染健康风险较大. 由此可见,短期暴露以细菌或真菌引发的健康风险为主. 从图 15 ~ 17 可知,在离岸距离相同点,男性细菌、真菌及总

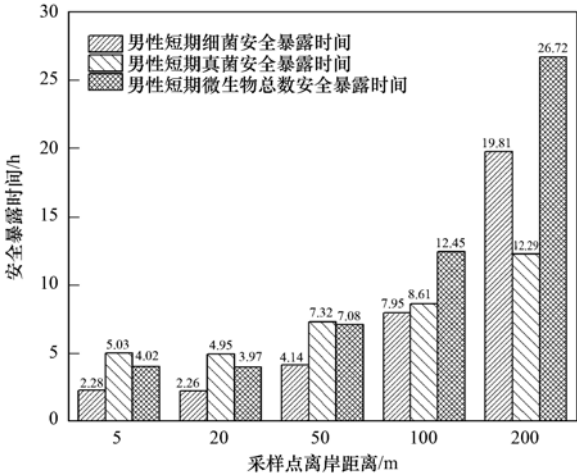


图 15 男性离岸不同距离短期安全暴露时间

Fig. 15 Short-term safety exposure time of male residents at different offshore distance

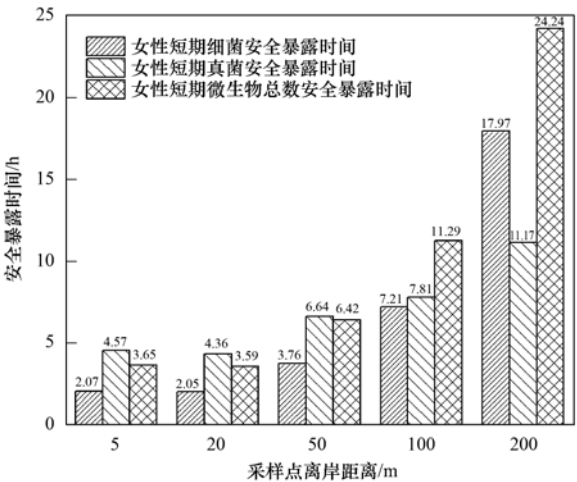


图 16 女性离岸不同距离短期安全暴露时间

Fig. 16 Short-term safety exposure time of female at different offshore distance

微生物安全暴露时间均大于女性,女性安全暴露时间均大于儿童,表明短期暴露时间相等情况下,儿童健康风险最大,女性次之,男性短期暴露健康风险最小。

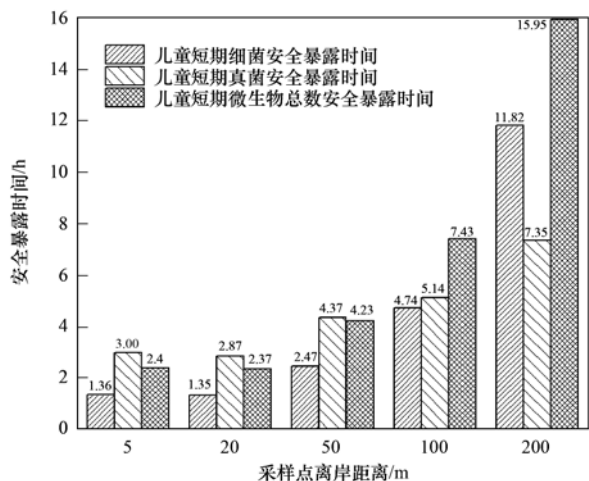


图 17 儿童离岸不同距离短期安全暴露时间

Fig. 17 Short-term safety exposure time of children residents at different offshore distance

3 结论

(1) 静风条件下,在离岸 20 m 范围内存在微生物聚集的现象,该范围内城市黑臭水体周围空气微生物污染较严重,在城市黑臭水体离岸 200 m 范围内,空气以细菌和真菌污染为主,总微生物污染程度相对较低。

(2) 细菌、真菌、总微生物浓度上午最高,中午次之,下午最低,上午短期暴露健康风险最大。

(3) 断面宽度与细菌、真菌以及总微生物浓度存在显著相关性,细菌、真菌以及总微生物浓度随着断面宽度的增加呈上升的趋势。

(4) 城市黑臭水体周围长居人口潜在健康风险随着离岸距离增加,健康风险指数逐渐降低,长居人群微生物污染健康风险主要集中在离岸 100 m 范围内,以细菌污染健康风险为主要风险来源。

(5) 城市黑臭水体短期暴露健康风险以细菌或真菌污染风险为主,短期暴露儿童健康风险最大,女性次之,男性短期暴露健康风险最小。

参考文献:

- [1] 赵越,姚瑞华,徐敏,等. 我国城市黑臭水体治理实践及思路探讨[J]. 环境保护, 2015, 43(13): 27-29.
- [2] He D F, Chen R R, Zhu E H, *et al.* Toxicity bioassays for water from black-odor rivers in Wenzhou, China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2015, 22(3): 1731-1741.
- [3] 刘海洪,李先宁,宋海亮. 浅水湖泊防控黑臭水体复氧技术[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2015, 45(3): 526-530.
- [4] 胡洪营,孙艳,席劲璞,等. 城市黑臭水体治理与水质长效改善保持技术分析[J]. 环境保护, 2015, 43(13): 24-26.
- [5] 卢信,冯紫艳,商景阁,等. 不同有机基质诱发的水体黑臭及主要致臭物(VOSCs)产生机制研究[J]. 环境科学, 2012, 33(9): 3152-3159.
- [6] Wang G F, Li X N, Fang Y, *et al.* Analysis on the formation condition of the algae-induced odorous black water agglomerate[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2014, 21(6): 597-604.
- [7] 陈镔,万东,褚可成,等. 空气微生物污染的监测及研究进展[J]. 中国环境监测, 2014, 30(4): 171-178.
- [8] 徐蕾. 徐州市环境空气微生物监测分析及与 PM₁₀ 相关性研究[J]. 北方环境, 2013, 29(1): 76-78.
- [9] 傅本重,赵洪波,洪英娣,等. 昆明部分地区秋季空气微生物污染监测与评价[J]. 环境与健康杂志, 2011, 28(12): 1111-1112.
- [10] 方治国,孙平,欧阳志云,等. 北京市居家空气微生物粒径及分布特征研究[J]. 环境科学, 2013, 34(7): 2526-2532.
- [11] 谈书勤,胡贵方,顾大勇. 空气微生物气溶胶富集、检测与空气消毒技术研究进展[J]. 中国消毒学杂志, 2012, 29(12): 1115-1120.
- [12] 黄野能,王宇平,高博,等. 长乐国际机场空气中微生物监测及其动态规律[J]. 职业与健康, 2014, 30(10): 1371-1373.
- [13] Sri Lakshmi A, Narasimha G. Production of cellulases by fungal cultures isolated from forest litter soil[J]. Annals of Forest Research, 2012, 55(1): 85-92.
- [14] 赵秀阁,黄楠,段小丽,等. 环境健康风险评估中的皮肤暴露参数[J]. 环境与健康杂志, 2012, 29(2): 124-126.
- [15] 郭鹏然,雷永乾,周巧丽,等. 电镀厂周边环境重金属分布特征及人体健康暴露风险评价[J]. 环境科学, 2015, 36(9): 3447-3456.
- [16] 环境保护部. 中国人群暴露参数手册(成人卷)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2013. 56-109.
- [17] Skóra J, Gutarowska B, Pielech-Przybylska K, *et al.* Assessment of microbiological contamination in the work environments of museums, archives and libraries[J]. Aerobiologia, 2015, 31(3): 389-401.
- [18] Balasubramanian R, Nainar P, Rajasekar A. Airborne bacteria, fungi, and endotoxin levels in residential microenvironments: a case study[J]. Aerobiologia, 2012, 28(3): 375-390.
- [19] Daneshzadeh Tabrizi R, Bernard A, Thommen A M, *et al.* Surfactant protein-D and exposure to bioaerosols in wastewater and garbage workers[J]. International Archives of Occupational and Environmental Health, 2010, 83(8): 879-886.
- [20] Martin E, Dziurawicz N, Jäckel U, *et al.* Detection of airborne bacteria in a duck production facility with two different personal air sampling devices for an exposure assessment[J]. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 2015, 12(2): 77-86.
- [21] 刘蕊,张辉,勾昕,等. 健康风险评估方法在中国重金属污

- 染中的应用及暴露评估模型的研究进展[J]. 生态环境学报, 2014, **23**(7): 1239-1244.
- [22] Nasir Z A, Colbeck I. Assessment of bacterial and fungal aerosol in different residential settings [J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2010, **211**(1-4): 367-377.
- [23] Domingo J L, Rovira J, Vilavert L, *et al.* Health risks for the population living in the vicinity of an Integrated Waste Management Facility: Screening environmental pollutants [J]. Science of the Total Environment, 2015, **518-519**: 363-370.
- [24] Douwes J, Thorne P, Pearce N, *et al.* Bioaerosol health effects and exposure assessment: Progress and prospects [J]. The Annals of Occupational Hygiene, 2003, **47**(3): 187-200.
- [25] Trafny E A, Lewandowski R, Stepinska M, *et al.* Biological threat detection in the air and on the surface; How to define the risk [J]. Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis, 2014, **62**(4): 253-261.
- [26] Wei X, Gao B, Wang P, *et al.* Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dusts from different functional areas in Beijing, China [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2015, **112**: 186-192.
- [27] 张文超, 吕森林, 刘丁戡, 等. 宣威街道尘中重金属的分布特征及其健康风险评估[J]. 环境科学, 2015, **36**(5): 1810-1817.
- [28] 段海静, 蔡晓强, 阮心玲, 等. 开封市公园地表灰尘重金属污染及健康风险[J]. 环境科学, 2015, **36**(8): 2972-2980.
- [29] 向华丽, 杨俊, 仇珍珍, 等. 隧道工人的 PM₁₀ 职业暴露特征调查分析及其健康风险评估[J]. 环境科学, 2015, **36**(8): 2768-2774.

CONTENTS

Chemical Characteristics of Particulate Matters and Trajectory Influence on Air Quality in Shanghai During the Heavy Haze Episode in December, 2013	ZHOU Min, QIAO Li-ping, ZHU Shu-hui, <i>et al.</i> (1179)
Analysis of Single Particle Aging and Mixing State at an Agriculture Site (Quzhou) in the North China Plain in Summer Using a Single Particle Aerosol Mass Spectrometer	HUANG Zi-long, ZENG Li-min, DONG Hua-bin, <i>et al.</i> (1188)
Investigation of Aerosol Mixed State and CCN Activity in Nanjing	ZHU Lin, MA Yan, ZHENG Jun, <i>et al.</i> (1199)
Characteristics of Number Concentration Size Distributions of Aerosols Under Different Weather Processes in Beijing	SU Jie, ZHAO Pu-sheng, CHEN Yi-na (1208)
Temporal and Spatial Distribution Characteristics of PM _{2.5} in Chongqing Urban Areas	LIU Yong-lin, SUN Qi-min, ZHONG Ming-yang, <i>et al.</i> (1219)
Comparison of Monitoring Methods of Organic Carbon and Element Carbon in Atmospheric Fine Particles	PANG Bo, JI Dong-sheng, LIU Zi-rui, <i>et al.</i> (1230)
Residue Characteristics of Perfluorinated Compounds in the Atmosphere of Shenzhen	HE Peng-fei, ZHANG Hong, LI Jing, <i>et al.</i> (1240)
Monitoring Atmospheric CO ₂ and $\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)$ Background Levels at Shangdianzi Station in Beijing, China	XIA Ling-jun, ZHOU Ling-xi, LIU Li-xin, <i>et al.</i> (1248)
Concentration and Size Distribution of Bioaerosols in Indoor Environment of University Dormitory During the Plum Rain Period	LIU Ting, LI Lu, ZHANG Jia-quan, <i>et al.</i> (1256)
Air Microbial Pollution and Health Risk of Urban Black Odorous Water	LIU Jian-fu, CHEN Jing-xiong, GU Shi-you (1264)
Particle Size Distribution, Seasonal Variation Characteristics and Human Exposure Assessment of Heavy Metals in Typical Settled Dust from Beijing	CAO Zhi-guo, YU Gang, LÜ Xiang-ying, <i>et al.</i> (1272)
Distribution Characteristics and Source Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Dust of Xi'an City, China	WANG Li, WANG Li-jun, SHI Xing-min, <i>et al.</i> (1279)
Toluene, Benzene and Acetone Adsorption by Activated Carbon Coated with PDMS	LIU Han-bing, JIANG Xin, WANG Xin, <i>et al.</i> (1287)
Distribution Characteristics, Sources and Pollution Assessment of Trace Elements in Surficial Sediments of the Coastal Wetlands, Northeastern Hainan Island	ZHANG Wei-kun, GAN Hua-yang, BI Xiang-yang, <i>et al.</i> (1295)
Heavy Metals Accumulation in the Caofeidian Reclamation Soils: Indicated by Soil Magnetic Susceptibility	XUE Yong, ZHOU Qian, LI Yuan, <i>et al.</i> (1306)
Characteristics of Stable Isotopes in Precipitation and Their Moisture Sources in Mengzi Region, Southern Yunnan	LI Guang, ZHANG Xin-ping, XU You-peng, <i>et al.</i> (1313)
GIS Spatial Distribution and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments of Shallow Lakes in Jiangsu Province	LI Ying-jie, ZHANG Lie-yu, WU Yi-wen, <i>et al.</i> (1321)
Microcosm Simulation Study and Methylmercury Forming Mechanism at Landscape Water of City	LIU Xiao-hong, SI You-bin, GUO Zi-wei, <i>et al.</i> (1330)
Seasonal Stratification and the Response of Water Quality of a Temperate Reservoir—Zhoucun Reservoir in North of China	ZENG Ming-zheng, HUANG Ting-lin, QIU Xiao-peng, <i>et al.</i> (1337)
Hydrochemical Characteristics of Snow Meltwater and River Water During Snow-melting Period in the Headwaters of the Ertis River, Xinjiang	WEI Hong, WU Jin-kui, SHEN Yong-ping, <i>et al.</i> (1345)
Relationship Between the Phytoplankton Distribution and Environmental Factors in Fenhe Scenic Spot of Taiyuan	FENG Jia, GUO Yu-ning, WANG Fei, <i>et al.</i> (1353)
Distribution Characteristics of Nitrifiers and Denitrifiers in the River Sediments of Tongling City	CHENG Jian-hua, DOU Zhi-yong, SUN Qing-ye (1362)
Contribution of Base Flow to Total Nitrogen Loading in Subtropical Agricultural Catchments	MA Qiu-mei, LI Wei, WANG Yi, <i>et al.</i> (1371)
Characteristics and Transport Patterns of Ammonia, Nitrites, Nitrates and Inorganic Nitrogen Flux at Epikarst Springs and a Subterranean Stream in Nanshan, Chongqing	ZHANG Yuan-zhu, HE Qiu-fang, JIANG Yong-jun, <i>et al.</i> (1379)
Pollution Characteristics and Evaluation of Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter in Sediments of Shanmei Reservoir in Fujian, China	QIU Zu-kai, HU Xiao-zhen, YAO Cheng, <i>et al.</i> (1389)
Effect of <i>Elodea nuttallii</i> -immobilized Nitrogen Cycling Bacteria on Nitrogen Removal Mechanism in an Inflow River, Gonghu Bay	HAN Hua-yang, LI Zheng-kui, WANG Hao, <i>et al.</i> (1397)
Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Different Forms of Phosphorus in Three Sorts of Rivers around Lake Taihu	GAO Yong-xia, SONG Yu-zhi, YU Jiang-hua, <i>et al.</i> (1404)
Distribution of Phosphorus Forms in the Overlying Water Under Disturbance with the Addition of Algae	CHEN Jun, LI Yong, LI Da-peng, <i>et al.</i> (1413)
Impacts of Sediment Disturbance on the Distribution of Suspended Particle Size and Phosphorus	GUO Jun-rui, LI Da-peng, LIU Yan-jian (1422)
Effect of Zirconium Modified Kaolin-Based Cap on Migration and Transformation of Phosphorus Between Sediment and Overlying Water	ZHANG Zhe, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (1427)
Toxicity of 4-Chlorophenol Solution Under Electrochemical Reduction-oxidation Process	WANG Yan, SHI Qin, WANG Hui, <i>et al.</i> (1437)
Removal and Recycle of Phosphor from Water Using Magnetic Core/Shell Structured Fe ₃ O ₄ @SiO ₂ Nanoparticles Functionalized with Hydrous Aluminum Oxide	LAI Li, XIE Qiang, FANG Wen-kan, <i>et al.</i> (1444)
Occurrence and Removal of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Their Derivatives in Typical Wastewater Treatment Plants in Beijing	QIAO Meng, QI Wei-xiao, ZHAO Xu, <i>et al.</i> (1451)
Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matters in Reject Water from Wastewater Treatment Plants	NIU Tian-hao, ZHOU Zhen, HU Da-long, <i>et al.</i> (1460)
Feasibility and Economic Analysis of Denitrification of Photovoltaic Wastewater Containing High Fluorine	LI Xiang, ZHU Liang, HUANG Yong, <i>et al.</i> (1467)
Quick Start-up and Sustaining of Shortcut Nitrification in Continuous Flow Reactor	WU Peng, ZHANG Shi-ying, SONG Yin-ling, <i>et al.</i> (1472)
Performance Recoverability of Denitrifying Granular Sludge Under the Stressing Effect of Nanoscale Zero-valent Iron	WANG Fan-fan, QIAN Fei-yue, SHEN Yao-liang, <i>et al.</i> (1478)
Effect of Low-concentration Ciprofloxacin on the Nitrification and Nitrifying Microorganisms of Biofilms in Biological Aerated Filter	HE Shi, GU Chao-chao, WEI Xin, <i>et al.</i> (1485)
Optimization Study on the Nitrogen and Phosphorus Removal of Modified Two-sludge System Under the Condition of Low Carbon Source	YANG Wei-qiang, WANG Dong-bo, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (1492)
Effects of Short-time Conservation Tillage Managements on Greenhouse Gases Emissions from Soybean-Winter Wheat Rotation System	XIE Yan, CHEN Xi, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (1499)
Diurnal and Seasonal Dynamic Variation of Soil Respiration and Its Influencing Factors of Different Fenced Enclosure Years in Desert Steppes	CUI Hai, ZHANG Ya-hong (1507)
Correlation Among Soil Organic Carbon, Soil Inorganic Carbon and the Environmental Factors in a Typical Oasis in the Southern Edge of the Tarim Basin	GONG Lu, ZHU Mei-ling, LIU Zeng-yuan, <i>et al.</i> (1516)
Effects of Low-Molecular-Weight Organic Acids on the Speciation of Pb in Purple Soil and Soil Solution	LIU Jiang, JIANG Tao, HUANG Rong, <i>et al.</i> (1523)
Phytoremediation of Petroleum Contaminated Soils with <i>Iris pseudacorus</i> L. and the Metabolic Analysis in Roots	WANG Ya-nan, CHENG Li-juan, ZHOU Qi-xing (1531)
Oxidation Process of Dissolvable Sulfide by Manganite and Its Influencing Factors	LUO Yao, LI Shan, TAN Wen-feng, <i>et al.</i> (1539)
Screening and Enzyme Production Characteristics of Thermophilic Cellulase-producing Strains	FENG Hong-mei, QIN Yong-sheng, LI Xiao-fan, <i>et al.</i> (1546)
Development of Determination Method of Fluoroquinolone Antibiotics in Sludge Based on Solid Phase Extraction and HPLC-Fluorescence Detection Analysis	DAI Xiao-hu, XUE Yong-gang, LIU Hua-jie, <i>et al.</i> (1553)
Distribution and Risk Assessment of Sulfonamides Antibiotics in Soil and Vegetables from Feedlot Livestock	JIN Cai-xia, SI Xiao-wei, WANG Zi-ying, <i>et al.</i> (1562)
Influence of Four Kinds of PPCPs on Micronucleus Rate of the Root-Tip Cells of <i>Vicia-faba</i> and Garlic	WANG Lan-jun, WANG Jin-hua, ZHU Lu-sheng, <i>et al.</i> (1568)
Environmental Behaviors and Ecotoxicology of the Emerging Contaminants Polyhalogenated Carbazoles	LIN Kun-de, CHEN Yan-qiu, YUAN Dong-xing (1576)
Classification of Priority Area for Soil Environmental Protection Around Water Sources: Method Proposed and Case Demonstration	LI Lei, WANG Tie-yu, WANG Xiao-jun, <i>et al.</i> (1584)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2016年4月15日 第37卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 4 Apr. 15, 2016

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行