

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第8期

Vol.35 No.8

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

2012年春季京津冀地区一次沙尘暴天气过程中颗粒物的污染特征分析	刘庆阳, 刘艳菊, 赵强, 张婷婷, 张美根, 王存美 (2843)
杭州灰霾天气超细颗粒浓度分布特征	陈秋方, 孙在, 谢小芳 (2851)
气象因素对广州市大气中二噁英污染特征的影响	杜国勇, 苏原, 任明忠, 张素坤, 青宪 (2857)
龙凤山本底站大气 CO ₂ 数据筛分及浓度特征研究	栾天, 周凌晔, 方双喜, 姚波, 王红阳, 刘钊 (2864)
区域传输对华东森林及高山背景点位大气污染物浓度的影响	苏彬彬, 许榕洋, 张若宇, 纪贤鑫 (2871)
天津市夏季蜂窝状溶蚀器涂层溶液浓度确定的实验研究	张诗建, 姬亚芹, 张雷波, 赵雪艳, 朱振宇, 杨文 (2878)
铅锌冶炼厂不同工艺铅元素粒径分布特征	梁俊宁, 李文慧, 葛毅, 陈洁, 宋丽娜, 刘杰 (2883)
KI 改性黏土脱除烟气中单质汞的研究	沈伯雄, 陈建宏, 蔡记, 何川, 李卓 (2890)
污泥直接干化产生的恶臭及挥发性有机物特征研究	陈文和, 邓明佳, 罗辉, 张婧赢, 丁文杰, 刘俊新, 李琳 (2897)
基于风险管理的区域(流域)地下水污染预警方法研究	白利平, 王业耀, 郭永丽, 周友亚, 刘俐, 颜增光, 李发生 (2903)
1980~2010年浙江某典型河流硝态氮通量对净人类活动氮输入的动态响应	张柏发, 陈丁江 (2911)
南京仙林新市区土地利用结构与格局对湿地水环境氮、磷影响研究	蔡春晓, 刘红玉, 李玉凤, 王聪, 侯明行 (2920)
三江平原典型沼泽湿地养分累积与沉积特征	李瑞利, 柴民伟, 邱国玉, 石福臣, Sasa Kaichiro (2928)
岩溶地下河流域表层土壤多环芳烃污染特征及来源分析	蓝家程, 孙玉川, 师阳, 徐昕, 袁道先, 胡宁 (2937)
亚热带典型岩溶区地表溪流水文地球化学昼夜变化及其影响因素研究	张陶, 蒲俊兵, 袁道先, 章程, 何师意, 于爽, 刘文, 莫雪, 周建超, 杨会, 唐伟 (2944)
藏南干旱区湖泊及地热水体氢氧同位素研究	肖可, 沈立成, 王鹏 (2952)
广西五里峡水库夏季溶解无机碳行为的初步研究	刘文, 蒲俊兵, 于爽, 章程, 区绎如, 袁道先, 杨会, 唐伟 (2959)
铜陵相思河流域重金属分布特征研究	陈莉薇, 徐晓春, 王军, 陈芳 (2967)
不同压力作用下太湖蓝藻气囊体积分数及上浮特性研究	王巍, 丛海兵, 徐亚军, 陈雯婧, 徐思涛, 吴军, 蒋新跃 (2974)
酸性条件下Ti(IV)催化 O ₃ /H ₂ O ₂ 降解邻苯二甲酸二甲酯	高燕, 沈佟栋, 陈尧, 周慧华, 童少平 (2980)
无机离子与胡敏酸对零价铁去除水中Pb(II)、Hg(II)的影响	施秋伶, 周欣, 张进忠, 邱昕凯 (2985)
羟基磷灰石-四氧化三铁-沸石复合材料制备及去除水中刚果红研究	方巧, 林建伟, 詹艳艳, 杨孟娟, 郑雯婧 (2992)
不锈钢 201、304 和 316L 在模拟污水管道反应器中的腐蚀	鲍国栋, 左剑恶, 王雅娟, 千里里 (3002)
微滤过程中腐殖酸与膜表面黏附特性的试验研究	王磊, 王磊, 黄丹曦, 王旭东 (3007)
不同类型 LDHs 对垂直流人工湿地无烟煤基质的覆膜改性及其脱氮效果研究	张翔凌, 郭露, 陈俊杰, 刘小婷, 徐璐, 陈巧珍, 王晓晓 (3012)
SPG 膜曝气-基因工程菌生物膜反应器处理阿特拉津废水研究	刘春, 龚鹏飞, 肖太民, 张明, 年永嘉, 杨景亮, 张晶 (3018)
SPG 膜微气泡曝气生物膜反应器运行性能影响因素研究	张磊, 张明, 刘春, 张静, 刘俊良 (3024)
曝气膜生物反应器运行过程中污泥活性特征变化及其对膜污染的影响	陈烜, 汤兵, 张姿, 宾丽英, 黄绍松, 付丰连, 邱兵 (3031)
限量曝气进水时间对硝化颗粒污泥的影响特性研究	刘文如, 阴芳芳, 王建芳, 沈耀良 (3038)
UASBB 厌氧氨氧化反应器处理污泥脱水液的影响因素研究	李亚峰, 马晨曦, 张驰 (3044)
开封周边地区地表灰尘中汞背景值及其应用	陈彦芳, 马建华, 董运武, 刘德新, 陈星 (3052)
北京市幼儿园地面尘中有毒金属浓度及其健康风险	段恒轶, 吴亚涛, 王珏, 刘兆荣 (3060)
珠三角电子垃圾和城市地区家庭灰尘中多氯联苯的来源及暴露风险	朱智成, 陈社军, 丁南, 王璟, 罗孝俊, 麦碧娴 (3066)
温带典型草原土壤总有机碳及溶解性有机碳对模拟氮沉降的响应	齐玉春, 彭琴, 董云社, 肖胜生, 孙良杰, 刘欣超, 何亚婷, 贾军强, 曹丛丛 (3073)
不同肥料种类对稻田红壤碳氮淋失的影响	刘希玉, 邹敬东, 徐丽丽, 张心昱, 杨风亭, 戴晓琴, 王忠强, 孙晓敏 (3083)
低分子有机酸对土壤中 Cu 化学形态的影响	黄国勇, 付庆灵, 朱俊, 万田英, 胡红青 (3091)
EDTA 与柠檬酸复配洗涤修复多重金属污染土壤效果研究	尹雪, 陈家军, 蔡文敏 (3096)
不同生态系统土壤生化特征及其与土壤呼吸和 N ₂ O 排放的关系	陈玲, 范会, 蒋静艳 (3102)
黄河口不同恢复阶段湿地土壤 N ₂ O 产生的不同过程及贡献	孙文广, 孙志高, 甘卓亭, 孙万龙, 王伟 (3110)
猪粪化肥配施对双季稻田 CH ₄ 和 N ₂ O 排放及其全球增温潜势的影响	王聪, 沈健林, 郑亮, 刘杰云, 秦红灵, 李勇, 吴金水 (3120)
我国北方两地区环境臭氧浓度对矮菜豆生长的影响	袁相洋, 张巍巍, 孙敬松, 胡恩柱, 张玉龙, 张红星, 田媛, 冯兆忠 (3128)
丛枝菌根影响纳米 ZnO 对玉米的生物效应	王卫中, 王发园, 李帅, 刘雪琴 (3135)
丛枝菌根对翅荚木生长及吸收累积重金属的影响	李霞, 彭霞薇, 伍松林, 李志茹, 冯红梅, 江泽平 (3142)
含磷物质对水稻吸收土壤砷的影响	雷鸣, 曾敏, 廖柏寒, 胡立琼, 周航, 龙水波 (3149)
重金属铬(VI)的生态毒性及其土壤环境基准	王晓南, 刘征涛, 王婉华, 张聪, 陈丽红 (3155)
维生素 B ₁₂ 对脱氮功能蓝藻降解 2,4,4'-三氯联苯的促进作用研究	刘嘉裕, 肖文丰, 鲁莉萍, 张杭君 (3162)
己烯雌酚降解菌株沙雷氏菌的分离鉴定及其降解特性	徐冉芳, 孙敏霞, 刘娟, 汪泓, 李欣, 朱雪竹, 凌婉婷 (3169)
多溴联苯醚在市場鲫鱼体内分布和食鱼暴露量	王俊霞, 王春艳, 刘莉莉, 周啸宇, 刘洋成, 林匡飞 (3175)
稀有鮐鲫 HMGR 基因全长克隆及雄鱼经五氯酚暴露基因表达的分析	邓川, 毛思予, 熊力, 张晓峰, 李伟, 高香, 刘秋萍, 陈韵, 刘堰 (3183)
藻细胞和高岭土的存在对病毒 MS2 存活的影响	何强, 吴庆庆, 马红芳, 周真明, 苑宝玲 (3192)
多胺功能化介孔炭对 Pb(II) 的吸附动力学与机制	李坤权, 王艳锦, 杨美蓉, 朱志强, 郑正 (3198)
生物活性炭投加量对垃圾渗滤液处理效果的影响	崔延瑞, 郭焱, 吴青, 马罗丹, 孙剑辉, 崔凤灵 (3206)
经济结构调整的污染减排效应: 以 COD 减排为例	李名升, 周磊, 陈远航, 李茜, 张建辉 (3212)
中国铅流改变原因分析	马兰, 毛建素 (3219)
放牧阉牦牛提前出栏甲烷排放强度减排潜力探讨	汪诗平, Andreas Wilkes, 汪亚运, 白玲 (3225)
中国水体硝酸盐氮氧双稳定同位素溯源研究进展	徐志伟, 张心昱, 于贵瑞, 孙晓敏, 温学发 (3230)
《环境科学》征稿简则 (2936) 《环境科学》征订启事 (3051) 信息 (2882, 2927, 3059, 3218)	

藻细胞和高岭土的存在对病毒 MS2 存活的影响

何强¹, 吴庆庆^{1,2}, 马红芳¹, 周真明¹, 苑宝玲^{1*}

(1. 华侨大学土木工程学院市政与环境工程研究所, 厦门 361021; 2. 福州大学土木工程学院, 福州 350108)

摘要: 选用病毒 MS2 作为水中肠道病毒的指示病毒, 高岭土和铜绿微囊藻分别作为无机颗粒物和有机颗粒物, 研究颗粒物浓度、pH 值、不同价态离子浓度、天然有机物 (NOM) 等水质条件下, 无机 (高岭土)、有机 (铜绿微囊藻) 颗粒物存在对病毒 MS2 存活的影响。结果表明, 无机颗粒物高岭土对病毒 MS2 的存活无明显影响, 但当水体钙硬度 (钙离子产生的硬度) 较大时, 病毒 MS2 的表观存活量增加 1 个对数; 铜绿微囊藻的存在会导致病毒 MS2 的存活量降低 1 个对数左右, 但当溶液的 pH 值大于 4.0 或铜绿微囊藻的浓度小于 $1.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 藻类对病毒的生存无明显影响; 当水体钙硬度较大时, 藻反而会会增加病毒 MS2 的存活对数。因此在高浊水、高藻水中, 水的钙硬度增加会使水体中病毒生存能力变强, 进而增加饮用水的安全风险。

关键词: 藻; 高岭土; 病毒; 钙硬度; 存活

中图分类号: X131 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)08-3192-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.08.050

Effects of Algae and Kaolinite Particles on the Survival of Bacteriophage MS2

HE Qiang¹, WU Qing-qing^{1,2}, MA Hong-fang¹, ZHOU Zhen-ming¹, YUAN Bao-ling¹

(1. Institute of Municipal and Environmental Engineering, College of Civil Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China; 2. College of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: In this study, Bacteriophage MS2, Kaolinite and *Microcystis aeruginosa* were selected as model materials for human enteric viruses, inorganic and organic particles, respectively. The influence of the inorganic (Kaolinite) or organic (*Microcystis aeruginosa*) particles on the survival of MS2 at different conditions, such as particles concentration, pH, ion concentration and natural organic matter (NOM) were studied. The results showed that Kaolinite had no effect on the survival of phage MS2 except that apparent survival of MS2 increased 1 logarithm in higher hardness water. *Microcystis aeruginosa* addition reduced 1 logarithm of MS2 survival. However, when the pH value was greater than 4.0 or the concentration of *Microcystis aeruginosa* was less than $1.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$, *Microcystis aeruginosa* addition had no influence on the survival of MS2. In higher hardness water, *Microcystis aeruginosa* protected MS2 viruses and then increased the survival of MS2. In drinking water, resource containing higher concentration of particles, the survival ability of virus would be enhanced with the increase of the hardness and then elevated the risks of drinking water safety.

Key words: algae; kaolinite; bacteriophage; Ca^{2+} hardness; survival

由水环境污染或水系传播而引起的病毒感染仍是当今世界上危害范围最广的环境问题之一。联合国环境和发展机构指出, 全世界有超过 8.8 亿人缺少安全的饮用水。如轮状病毒每年导致全世界 1.4 亿例腹泻, 在发展中国家每年导致 87 万例死亡^[1]。人类排泄物的排放, 再生水的使用以及污水管道和污水处理厂的污水泄漏都会使大量的病毒进入水体环境^[2~5]。病毒进入水环境后将自行发生稀释、凝结和沉淀, 而吸附凝结和沉淀在悬浮颗粒上的病毒可能受到了保护, 从而增加其存活时间^[6~8], 影响后续消毒单元的灭活效果, 增加了饮用水的安全风险。因此研究悬浮颗粒物的种类对病毒在水体中迁移和归趋的影响, 具有重要的工程意义。

水中常见颗粒物分为无机颗粒物和有机颗粒物。高浊水中大量的无机颗粒物对病毒的生存会带来影响^[9~11]。如 Lipson 等^[11]研究了高岭土和蒙脱

石对呼肠孤病毒的吸附和解吸, 研究表明病毒的吸附有助于保留感染性。在加入高岭土和蒙脱土的病毒溶液中分别在 18 周和 22 周时还有检出, 但是没有加蒙脱土和高岭土的病毒溶液在 7.5 周后就已经全部失活。高藻水中大量存在的藻类, 作为有机颗粒物也将影响到病毒的生存^[12]。郑耀通^[13]研究表明小球藻与光合细菌的联合培养代谢模式能够极大地减少烟草花叶病毒 (TMV) 在水体中的存活时间, 但是在没有异养细菌的小球藻纯培养生存环境中, 小球藻就会对 TMV 起到保护作用, 增加它在水体中的存活时间。

但是无机和有机颗粒物的存在对病毒生存的影响

收稿日期: 2014-01-10; 修订日期: 2014-03-22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51178117); 厦门市杰出青年科技人才创新计划项目 (3502Z20126009)

作者简介: 何强 (1991~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为水处理技术, E-mail: qianghe1991@163.com

* 通讯联系人, E-mail: blyuan@hqu.edu.cn

响,是否还与水体 pH、离子浓度、有机物浓度等水质条件存在密切的关系,还鲜见国内外相关报道.本文以高岭土模拟高浊水中的无机颗粒物,铜绿微囊藻模拟高藻水中的有机颗粒物,病毒 MS2 作为指示病毒,研究不同水质条件(不同颗粒物种类、颗粒物浓度、pH 值、不同价态离子浓度和天然有机物浓度)下颗粒物存在对病毒 MS2 生存的影响.

1 材料与方法

1.1 材料

病毒 MS2(ATCC 15597-B1)和噬菌体宿主大肠埃希杆菌(ATCC 15597)均购自美国菌种保藏中心.铜绿微囊藻(FACHB-905)购自中国科学院武汉水生所.高岭土,腐殖酸(NOM)均购自美国 Sigma-Aldrich 公司.铜绿微囊藻培养基采用 BG11 培养基.药剂均为分析纯,购自国药集团化学试剂有限公司.病毒 MS2 培养基的配方按照美国菌种保藏中心提供的配方,由青岛海博定制.

1.2 方法

1.2.1 病毒 MS2 扩大培养、提纯和计数

病毒的扩大培养和提纯方法采用 Yuan 等^[14]使用的方法.噬菌体计数采用双层平板法^[15].

1.2.2 铜绿微囊藻藻液制备

将 5 mL 铜绿微囊藻母液接入 BG11 培养基,置于 25℃ 光照培养箱中培养,5~10 d 后即可进入对数期.然后取 30 mL 离心分离 10 min,超纯水洗涤 3 次后备用.

1.2.3 病毒 MS2 水力学直径测量

病毒 MS2 的水力学直径测量使用 Zeta 电位分析仪(Zetasizer Nano ZS 90, Malvern),病毒 MS2 的浓度分别为 1.0×10^{11} pfu·mL⁻¹,pH 值为 3~8,离子浓度分别为 0、10、50、100、150、200 mmol·L⁻¹,测试温度为 25℃,稳定时间为 2 min,重复测量 3 次.

1.2.4 颗粒物的浓度对病毒 MS2 生存的影响

向 100 mL 超纯水中加入不同质量浓度的高岭土(0、10、20、50、100 mg·L⁻¹)或铜绿微囊藻(0、 1.0×10^5 、 1.0×10^6 、 1.0×10^7 、 1.0×10^8 、 1.0×10^9 cells·L⁻¹),再加入 100 μL 浓度为 1.0×10^{11} pfu·mL⁻¹ 的病毒 MS2 溶液,置于 25℃ 转速为 200 r·min⁻¹ 的振荡培养箱中振荡 24 h 后取样,双层平板法测定噬菌体含量.每个浓度做 3 组平行实验.

1.2.5 不同 pH 值条件下颗粒物对病毒 MS2 生存的影响

配制 100 mg·L⁻¹ 的高岭土或 1.0×10^8

cells·L⁻¹ 的铜绿微囊藻溶液调节不同 pH 值(3、4、5、6、7、8).以不含颗粒物作空白,再加入 1.0×10^{11} pfu·mL⁻¹ 的病毒 MS2 溶液 100 μL,置于 25℃ 转速为 200 r·min⁻¹ 的振荡培养箱中振荡 24 h 后取样,在每个 pH 值条件下做 3 组平行实验,双层平板法测定病毒含量.

1.2.6 不同价态离子溶液中颗粒物对病毒 MS2 生存的影响

向 100 mg·L⁻¹ 的高岭土或 1.0×10^8 cells·L⁻¹ 的铜绿微囊藻溶液中加入不同浓度的 NaCl 或 CaCl₂ (0、50、100、150、200 mmol·L⁻¹).以不含颗粒物作空白,再加入 1.0×10^{11} pfu·mL⁻¹ 的病毒 MS2 溶液 100 μL,置于 25℃ 转速为 200 r·min⁻¹ 的振荡培养箱中振荡 24 h 后取样,每个离子浓度做 3 组平行实验,双层平板法测定病毒含量.

1.2.7 不同有机物浓度下颗粒物对病毒 MS2 生存的影响

向 100 mg·L⁻¹ 的高岭土或 1.0×10^8 cells·L⁻¹ 的铜绿微囊藻溶液中加入不同浓度的腐殖酸(0、50、100、150、200 mmol·L⁻¹).以不含颗粒物作空白,再加入 1.0×10^{11} pfu·mL⁻¹ 的病毒 MS2 溶液 100 μL,置于 25℃ 转速为 200 r·min⁻¹ 的振荡培养箱中振荡 24 h 后取样,每个有机物浓度做 3 组平行实验,双层平板法测定病毒含量.

2 结果与讨论

2.1 颗粒物的浓度对病毒 MS2 生存的影响

图 1 为不同颗粒物浓度对病毒 MS2 的存活的影响.从图 1(a)中可知,随着水中高岭土的浓度的增加,水中病毒 MS2 的存活量无明显变化,24 h 后存活量都保持在 7.5 个对数左右.这说明高岭土的存在不影响病毒 MS2 的存活.从图 1(b)中可知,随着藻浓度的增加,病毒 MS2 的存活量逐渐降低,当藻浓度增加到 1.0×10^8 cells·L⁻¹ 时,病毒 MS2 的存活量下降了 1.5 个对数左右,继续增加藻浓度,病毒 MS2 的存活量不再下降,趋于稳定.这说明高浓度藻细胞的存在不利于病毒 MS2 的生存.这可能是由于铜绿微囊藻在生长过程中产生了单态氧、超氧化物、羟基自由基、过氧化氢等活性氧^[16~19],活性氧可以使病毒的蛋白质衣壳的关键部位发生变性或者变形从而导致衣壳失去对遗传物质 RNA 的保护,RNA 可能在病毒内部或者外部解离,病毒也会因此而失去活性^[19].

为了验证这一推断,进一步研究了颗粒物存在

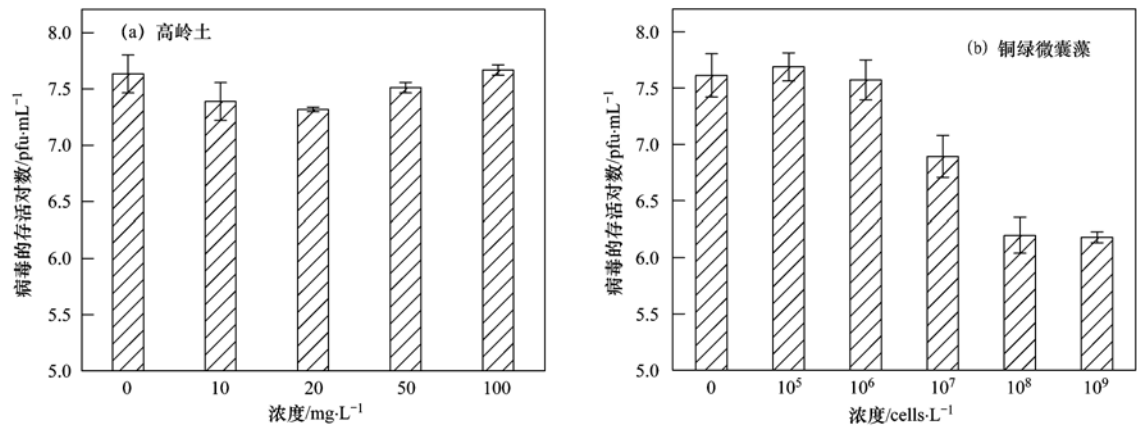


图1 不同颗粒物浓度下病毒 MS2 的存活

Fig. 1 Survival of MS2 at different concentrations of particles

时光照对病毒存活的影响,如图 2 所示. 从中可知,在纯水和高岭土溶液中,有无光照对病毒的存活影响很小. 而当铜绿微囊藻存在时,光照会加速病毒 MS2 的失活,24 h 后可以衰减至 5.5 个对数. 同样,即使是在无光照的情况下,铜绿微囊藻的存在也会加速病毒 MS2 的失活,24 h 后病毒 MS2 的存活量衰减到 7.0 个对数. 这就间接证明了藻类生长过程中产生了不利于病毒生存的活性物质. Kohn 等^[21]在研究太阳光对病毒 MS2 生存的影响时也得到了类似的结果.

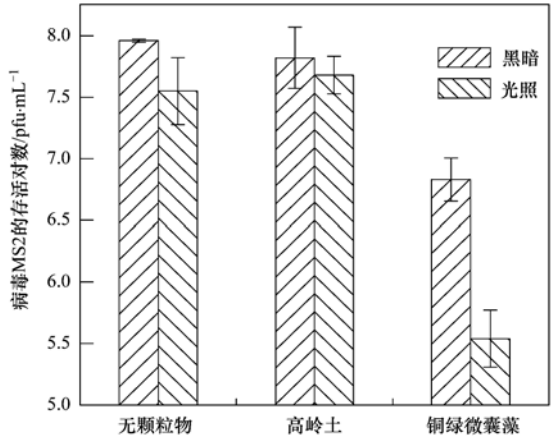


图2 光照对病毒 MS2 生存影响

Fig. 2 Light effect on virus MS2 survive

2.2 不同 pH 值条件下颗粒物对病毒 MS2 生存的影响

图 3 为不同 pH 值条件下两种颗粒物存在对病毒 MS2 存活的影响. 从中可知,在纯水溶液中,随着溶液 pH 的增大,溶液中病毒 MS2 的表观存活量从 5.0 个对数左右一直增加到 7.5 个对数. 这是因为在溶液中含有大量的 H⁺,可以使病毒 MS2 的蛋白

质衣壳直接变性,导致病毒 MS2 失活. 但是在 pH = 3.0 时,两种颗粒物存在时病毒的存活量比纯水中高. 这主要是当 pH 接近病毒 MS2 的等电位点 (3.7) 时,病毒 MS2 会发生团聚,图 4 为不同 pH 条件下病毒 MS2 的水力学直径分布,从中可知,病毒 MS2 团聚现象随着 pH 值的增大而减弱,且在 pH = 3.0 时团聚最明显.

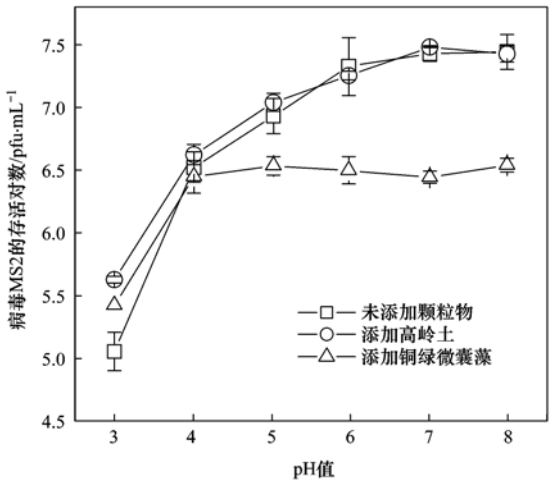


图3 不同 pH 值下病毒 MS2 的生存量

Fig. 3 The pH effect on the survival of MS2

无机颗粒物-高岭土存在的溶液中,病毒 MS2 的存活量随着 pH 值的增大而增大并最终趋于稳定. 只有当 pH = 3.0 时,病毒 MS2 的存活量略高于不含颗粒物的溶液,其它 pH 值条件下,高岭土的存在对病毒 MS2 的存活量无明显影响. 这主要是因为,在低 pH 条件下,病毒 MS2 大量团聚^[22],而加入高岭土之后,由于颗粒物高岭土对病毒 MS2 的吸附^[23],起到分散病毒的作用,从而减少了团聚,最终导致病毒的表观存活量增加.

有机颗粒物-藻存在的溶液中,病毒 MS2 的含量随着 pH 值的增加而不断增加并最终趋于稳定.当 pH 值从 3.0 增加到 4.0 时,病毒 MS2 的存活量从 5.5 个对数增加到 6.5 个对数左右,比纯水中病毒 MS2 的存活量略高.继续增加 pH 到 8.0,溶液中病毒的存活量仍保持在 6.5 个对数左右,但是低于相同 pH 条件下,纯水和添加高岭土的溶液中病毒 MS2 存活量.这主要是因为藻类的生命活动产生过氧化氢等活性氧,不利于病毒的生存.

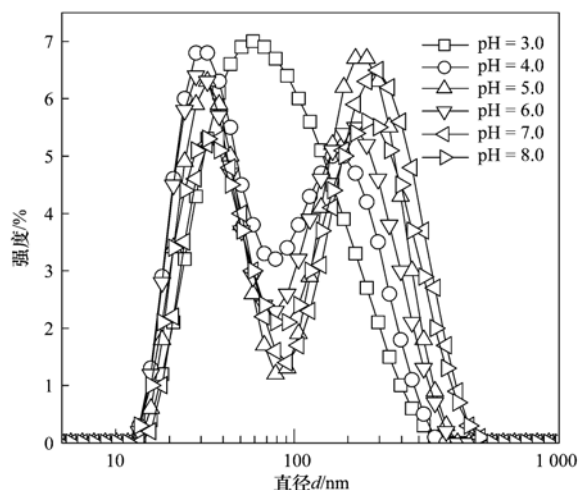


图 4 病毒 MS2 的水力学直径分布

Fig. 4 Hydrodynamic diameter of MS2 in water

2.3 不同价态离子溶液中颗粒物对病毒 MS2 生存的影响

图 5(a)是一价 Na^+ 浓度对病毒 MS2 存活的影响.从中可知,一价 Na^+ 浓度对纯水和高岭土溶液中病毒 MS2 的存活没有影响,一直保持在 7.5 个对数左右.有机颗粒物-藻存在的溶液中,随着一价 Na^+ 的加入,削弱了藻对病毒 MS2 存活的不利影响,使得病毒 MS2 的存活量从 6.3 个对数左右增加到 7.3 个对数,但是不随一价 Na^+ 浓度的增加而变化.

图 5(b)是二价 Ca^{2+} 浓度对病毒 MS2 存活的影响.从中可知,随着二价 Ca^{2+} 浓度增大,超纯水溶液中 MS2 表观存活量从 7.5 个对数迅速减少到 6.0 个对数左右,并趋于稳定.高岭土溶液中病毒 MS2 的存活量有略微的下降,从 7.5 个对数减少到 7.3 个对数左右.铜绿微囊藻溶液中,随着溶液中二价 Ca^{2+} 浓度的增大,病毒 MS2 的存活量增加了 1 个对数,可见在铜绿微囊藻溶液中增加二价 Ca^{2+} 浓度有利于病毒 MS2 的生存.

这是因为盐离子浓度带来的渗透压可以破坏病毒衣壳的完整性,当病毒所处的环境中离子浓度改

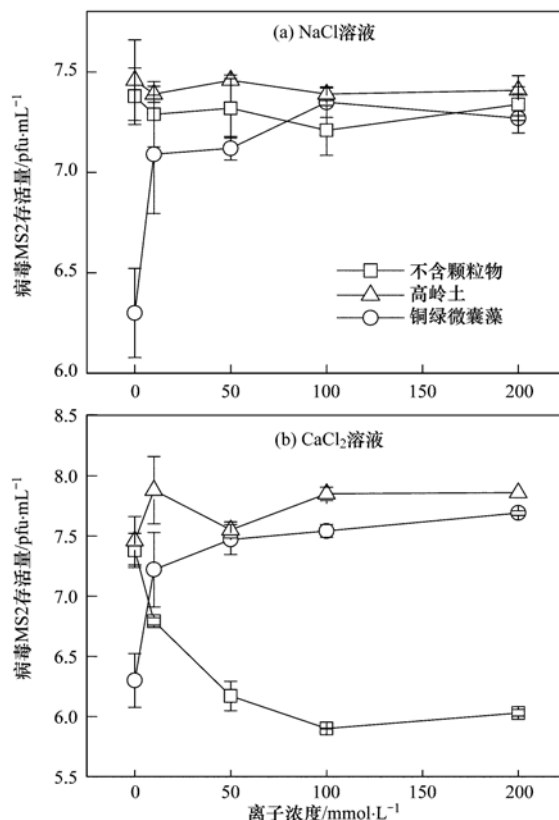


图 5 不同离子浓度下病毒 MS2 的生存量

Fig. 5 Log survival amount of MS2 at different ionic strengths

变时,会导致蛋白质变性进而使其失活.由于实验的盐浓度与培养基中离子浓度接近(0.8%).所以在纯水溶液中,一价 Na^+ 浓度增大对于病毒 MS2 的存活量无明显影响.但当溶液中有二价 Ca^{2+} 时,病毒 MS2 表面上的谷氨酸和天冬氨酸的羧基可以和 Ca^{2+} 形成内层配位而络合^[24,25],因此钙离子的存在可以促进病毒 MS2 自身的聚集,这一点也可以从其水力学半径上得到证实(图 6).由图 6 知,对于添加 NaCl 而言,病毒 MS2 的水力学直径分布不会随着溶液中钠离子浓度的增大而发生明显变化;而对于添加 CaCl_2 而言,随着钙离子浓度的增大,病毒 MS2 的水力学直径分布逐渐向右移动,分布在 100~1000 nm 间的比例逐渐增大,这说明病毒 MS2 发生团聚的数目不断增加.由于病毒自身的团聚就会使病毒的表现存活量降低.

同时 Kohn 等^[21]认为离子强度还可能影响增敏剂产生活性氧的效率和病毒对于光灭活作用的敏感性.所以增加离子强度可以减小铜绿微囊藻对病毒 MS2 的不利影响,同时增加离子强度,病毒 MS2 也可能与颗粒物发生吸附^[26,27].当病毒 MS2 吸附颗粒物上之后,颗粒物将会对病毒的生存起到一定的保护作用,从而导致藻类颗粒物的存在有利于病毒

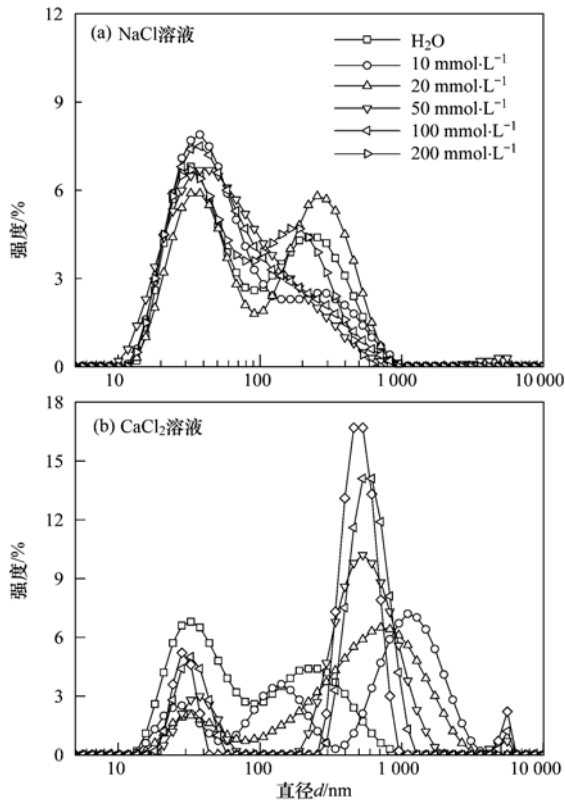


图 6 病毒 MS2 在不同离子浓度的水中水力学直径分布

Fig. 6 Hydrodynamic diameter of MS2 at different ionic strengths

MS2 的存活。

2.4 不同腐殖酸浓度下颗粒物对病毒 MS2 生存的影响

图 7 是不同腐殖酸浓度下颗粒物对病毒 MS2 生存的影响。从中可知,在超纯水和含有高岭土的溶液中,病毒 MS2 的存活量并不随有机物浓度的变化而变化,均保持在 7.6 个对数左右。而在铜绿微囊藻或者铜绿微囊藻和高岭土同时存在的条件下,低浓度的 NOM 就会使溶液中病毒 MS2 的存活量都

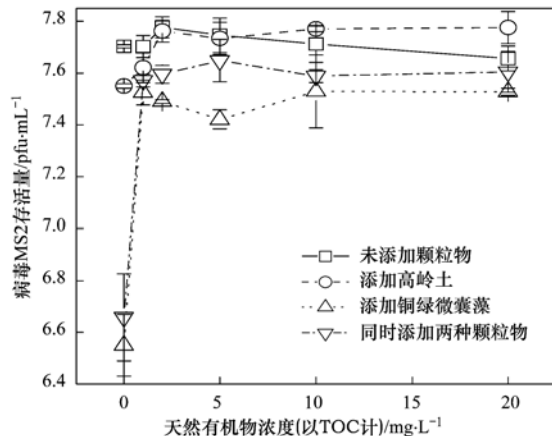


图 7 不同 NOM 下病毒 MS2 的生存量

Fig. 7 Log survival of MS2 at different concentrations of NOM

比超纯水中的低 1 个对数。而随着溶液中 NOM 浓度的增大,两者溶液中病毒 MS2 的含量有增加但还是略低于超纯水中的病毒 MS2 的含量,这说明在高浓度的 NOM 溶液中,铜绿微囊藻或铜绿微囊藻和高岭土同时存在的两种溶液对病毒 MS2 生存影响较小。这可能是因为加入 NOM 之后,可以消耗铜绿微囊藻产生的活性氧,更有利于病毒 MS2 的存活。

3 结论

(1) 无机颗粒物高岭土浓度、溶液 pH 值、一价 Na^+ 浓度、溶解性有机物浓度等单一水质条件的改变,都不会对病毒 MS2 的生存产生影响。

(2) 在 24 h 内,当 pH 在 5.0 ~ 8.0 时,相对超纯水而言, $1.0 \times 10^8 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ 铜绿微囊藻的存在,不利于病毒 MS2 的生存,会使其表观存活量降低 1 个对数左右。

(3) 高浊水中, pH 值、一价 Na^+ 、溶解性有机物等水质条件的改变对病毒 MS2 的生存无影响;但当二价 Ca^{2+} 存在时,高岭土的存在会使病毒 MS2 的表观存活量增加 1.5 个对数。

(4) 高藻水中,一价 Na^+ 和溶解性有机物的存在,会削弱藻对病毒存活的不利影响;但当二价 Ca^{2+} 存在时,藻会增加病毒 MS2 的存活对数。

参考文献:

- [1] Albert M J, Faruque A S, Faruque S M, *et al.* Case-control study of enteropathogens associated with childhood diarrhea in Dhaka, Bangladesh[J]. *Journal of Clinical Microbiology*, 1999, **37**(11): 3458-3464
- [2] Anders R, Chrysikopoulos C. Virus fate and transport during artificial recharge with recycled water[J]. *Water Resources Research*, 2005, **41** (10): W10415, doi: 10. 1029/2004WR003419.
- [3] Hunt R J, Borchardt M A, Richards K D, *et al.* Assessment of sewer source contamination of drinking water wells using tracers and human enteric viruses[J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, **44**(20): 7956-7963.
- [4] Chrysikopoulos C V, Sim Y. One-dimensional virus transport in homogeneous porous media with time-dependent distribution coefficient[J]. *Journal of Hydrology*, 1996, **185**(1): 199-219.
- [5] Yates M V, Gerba C P, Kelley L M. Virus persistence in groundwater[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1985, **49**(4): 778-781.
- [6] Templeton M R, Andrews R C, Hofmann R. Particle-associated viruses in water: Impacts on disinfection processes[J]. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2008, **38** (3): 137-164.
- [7] Chrysikopoulos C V, Aravantinou A F. Virus inactivation in the presence of quartz sand under static and dynamic batch conditions

- at different temperatures [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2012, **233**: 148-157.
- [8] Kahler A M, Cromeans T L, Humphrey C D, *et al.* Chlorine disinfection of aggregated adenovirus 2 in source water [J]. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2011, **2011** (3): 180-188.
- [9] 陈昭斌. 噬菌体作用指示病毒用于消毒效果评价的研究 [D]. 成都: 四川大学, 2006.
- [10] Rao V C, Seidel K M, Goyal S M, *et al.* Isolation of enteroviruses from water, suspended solids, and sediments from Galveston Bay: survival of poliovirus and rotavirus adsorbed to sediments [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1984, **48**(2): 404-409.
- [11] Lipson S M, Stotzky G. Infectivity of reovirus adsorbed to homoionic and mixed-cation clays [J]. *Water Research*, 1985, **19**(2): 227-234.
- [12] 张一卉, 赵以军, 程凯. 富营养化水体中微囊藻、菌、病毒数量关系初步研究 [J]. *环境科学与技术*, 2010, **33**(4): 20-23.
- [13] 郑耀通. 闽江流域福州区段水体环境病毒污染、存活规律与灭活处理 [D]. 福建: 福建农林大学, 2002.
- [14] Yuan B L, Pham M, Nguyen T H. Deposition kinetics of bacteriophage MS2 on a silica surface coated with natural organic matter in a radial stagnation point flow cell [J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, **42**(20): 7628-7633.
- [15] 王秋英, 赵炳梓, 张佳宝, 等. 噬菌体 MS2 和 ϕ X174 的双层琼脂平板和液体培养基扩增方法的建立 [J]. *土壤*, 2007, **39**(2): 297-300.
- [16] Patterson C P, Myers J. Photosynthetic production of hydrogen peroxide by *Anacystis nidulans* [J]. *Plant Physiology*, 1973, **51** (1): 104-109.
- [17] Goveal R A, Gerba C P. Persistence of MS-2 and PRD-1 bacteriophages in an ultrapure water system [J]. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 1997, **18**(5): 297-301.
- [18] Jensen S I, Steunou A S, Bhaya D, *et al.* In situ dynamics of O_2 , pH and cyanobacterial transcripts associated with CCM, photosynthesis and detoxification of ROS [J]. *International Society for Microbial Ecology*, 2011, **5**(2): 317-328.
- [19] Rosado-Lausell S L, Wang H T, Gutiérrez L, *et al.* Roles of singlet oxygen and triplet excited state of dissolved organic matter formed by different organic matters in bacteriophage MS2 inactivation [J]. *Water Research*, 2013, **47**(14): 4869-4879.
- [20] Knight A, Li D, Uyttendaele M, *et al.* A critical review of methods for detecting human noroviruses and predicting their infectivity [J]. *Critical Reviews in Microbiology*, 2013, **39**(3): 295-309.
- [21] Kohn T, Nelson K L. Sunlight-mediated inactivation of MS2 coliphage via exogenous singlet oxygen produced by sensitizers in natural waters [J]. *Environmental Science & Technology*, 2007, **41**(1): 192-197.
- [22] Feng Y Y, Ong S L, Hu J Y, *et al.* Effects of pH and temperature on the survival of coliphages MS2 and Q β [J]. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 2003, **30** (9): 549-552.
- [23] 郑祥, 雷洋, 陈迪, 等. 纳米 TiO_2 对模型病毒- ϕ 2 噬菌体的吸附特性 [J]. *中国科学 B 辑: 化学*, 2013, **43**(5): 610-617.
- [24] Aoki S T, Settembre E C, Trask S D, *et al.* Structure of rotavirus outer-layer protein VP7 bound with a neutralizing Fab [J]. *Science*, 2009, **324**(5933): 1444-1447.
- [25] Iskrenova-Tchoukova E, Kalinichev A G, Kirkpatrick R J. Metal cation complexation with natural organic matter in aqueous solutions; molecular dynamics simulations and potentials of mean force [J]. *Langmuir*, 2010, **26**(20): 15909-15919.
- [26] 周玉芬, 郑祥, 雷洋, 等. 活性污泥对病毒的生物吸附特性 [J]. *环境科学*, 2012, **33**(5): 1621-1624.
- [27] 沈林林, 赵炳梓, 张佳宝, 等. 背景溶液对纳米氧化铁吸附病毒的影响 [J]. *环境科学*, 2010, **31**(4): 983-988.

CONTENTS

Chemical Characteristics in Airborne Particulate Matter (PM ₁₀) During a High Pollution Spring Dust Storm Episode in Beijing, Tianjin and Zhangjiakou, China	LIU Qing-yang, LIU Yan-ju, ZHAO Qiang, <i>et al.</i> (2843)
Distribution of Atmospheric Ultrafine Particles During Haze Weather in Hangzhou	CHEN Qiu-fang, SUN Zai, XIE Xiao-fang (2851)
Effect of Meteorological Factors on Characteristics of PCDD/F Pollution in Guangzhou	DU Guo-yong, SU Yuan, REN Ming-zhong, <i>et al.</i> (2857)
Atmospheric CO ₂ Data Filtering Method and Characteristics of the Molar Fractions at the Longfengshan WMO/GAW Regional Station in China	LUAN Tian, ZHOU Ling-xi, FANG Shuang-xi, <i>et al.</i> (2864)
Influence of Atmospheric Transport on Air Pollutant Levels at a Mountain Background Site of East China	SU Bin-bin, XU Ju-yang, ZHANG Ruo-yu, <i>et al.</i> (2871)
Determining the Concentration of Coating Solution Attaching to Honeycomb Denuder in Summer in Tianjin	ZHANG Shi-jian, JI Ya-qin, ZHANG Lei-bo, <i>et al.</i> (2878)
Characterization of Lead Size Distributions with Different Process in Lead-Zinc Smelter	LIANG Jun-ning, LI Wen-hui, GE Yi, <i>et al.</i> (2883)
Effect of KI Modified Clay on Elemental Mercury Removal Efficiency	SHEN Bo-xiong, CHEN Jian-hong, CAI Ji, <i>et al.</i> (2890)
Characteristics of Odors and VOCs from Sludge Direct Drying Process	CHEN Wen-he, DENG Ming-jia, LUO Hui, <i>et al.</i> (2897)
Research of Early-warning Method for Regional Groundwater Pollution Based on Risk Management	BAI Li-ping, WANG Ye-yao, GUO Yong-li, <i>et al.</i> (2903)
Dynamic Response of Riverine Nitrate Flux to Net Anthropogenic Nitrogen Inputs in A Typical River in Zhejiang Province over the 1980-2010 Period	ZHANG Bai-fa, CHEN Ding-jiang (2911)
Research on the Influence of Urban Land Use Structure and Pattern on Nitrogen, Phosphorus of Wetland Water Environment in Xianlin New Town of Nanjing	CAI Chun-xiao, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i> (2920)
Profile Nutrient Distribution and Sedimentary Characteristics in Typical Marshes of Sanjiang Plain	LI Rui-li, CHAI Min-wei, QIU Guo-yu, <i>et al.</i> (2928)
Source and Contamination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soil in Karst Underground River Basin	LAN Jia-cheng, SUN Yu-chuan, SHI Yang, <i>et al.</i> (2937)
Diel Variations of Hydrochemistry and Influencing Factors in a Surface Stream in Subtropical Karst Area, SW China	ZHANG Tao, PU Jun-bing, YUAN Dao-xian, <i>et al.</i> (2944)
Hydrogen and Oxygen Isotopes of Lake Water and Geothermal Spring Water in Arid Area of South Tibet	XIAO Ke, SHEN Li-cheng, WANG Peng (2952)
Preliminary Research on the Feature of Dissolved Inorganic Carbon in Wulixia Reservoir in Summer, Guangxi, China	LIU Wen, PU Jun-bing, YU Shi, <i>et al.</i> (2959)
Distribution of Heavy Metals in Xiangsi River Valley of Tongling, China	CHEN Li-wei, XU Xiao-chun, WANG Jun, <i>et al.</i> (2967)
Volume Fraction of Gas Vesicle and Floating Characteristics of Cyanobacteria in Taihu Lake Under Different Pressures	WANG Wei, CONG Hai-bing, XU Ya-jun, <i>et al.</i> (2974)
Degradation of Dimethyl Phthalate by Ti(IV)-catalyzed O ₃ /H ₂ O ₂ Under Acidic Conditions	GAO Yan, SHEN Tong-dong, CHEN Yao, <i>et al.</i> (2980)
Influence of Inorganic Ions and Humic Acid on the Removal of Pb(II) and Hg(II) in Water by Zero-Valent Iron	SHI Qiu-ling, ZHOU Xin, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (2985)
Synthesis of Hydroxyapatite/Magnetite/Zeolite Composite for Congo Red Removal from Aqueous Solution	FANG Qiao, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (2992)
Corrosion of Stainless Steel 201, 304 and 316L in the Simulated Sewage Pipes Reactor	BAO Guo-dong, ZUO Jian-e, WANG Ya-jiao, <i>et al.</i> (3002)
Experimental Study of Adhesion Properties Between Membrane Surface and Humic Acid During Microfiltration	WANG Lei, WANG Lei, HUANG Dan-xi, <i>et al.</i> (3007)
Coating Modification of Anthracite Substrates in Vertical-flow Constructed Wetlands by LDHs Synthesized from Different Metal Compounds and the Nitrogen Removal Efficiencies	ZHANG Xiang-ling, GUO Lu, CHEN Jun-jie, <i>et al.</i> (3012)
Atrazine Wastewater Treatment in a SPC Membrane-Aerated Genetically Engineered Microorganism Biofilm Reactor	LIU Chun, GONG Peng-fei, XIAO Tai-min, <i>et al.</i> (3018)
Influencing Factors for Operational Performance of a Biofilm Reactor with Microbubble Aeration Using SPG Membrane	ZHANG Lei, ZHANG Ming, LIU Chun, <i>et al.</i> (3024)
Variations in the Active Characteristics of Sludge During the Operation of an Aerobic Membrane Bioreactor and Their Effects on Membrane Fouling	CHEN Xuan, TANG Bing, ZHANG Zi, <i>et al.</i> (3031)
Effects of Anaerobic Feeding Period on Nitrifying Granular	LIU Wen-ru, YIN Fang-fang, WANG Jian-fang, <i>et al.</i> (3038)
Influencing Factors of Sludge Liquor Treatment in UASBB	LI Ya-feng, MA Chen-xi, ZHANG Chi (3044)
Background Values of As and Hg in Surface Dusts in the Vicinity of Kaifeng City and Their Application	CHEN Yan-fang, MA Jian-hua, DONG Yun-wu, <i>et al.</i> (3052)
Concentrations and Health Risks of Toxic Metals in Surface Dust in Kindergartens of Beijing	DUAN Heng-yi, WU Ya-tao, WANG Jue, <i>et al.</i> (3060)
Polychlorinated Biphenyls in House Dust at an E-waste Site and Urban Site in the Pearl River Delta, Southern China; Sources and Human Exposure and Health Risks	ZHU Zhi-cheng, CHEN She-jun, DING Nan, <i>et al.</i> (3066)
Responses of Soil Total Organic Carbon and Dissolved Organic Carbon to Simulated Nitrogen Deposition in Temperate Typical Steppe in Inner Mongolia, China	QI Yu-chun, PENG Qin, DONG Yun-she, <i>et al.</i> (3073)
Effects of Different Fertilizer Species on Carbon and Nitrogen Leaching in a Reddish Paddy Soil	LIU Xi-yu, ZOU Jing-dong, XU Li-li, <i>et al.</i> (3083)
Effects of Low Molecular Weight Organic Acids on Speciation of Exogenous Cu in an Acid Soil	HUANG Guo-yong, FU Qing-ling, ZHU Jun, <i>et al.</i> (3091)
Evaluation of Compounding EDTA and Citric Acid on Remediation of Heavy Metals Contaminated Soil	YIN Xue, CHEN Jia-jun, CAI Wen-min (3096)
Soil Biochemical Characteristics in Different Ecological Systems and Their Relationships with Soil Respiration and N ₂ O Emission	CHEN Ling, FAN Hui, JIANG Jing-yang (3102)
Contribution of Different Processes in Wetland Soil N ₂ O Production in Different Restoration Phases of the Yellow River Estuary, China	SUN Wen-guang, SUN Zhi-gao, GAN Zhuo-ting, <i>et al.</i> (3110)
Effects of Combined Applications of Pig Manure and Chemical Fertilizers on CH ₄ and N ₂ O Emissions and Their Global Warming Potentials in Paddy Fields with Double-Rice Cropping	WANG Cong, SHEN Jian-lin, ZHENG Liang, <i>et al.</i> (3120)
Influence of Ozone on Snap Bean Under Ambient Air in Two Sites of Northern China	YUAN Xiang-yang, ZHANG Wei-wei, SUN Jing-song, <i>et al.</i> (3128)
Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis Influences the Biological Effects of Nano-ZnO on Maize	WANG Wei-zhong, WANG Fa-yuan, LI Shuai, <i>et al.</i> (3135)
Effect of Arbuscular Mycorrhizae on Growth, Heavy Metal Uptake and Accumulation of <i>Zenia insignis</i> Chun Seedlings	LI Xia, PENG Xia-wei, WU Song-lin, <i>et al.</i> (3142)
Effects of Phosphorus-containing Substances on Arsenic Uptake by Rice	LEI Ming, ZENG min, LIAO Bo-han, <i>et al.</i> (3149)
Ecotoxicological Effect and Soil Environmental Criteria of the Heavy Metal Chromium(VI)	WANG Xiao-nan, LIU Zheng-tao, WANG Wan-hua, <i>et al.</i> (3155)
Promotion Effects of Vitamin B ₁₂ on the Degradation of 2,4,4'-Trichlorobiphenyl by <i>Nostoc</i> PD-2	LIU Jia-yu, XIAO Wen-feng, LU Li-ping, <i>et al.</i> (3162)
Isolation, Identification and Characterization of a Diethylstilbestrol-degrading Bacterial Strain <i>Serratia</i> sp.	XU Ran-fang, SUN Min-xia, LIU Juan, <i>et al.</i> (3169)
Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers in Wild Crucian Carp and Exposure Estimation of Dietary Intake	WANG Jun-xia, WANG Chun-yan, LIU Li-li, <i>et al.</i> (3175)
Cloning of Full-length cDNA of HMGR from <i>Gobiocypris rarus</i> and Analysis of Its Expression Profiles in Male Exposed to Pentachlorophenol	DENG Chuan, MAO Si-yu, XIONG Li, <i>et al.</i> (3183)
Effects of Algae and Kaolinite Particles on the Survival of Bacteriophage MS2	HE Qiang, WU Qing-qing, MA Hong-fang, <i>et al.</i> (3192)
Adsorption Kinetics and Mechanism of Lead(II) on Polyamine-Functionalized Mesoporous Activated Carbon	LI Kun-quan, WANG Yan-jin, YANG Mei-rong, <i>et al.</i> (3198)
Influence of Biological Activated Carbon Dosage on Landfill Leachate Treatment	CUI Yan-rui, GUO Yan, WU Qing, <i>et al.</i> (3206)
Effect of Economic Structure Adjustment on Pollution Emission: A Case Study of COD	LI Ming-sheng, ZHOU Lei, CHEN Yuan-hang, <i>et al.</i> (3212)
Reasons for the Changes in Anthropogenic Lead Flows of China	MA Lan, MAO Jian-su (3219)
Discussion on Reduction Potential of CH ₄ Emission Intensity for Early Off-take Practice of Grazing Yak	WANG Shi-ping, Andreas Wilkes, WANG Ya-yun, <i>et al.</i> (3225)
Review of Dual Stable Isotope Technique for Nitrate Source Identification in Surface- and Groundwater in China	XU Zhi-wei, ZHANG Xin-yu, YU Gui-rui, <i>et al.</i> (3230)

《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 汤鸿霄 陈吉宁 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)

2014年8月15日 第35卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 8 Aug. 15, 2014

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: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人