

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第10期

Vol.35 No.10

**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

基于虚拟撞击原理的固定源 PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub> 采样器的研制 ..... 蒋靖坤, 邓建国, 段雷, 张强, 李振, 陈小彤, 李兴华, 郝吉明 (3639)

1992~2012年福州市和厦门市酸雨变化特征及影响因素 ..... 郑秋萍, 王宏, 陈彬彬, 隋平, 林文 (3644)

青岛近海不同天气状况下大气气溶胶中金属元素浓度分布特征研究 ..... 陈晓静, 祁建华, 刘宁, 张翔宇, 申恒青, 刘明旭 (3651)

化学合成类制药行业工艺废气 VOCs 排放特征与危害评估分析 ..... 李嫣, 王浙明, 宋爽, 徐志荣, 许明珠, 徐威力 (3663)

烧结过程 NO<sub>x</sub> 和 SO<sub>2</sub> 形成规律及烧结料组成对 NO<sub>x</sub> 排放的影响 ..... 任重培, 朱天乐, 朱廷钰, 吕栋 (3669)

废茶活性炭脱硫脱硝性能的应用研究 ..... 宋磊, 张彬, 邓文 (3674)

黑河中游边缘荒漠-绿洲非饱和带土壤质地对土壤氮积累与地下水氮污染的影响 ..... 苏永中, 杨晓, 杨荣 (3683)

海河流域河流生态系统健康评价 ..... 郝利霞, 孙然好, 陈利顶 (3692)

台州长潭水库铁锰质量浓度变化特征及其成因分析 ..... 刘树元, 郑晨, 袁琪, 王先兵, 王稀炎 (3702)

山地城市新建湖库氮磷营养盐时空特征研究 ..... 包静玥, 鲍建国, 李立青 (3709)

岩溶地下水水文地球化学对降雨的响应: 以重庆雪玉洞地下河系统为例 ..... 王凤康, 梁作兵, 于正良, 江泽丽 (3716)

岩溶地下河流域水中多环芳烃污染特征及生态风险评价 ..... 蓝家程, 孙玉川, 田萍, 卢丙清, 师阳, 徐昕, 梁作兵, 杨平恒 (3722)

废旧电器拆解区河流沉积物中多溴联苯醚 (PBDEs) 的污染特征与生态风险 ..... 陈宣宇, 薛南冬, 张石磊, 李发生, 龚道新, 刘博, 孟磊 (3731)

海河流域中南部河流沉积物的重金属生态风险评价 ..... 王瑞霖, 程先, 孙然好 (3740)

大辽河口 COD 与 DO 的分布特征及其影响因素 ..... 杨福霞, 简慧敏, 田琳, 姚庆祯 (3748)

辽河下游 CDOM 吸收与荧光特性的季节变化研究 ..... 邵田田, 赵莹, 宋开山, 杜嘉, 丁智 (3755)

伊乐藻和氮循环菌技术对太湖氮素吸收和反硝化的影响 ..... 刘丹丹, 李正魁, 叶忠香, 张万广 (3764)

地表水体放线菌分离鉴定与致嗅能力研究 ..... 陈娇, 白晓慧, 卢宁, 王先云, 章永辉, 吴潘成, 郭心驰 (3769)

地下水循环井技术修复硝基苯污染含水层效果模拟 ..... 白静, 赵勇胜, 孙超, 秦传玉, 于凌 (3775)

茶叶基水合氧化铁吸附水体中 Pb(II) 的性能 ..... 万顺利, 薛瑶, 马钊钊, 刘国斌, 余艳霞, 马明海 (3782)

紫外辐射对小分子有机酸化学凝聚性作用途径探讨 ..... 王文东, 王亚博, 范庆海, 丁真真, 王文, 宋珊, 张银婷 (3789)

水中普萘洛尔的紫外光降解机制及其产物毒性 ..... 彭娜, 王开峰, 刘国光, 曾令泽, 姚锟, 吕文英 (3794)

二氧化钛 (P25) 光催化降解二苯砷酸的研究 ..... 王阿楠, 滕应, 骆永明 (3800)

碳氮比对聚氨酯生物膜反应器短程硝化反硝化的影响 ..... 谭冲, 刘颖杰, 王薇, 邱珊, 马放 (3807)

城市污泥中温厌氧消化过程中厌氧耐药菌的分布与去除研究 ..... 佟娟, 王元月, 魏源送 (3814)

快速城市化区域表层土壤中杀虫剂的空间分布及风险评估 ..... 韦燕莉, 鲍志君, 巫承洲, 曾永平 (3821)

重庆铁山坪马尾松林土壤汞排放特征的现场测试 ..... 杜宝玉, 王琼, 罗遥, 段雷 (3830)

应用 X 射线吸收近边结构谱研究东北农耕地土壤中的氯种态及含量 ..... 李晶, 郎春燕, 马玲玲, 徐殿斗, 郑雷, 路雨楠, 崔丽瑞, 张晓萌 (3836)

植被重建下煤矿排土场土壤熟化过程中碳储量变化 ..... 李俊超, 党廷辉, 郭胜利, 薛江, 唐骏 (3842)

硫素对氧化还原条件下水稻土氧化铁和砷形态影响 ..... 唐冰培, 杨世杰, 王代长, 饶伟, 张亚楠, 王丹, 朱云集 (3851)

外生菌根真菌对 Al<sup>3+</sup> 胁迫和低钾土壤的响应 ..... 张薇, 黄建国, 袁玲, 李阳波, 何林卫 (3862)

长期施用猪粪水稻土抗生素抗性基因污染研究 ..... 黄福义, 李虎, 韦蓓, 欧阳纬莹, 苏建强 (3869)

外源添加磷和有机酸模拟铅污染土壤钝化效果及产物的稳定性研究 ..... 左继超, 高婷婷, 苏小娟, 万田英, 胡红青 (3874)

污染场地六价铬的还原和微生物稳定化研究 ..... 郑家传, 张建荣, 刘希雯, 许倩, 施维林 (3882)

热强化气相抽提对不同质地土壤中苯去除的影响 ..... 李鹏, 廖晓勇, 阎秀兰, 崔骁勇, 马栋 (3888)

O<sub>3</sub> 浓度升高对南方城市绿化树种氮素的影响 ..... 杨田田, 张巍巍, 胡恩柱, 王效科, 田媛, 冯兆忠 (3896)

施氮强度对不同土壤有机碳水平按树林温室气体通量的影响 ..... 李睿达, 张凯, 苏丹, 逯非, 万五星, 王效科, 郑华 (3903)

<sup>13</sup>C<sub>2</sub>O 示踪臭氧胁迫对水稻土壤微生物的影响 ..... 陈展, 王效科, 尚鹤 (3911)

表面活性剂 *Burkholderia xenovorans* LB400 体系对低氯代 PCBs 的好氧强化降解 ..... 陈少毅, 张静, 汪涵, 任源 (3918)

耐高氨氮异养硝化-好氧反硝化菌 TN-14 的鉴定及其脱氮性能 ..... 信欣, 姚力, 鲁磊, 冷璐, 周迎芹, 郭俊元 (3926)

微氧环境中电化学活性微生物的分离与鉴定 ..... 吴松, 肖勇, 郑志勇, 郑越, 杨朝晖, 赵峰 (3933)

电极活性菌分离过程中微生物群落结构动态特征解析 ..... 王敏, 赵阳国, 卢珊珊 (3940)

铜对草鱼及花鲢的毒性预测: 基于生物配体模型 ..... 王万宾, 陈莎, 吴敏, 赵婧 (3947)

天鹅洲故道底栖动物群落特征及水质生物学评价 ..... 马秀娟, 沈建忠, 王腾, 王海生, 黄丹, 孙广文, 龚成 (3952)

水生生物基准推导中物种选择方法研究 ..... 张铃松, 王业耀, 孟凡生, 周岳溪, 于海斌 (3959)

生产源区人血清中六溴环十二烷水平与甲状腺激素相关性研究 ..... 李鹏, 杨从巧, 金军, 王英, 刘伟志, 丁问微 (3970)

金属氧化物-Laponite 黏土复合材料负载氧化钴催化剂的制备及对苯的催化消除性能 ..... 牟真, 麻春艳, 程杰, 李进军 (3977)

CuO(-CeO<sub>2</sub>)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂对苯催化氧化性能研究 ..... 查键, 周宏仓, 何都良, 单龙, 张露, 谢婕 (3984)

生物毒性检测在水质安全评价中的应用 ..... 徐建英, 赵春桃, 魏东斌 (3991)

某城市城镇污水处理厂 COD 排放现状评价分析 ..... 周羽化, 卢延娜, 张虞, 朱静, 雷晶, 申晨, 武雪芳 (3998)

北京市再生水利用生态环境效益评估 ..... 范育鹏, 陈卫平 (4003)

我国持久性有机污染物污染事故预警指标体系构建 ..... 王琳, 吕永龙, 贺桂珍, 王铁宇 (4009)

环境损害评估: 构建中国制度框架 ..... 张红振, 王金南, 牛坤玉, 董璟琦, 曹东, 张天柱, 骆永明 (4015)

《环境科学》征稿简则 (3887) 《环境科学》征订启事 (4008) 信息 (3730, 3739, 3774, 3895)

# 地表水体放线菌分离鉴定与致嗅能力研究

陈娇<sup>1</sup>, 白晓慧<sup>1\*</sup>, 卢宁<sup>2</sup>, 王先云<sup>2</sup>, 章永辉<sup>1</sup>, 吴潘成<sup>1</sup>, 郭心驰<sup>1</sup>

(1. 上海交通大学生命科学技术学院, 微生物代谢国家重点实验室, 上海 200240; 2. 上海城市水资源开发利用国家工程研究中心, 上海 200082)

**摘要:** 原水中的嗅味是饮用水中嗅味的主要来源之一. 从中国南方地区某水库中分离纯化放线菌并进行菌种鉴定及产致嗅物质 2-甲基异茨醇(2-MIB)和土臭素(GSM)能力研究. 使用膜滤法和高氏一号培养基分离纯化水体中的放线菌. 结合菌落菌丝形态特征、碳源利用、菌株生理生化特征及 16S rRNA 同源性序列分析对从该水库中分离纯化的 40 株放线菌进行菌种鉴定, 结果表明有 38 株链霉菌、1 株气微菌和 1 株假诺卡氏菌. 分别使用高氏一号液体培养基和水库水体对这 40 株放线菌进行摇床发酵, 结合顶空固相微萃取(SPME)和气质联用(GC-MS)方法检测发酵液中致嗅物质 2-MIB 和 GSM 含量, 发现不同放线菌甚至链霉菌属内不同菌种产生致嗅物质的能力不同, 且相差较大. 放线菌在液体培养基中产致嗅物质 2-MIB 和 GSM 能力并不完全代表在水库中对水体 2-MIB 和 GSM 的贡献大小.

**关键词:** 水库; 放线菌; 嗅味; 2-甲基异茨醇(2-MIB); 土臭素(GSM)

中图分类号: X172; X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)10-3769-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.10.018

## Actinobacteria and Their Odor-producing Capacities in a Surface Water in Shanghai

CHEN Jiao<sup>1</sup>, BAI Xiao-hui<sup>1</sup>, LU Ning<sup>2</sup>, WANG Xian-yun<sup>2</sup>, ZHANG Yong-hui<sup>1</sup>, WU Pan-cheng<sup>1</sup>, GUO Xin-chi<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Microbial Metabolism, School of Life Sciences and Biotechnology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 2. Nation Engineering Research Center of Urban Water Resources, Shanghai 200082, China)

**Abstract:** The odor in raw water is one of the main sources of odor in drinking water. The occurrence of actinobacteria and their odor producing capacities in a reservoir in Shanghai were investigated. Gauze's medium and membrane filtration were used for actinobacteria isolation. Through combined methods of 16S rRNA sequencing, colony and hyphae morphology, carbon source utilization, physiological and biochemical characteristics, 40 strains of actinobacteria were identified from the reservoir. Results showed that there were 38 *Streptomyces*, an *Aeromicrobium* and a *Pseudonocardia*. Liquid culture medium and the real reservoir water were used to test the odor producing capacity of these 40 strains of actinobacteria, and headspace solid phase microextraction (HS-SPME) and high resolution gas chromatography mass spectroscopy (GC/MS) were used to analyze the odor compounds 2-methylisoborneol (2-MIB) and geosmin (GSM) in the fermentation liquor. The test results showed that, the odor-producing capacities of these actinobacteria in different fermentation media showed different variation trends, even within the genera *Streptomyces*. The odor-producing capacity of actinobacteria in the liquid culture medium could not represent their states in the reservoir water or their actual odor contribution to the aquatic environment.

**Key words:** reservoir; actinobacteria; odor; 2-methylisoborneol (2-MIB); geosmin (GSM)

在饮用水水质指标中, 感官性状指标是评价水质的重要依据. 感官性状指标包括水的色度、嗅味和混浊度, 其中嗅味是人们评价饮用水质最早和最直接的参数之一. 具有嗅味的水会让人产生不信任感和不安全感. 饮用水嗅味问题已成为一个世界性问题<sup>[1]</sup>. 水体富营养化会造成微生物大量繁殖, 以湖泊、水库为原水的缓流水体中的微生物代谢是造成饮用水嗅味问题的重要原因. 在富营养化水体中的藻细胞能分泌各种致嗅物质, 如土臭素、2-甲基异茨醇、三甲基胺等<sup>[2-4]</sup>. 有些放线菌也可以代谢产生强烈霉味的土臭素和 2-甲基异茨醇以及吡嗪类等嗅味物质<sup>[5-7]</sup>. 嗅味复合物 (taste and odor compounds, TOCs) 2-甲基异茨醇(2-MIB) 和土臭素

(GSM) 是饮用水中两种重要的致嗅物质<sup>[8-10]</sup>. 目前对产嗅微生物, 特别是产嗅放线菌的微生物种属特征及其产嗅能力缺乏系统研究.

本实验通过对我国南方夏秋季某水库中放线菌进行分离纯化和菌种鉴定, 并对这些放线菌在不同培养条件下产生致嗅物质 2-MIB 和 GSM 的能力进行评估, 探究作为饮用水源的缓流水体中的放线菌的产嗅特征.

收稿日期: 2014-03-31; 修订日期: 2014-05-04

基金项目: 上海市科技攻关重点项目 (12231201600, 13231202904, 12231201703, 11231200300); 国家自然科学基金项目 (J1210047); 沪水科 2013-03

作者简介: 陈娇 (1988 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为水质生物学, E-mail: Benita-chen@sjtu.edu.cn

\* 通讯联系人, E-mail: xhbai@sjtu.edu.cn

## 1 材料与方法

### 1.1 放线菌富集培养及分离纯化

本实验于 2013 年 6 ~ 10 月在南方地区某水库中逐月采样,从水库水体中分离放线菌. 使用加入重铬酸钾(抑制细菌和真菌的生长)的高氏一号培养基(每 300 mL 高氏一号培养基中加入 1 mL 浓度为 3% 的重铬酸钾)来富集培养水样中的放线菌. 如果放线菌数量较少,则采用 0.45  $\mu\text{m}$  的纤维素醋酸酯膜抽滤水样,将膜贴在培养基平板上,不像真菌和细菌,放线菌能够穿透滤膜的孔在膜的表面和下面生长<sup>[11]</sup>. 28 $^{\circ}\text{C}$  恒温培养 7 d,划线分离直至纯化. 使用 20% 的甘油管和斜面培养基进行保藏.

### 1.2 放线菌菌种鉴定

选取分离纯化的 40 株放线菌,使用离心柱型 DNA 提取试剂盒和溶菌酶提取放线菌的 DNA. 使用放线菌的特异性通用引物,扩增 16S rRNA 序列,引物序列分别为 S-C-Act-235-a-S-20: 5'-CGCGGCC TATCAGCTTGTTG- 3' 和 S-C-Act-878-a-A-19: 5'-CCGTACTCCCCAGGCGGGG-3'<sup>[12]</sup>.

PCR 扩增体系为 50  $\mu\text{L}$ ,其中,10  $\times$  buffer 5  $\mu\text{L}$ , dNTPs 5  $\mu\text{L}$ ,引物各 2.5  $\mu\text{L}$ (10  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ),模板 200 ng 左右, *Taq* 酶 0.5  $\mu\text{L}$ , DMSO 2.5  $\mu\text{L}$ ,用无菌超纯水补齐. 扩增片段大小为 600 bp 左右. 采用 Touch Down PCR, 条件为:95 $^{\circ}\text{C}$  4 min; 95 $^{\circ}\text{C}$  45 s, 72 $^{\circ}\text{C}$  45 s,68 $^{\circ}\text{C}$  1 min,共 10 个循环,每个循环降低 0.5 $^{\circ}\text{C}$ ; 95 $^{\circ}\text{C}$  45 s,68 $^{\circ}\text{C}$  45 s,68 $^{\circ}\text{C}$  1 min,共 15 个循环,68 $^{\circ}\text{C}$  延伸 10 min. 结果送至测序公司检测. 将测序结果在 ez-Taxon 数据库中进行同源比对<sup>[13]</sup>.

使用国际链霉菌计划指定培养基酵母精麦芽糖琼脂(ISP-2)、燕麦粉琼脂(ISP-3)、无机盐淀粉琼脂(ISP-4)、甘油天门冬素培养基(ISP-5)观察菌株的培养特征,如气生菌丝、基内菌丝以及可溶性色素的颜色. 在接种放线菌的高氏一号培养基上斜向插入盖玻片,28 $^{\circ}\text{C}$  恒温培养 5 ~ 7d 后将盖玻片进行革兰氏染色,用光学显微镜观察气生菌丝和基内菌丝及孢子的形态特征.

通过放线菌的碳源利用实验(L-阿拉伯糖、L-鼠李糖、D-半乳糖、D-甘露糖、D-果糖、D-木糖、D-葡萄糖、棉子糖、肌醇、乳糖和蔗糖)、生理生化特征实验(牛奶凝固胨化、明胶液化、硝酸盐还原、纤维素生长、淀粉水解、硫化氢和色素产生),综合 16S rRNA 基因测序结果和菌落菌丝形态特征,分析鉴定放线菌的种属.

### 1.3 放线菌的发酵培养

在 50 mL 的锥形瓶中加入 30 mL 的高氏一号液体培养基<sup>[14]</sup>,接种后放置摇床中培养. 摇床转速为 200  $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ ,28 $^{\circ}\text{C}$  恒温培养 7 d 后,将发酵液产物 5 000  $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$  离心 10 min,尽量将发酵液吸干到干净无菌的离心管,取 10 mL 发酵液测定 2-MIB 和 GSM 的浓度. 将离心管内的菌体 110 $^{\circ}\text{C}$  烘干约 2 h 后冷却至室温,测菌体生物量干重.

为了研究放线菌在水体环境中是否具有产生臭味物质的能力,在 50 mL 锥形瓶中加入 30 mL 的水库水,接种后放置摇床中培养. 同样条件培养 7 d,水体中的菌体较少,采用了 0.45  $\mu\text{m}$  的纤维素醋酸酯膜抽滤发酵液,将滤膜 110 $^{\circ}\text{C}$  烘干后称重,计算菌体生物量干重,取 10 mL 发酵液测定 2-MIB 和 GSM 的浓度. 检测接种放线菌前后水样的 2-MIB 和 GSM,由前后差值来体现放线菌对水体中臭味物质的贡献. 进一步分析不同培养条件下放线菌的致臭能力以及代谢产物 2-MIB 和 GSM 的关系.

### 1.4 致臭物质 2-MIB 和 GSM 的检测方法

本实验使用顶空固相微萃取技术(HS-SPME)在短时间萃取富集致臭物质 2-MIB 和 GSM,使用气相色谱质谱联用(美国 Perkin Elmer 公司 AutoSystem XL GC/TurboMass MS)方法检测<sup>[15~18]</sup>. 在试样瓶中加入 10 mL 发酵液后再加入 2.4 g 无水硫酸钠,70 $^{\circ}\text{C}$  萃取 10 min 后进样. 进样起始温度为 40 $^{\circ}\text{C}$ ,保持 2 min 后以 10  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  的速度升温至 240 $^{\circ}\text{C}$ ,保持 3 min. 2-MIB 和 GSM 的响应值与浓度的标准曲线相关系数分别为 0.999 7 和 0.999 9. 该方法精密度高,回收率高达 90%,重复测定 3 次,相对误差在  $\pm 5\%$  以内.

## 2 结果与讨论

### 2.1 放线菌菌种鉴定结果

本实验从水库连续采样,分离纯化出 40 株放线菌株,综合分析菌落菌丝形态特征、生理生化特征以及 16S rRNA 基因测序结果,在经过一一比对分析后,各菌株鉴定结果如表 1.

由表 1 鉴定结果可知,在 40 株放线菌中,只有两株菌分别是气微菌和假诺卡氏菌,其余 38 株菌都是链霉菌. 链霉菌是该水库水体中可培养放线菌的主要菌属. 其中,气微菌属在空气、海洋沉积物、土壤中曾被发现. 气微菌是气微菌属中重要的模式菌株,对环境适应能力较强. 假诺卡氏菌属是一类比较安全的微生物,能够代谢产生多种生物活性代谢

表 1 放线菌菌株鉴定结果

Table 1 Identification of the isolated actinobacteria

编号	菌株	相似度/%	登录号	编号	菌株	相似度/%	登录号
1	<i>Streptomyces setonii</i>	97.1	AB184300	21	<i>Streptomyces albaduncus</i>	98.54	AY999757
2	<i>Streptomyces rochei</i>	96.65	AB184237	22	<i>Streptomyces janthinus</i>	96.78	AJ399478
3	<i>Streptomyces violaceolatus</i>	95.19	AF503497	23	<i>Streptomyces griseolus</i>	97.6	AB184788
4	<i>Streptomyces mauvecolor</i>	97.6	AJ781358	24	<i>Streptomyces roseofulvus</i>	99.15	AB184327
5	<i>Streptomyces virginiae</i>	98.53	AB184175	25	<i>Streptomyces gancidicus</i>	97.39	AB184660
6	<i>Streptomyces intermedius</i>	98.2	AB184277	26	<i>Streptomyces halstedii</i>	96.36	AB184142
7	<i>Streptomyces nitrosporeus</i>	99.34	AB184751	27	<i>Streptomyces werraensis</i>	98.35	AB184381
8	<i>Streptomyces termitum</i>	96.45	AB184302	28	<i>Streptomyces neyagawaensis</i>	98.86	D63869
9	<i>Streptomyces rimosus</i> subsp. <i>rimosus</i>	98.11	ANSJ01000404	29	<i>Streptomyces griseoloalbus</i>	97.74	AB184275
10	<i>Streptomyces anulatus</i>	98.54	DQ026637	30	<i>Pseudonocardia alni</i>	95.38	Y08535
11	<i>Streptomyces galbus</i>	98.84	X79852	31	<i>Streptomyces melanogenes</i>	97.57	AB184222
12	<i>Aeromicrobium erythreum</i>	86.93	AF005021	32	<i>Streptomyces flavidovirens</i>	96.72	AB184270
13	<i>Streptomyces glomeratus</i>	99.14	AJ781754	33	<i>Streptomyces durmitorensis</i>	97.59	DQ067287
14	<i>Streptomyces pactum</i>	98.19	AB184398	34	<i>Streptomyces subtrutilus</i>	98.87	X80825
15	<i>Streptomyces diastatochromogenes</i>	96.12	D63867	35	<i>Streptomyces laurentii</i>	97.88	AJ781342
16	<i>Streptomyces pseudogriseolus</i>	98.33	AB184232	36	<i>Streptomyces viridochromogenes</i>	96.62	AB184728
17	<i>Streptomyces sanyensis</i>	95.22	FJ261968	37	<i>Streptomyces drozdowiczii</i>	96.93	AB249957
18	<i>Streptomyces erythrogriseus</i>	99.34	AJ781328	38	<i>Streptomyces cinnamonensis</i>	98.06	AB184707
19	<i>Streptomyces flavidovirens</i>	98.15	AB184270	39	<i>Streptomyces wedmorensis</i>	98.71	AB184572
20	<i>Streptomyces omiyaensis</i>	96.42	AB184411	40	<i>Streptomyces cirratus</i>	96.09	AY999794

产物,有很好的研究前景. 链霉菌是一类产生抗生素的重要菌属,多数链霉菌有抗生素的耐药基因,能够对自身产生的抗生素显示耐受性. 放线菌具有独特的生态多样性和代谢产物多样性特征. 本实验主要研究上述从水库中分离出来的放线菌是否能够代谢产生 2-MIB 和 GSM 以及对水体嗅味物质 2-MIB 和 GSM 的贡献,因此,进一步对这 40 株放线菌分别做了高氏一号液体培养基发酵和水库水体的发酵实验.

## 2.2 放线菌在不同发酵介质中的产嗅能力

### 2.2.1 放线菌在高氏一号液体培养中的产嗅能力

由图 1 可以看到,这 40 株放线菌在高氏一号液体培养基中培养产生 2-MIB 和 GSM 的能力大小各不相同,其中有 3 株放线菌(7.5%)只产生 GSM,1

株(2.5%)只产生 2-MIB,其余的 36 株(90%)都能产生 GSM 和 2-MIB. 水库中分离纯化出的气微菌(12 号)和假诺卡氏菌(30 号)在液体培养基中发酵时,产生致嗅物质的能力都较低,两种致嗅物质主要由链霉菌产生. 而链霉菌中不同种产生致嗅物质能力不同,且相差较大. 可以看到 *Streptomyces wedmorensis*(39 号)和 *Streptomyces cirratus*(40 号)以及 *Streptomyces halstedii*(26 号)在高氏一号液体培养基中产生 2-MIB 的能力较强,单位生物量产生的 2-MIB 在  $9\ 000\ \text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$  以上. 而 *Streptomyces melanogenes*(31 号)在高氏一号液体培养基中产生 GSM 的能力较强,单位生物量产生的 2-MIB 为  $6\ 769\ \text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ . 总体上,在液体发酵时,2-MIB 的量要超过

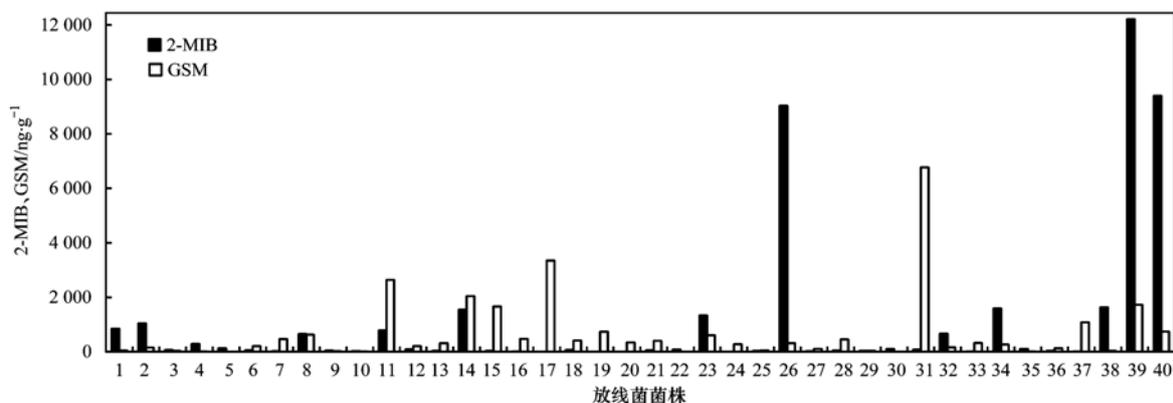


图 1 40 株放线菌在液体培养基中单位生物量产生的 2-MIB 和 GSM

Fig. 1 2-MIB and GSM production by the 40 strains of Actinobacteria in the liquid medium

GSM, 是主要致嗅物质.

2.2.2 放线菌在水库水体中的产嗅能力

由图 2 可以看到,40 株放线菌在水库水中产生 2-MIB 和 GSM 的能力也是大小各不相同. 其中有 8 株放线菌(20%)只能产生 GSM,其余 32 株(80%)都能产生 GSM 和 2-MIB,这也说明在水中能够产生致嗅物质 GSM 的放线菌菌株居多. 但是从图 2 中

可以看到,放线菌对水体 2-MIB 的贡献量明显高于 GSM. 气微菌(12 号)在实际水体中发酵时产生致嗅物质的能力同样较低,而假诺卡氏菌(30 号)产生 2-MIB 的能力较强,与液体培养发酵时效果不同. 在水库水中发酵时,链霉菌对水中致嗅物质贡献最大,但链霉菌中不同种在水中产生致嗅物质能力不同,且相差较大.

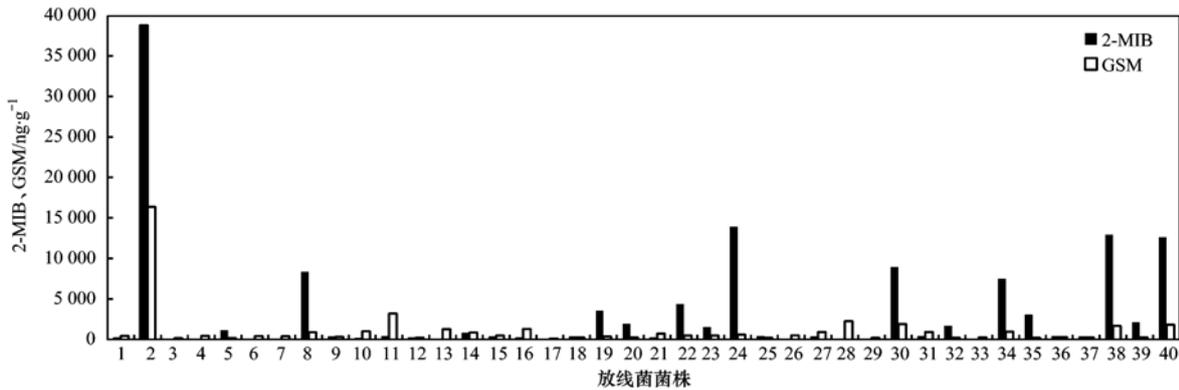


图 2 40 株放线菌在水库水中单位生物量产生的 2-MIB 和 GSM

Fig. 2 2-MIB and GSM production by the 40 strains of Actinobacteria in the real reservoir water

2.2.3 放线菌在不同培养条件下的致嗅能力分析

从图 1 和图 2 可以看到, *Streptomyces rochei* (2 号)在水中发酵培养产生 2-MIB 与 GSM 的能力相对最强,但在高氏一号液体培养基中并没有显示出很强的产致嗅物质能力. 而对于 *Streptomyces halstedii* (26 号),在高氏一号培养基中产生致嗅物质 2-MIB 的能力较强,但在水中产生能力较弱. 因此以上放线菌在高氏一号培养基中的致嗅能力并不代表在水体环境中的致嗅能力. 有研究者通过实验发现从湖泊底泥中分离出的 6 株链霉菌在不同的培养基中产生致嗅物质 2-MIB 和 GSM 的能力不同<sup>[19]</sup>,说明不同的营养条件会影响放线菌的致嗅能力,而不同的放线菌对环境条件改变的适应能力不同. 同时,从图 1 和图 2 可看到, *Streptomyces cirratus* (40 号)在高

氏一号培养基中和在水中产生致嗅物质 2-MIB 的能力都较强. *Streptomyces galbus* (11 号)在高氏一号培养基中和在水中产生致嗅物质 GSM 的能力都较强,所以这两株放线菌在高氏一号培养基中产致嗅物质 2-MIB 和 GSM 的能力可以体现其在水体环境产生致嗅物质的能力.

如图 3,对于在液体培养基和水体环境中发酵都能产生 2-MIB 与 GSM 的放线菌,反映不同致嗅物质相对贡献的 2-MIB 与 GSM 比值并不是一个定值,且随着培养条件的改变,同一放线菌 2-MIB 与 GSM 比值有不同程度的改变. 其中,在高氏一号液体培养基中发酵时,50%的放线菌 2-MIB 与 GSM 比值大于 1;在水库水体中发酵时,63.3%的放线菌菌株大于 1. 由图 3 中可以看到,在高氏一号液体培养基中

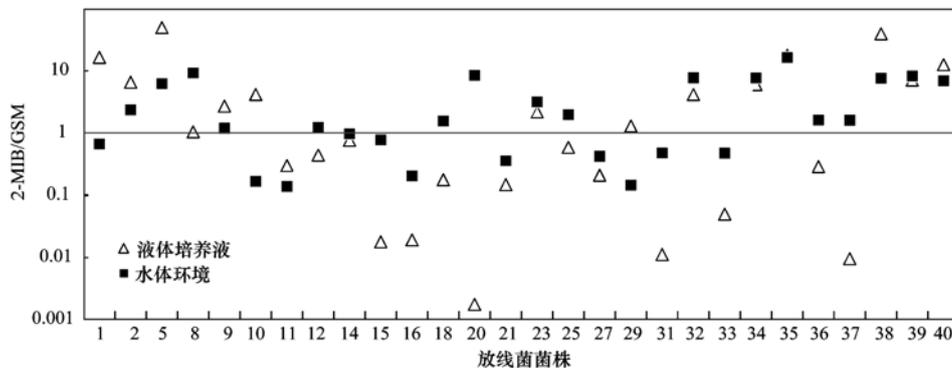


图 3 不同培养条件下放线菌菌株单位生物量产生的 2-MIB 和 GSM 的比值

Fig. 3 Ratios of 2-MIB to GSM produced by Actinobacteria in different fermentation media

2-MIB 与 GSM 比值较大的放线菌(如 4、5、26、38 号等), 在水体中发酵时 2-MIB 与 GSM 比值明显降低, 这说明水体环境更促进这些放线菌 GSM 的产生而抑制 2-MIB 的产生. 而 2-MIB 与 GSM 比值变化幅度最大的 *Streptomyces omiyaensis* (20 号), 则是水体环境促进了 2-MIB 的产生而抑制了 GSM 的产生. 有研究者报道了放线菌中 2-MIB 和 GSM 的生物合成途径<sup>[20-22]</sup>. 通过分析合成途径, 发现是异戊烯基焦磷酸(IPP)转换成香叶基焦磷酸(GPP), 香叶基焦磷酸(GPP)转换成法尼焦磷酸(FPP)和 2-MIB, 法尼焦磷酸(FPP)最后转换成 GSM. 2-MIB 和 GSM 的比值变化可能是由于 GPP 转换成 FPP 以及 FPP 转换成 GSM 的途径受到不同程度的影响.

### 3 结论

(1) 从水库水样中分离出 40 株放线菌, 其中链霉菌 38 株、占 95%, 其余为气微菌和假诺卡氏菌各一株.

(2) 水库中分离出的放线菌大部分可同时产生 2-MIB 和 GSM, 但是不同的放线菌甚至不同的链霉菌种产生致嗅物质 2-MIB 和 GSM 的能力不同, 水中放线菌总数与水体致嗅物质 2-MIB 和 GSM 的浓度不一定呈正相关性.

(3) 对分离出的大部分放线菌, 在高氏一号液体培养基中代谢产生 2-MIB 和 GSM 的能力大小并不完全代表对水库水体中致嗅物质的贡献大小, 不同的培养条件会影响到放线菌的致嗅能力, 但放线菌 *Streptomyces cirratus* 和 *Streptomyces galbus* 例外.

(4) 不同放线菌产生的 2-MIB 和 GSM 不存在固定的比值, 同一放线菌在不同培养条件下产生的 2-MIB 和 GSM 的比值也存在不同程度的变化. 在水库水中发酵时, 2-MIB 是主要的致嗅物质.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 李勇, 张晓健, 陈超. 我国饮用水中嗅味问题及其研究进展 [J]. 环境科学, 2009, **30**(2): 583-588.
- [ 2 ] Li Z L, Hobson P, An W, *et al.* Earthy odor compounds production and loss in three cyanobacterial cultures [J]. Water Research, 2012, **46**(16): 5165-5173.
- [ 3 ] Negoro T, Ando M, Ichikawa N. Blue-green algae in Lake Biwa which produce earthy-musty odors [J]. Water Science & Technology, 1988, **20**(8-9): 117-123.
- [ 4 ] 马晓雁, 张泽华, 王红宇, 等. 高铁酸钾对水中藻类及其次生嗅味污染物二甲基三硫醚同步去除研究 [J]. 环境科学, 2013, **34**(5): 1767-1772.
- [ 5 ] Schöller C E G, Gürtler H, Pedersen R, *et al.* Volatile metabolites from actinomycetes [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, **50**(9): 2615-2621.
- [ 6 ] Zaitlin B, Watson S B. Actinomycetes in relation to taste and odour in drinking water: Myths, tenets and truths [J]. Water Research, 2006, **40**(9): 1741-1753.
- [ 7 ] Asquith E A, Evans C A, Geary P M, *et al.* The role of Actinobacteria in taste and odour episodes involving geosmin and 2-methylisoborneol in aquatic environments [J]. Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua, 2013, **62**(7): 452-467.
- [ 8 ] Squillace P J, Moran M J, Lapham W W, *et al.* Volatile organic compounds in untreated ambient groundwater of the United States, 1985-1995 [J]. Environmental Science & Technology, 1999, **33**(23): 4176-4187.
- [ 9 ] Cook D, Newcombe G, Sztajn bok P. The application of powdered activated carbon for MIB and geosmin removal: predicting PAC doses in four raw waters [J]. Water Research, 2001, **35**(5): 1325-1333.
- [ 10 ] Smith V H, Sieber-Denlinger J, DeNoyelles F Jr, *et al.* Managing taste and odor problems in a eutrophic drinking water reservoir [J]. Lake and Reservoir Management, 2002, **18**(4): 319-323.
- [ 11 ] Lanciotti E, Santini C, Lupi E, *et al.* Actinomycetes, cyanobacteria and algae causing tastes and odours in water of the River Arno used for the water supply of Florence [J]. Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua, 2003, **52**(7): 589-500.
- [ 12 ] Stach J E M, Maldonado L A, Ward A C, *et al.* New primers for the class Actinobacteria: application to marine and terrestrial environments [J]. Environmental Microbiology, 2003, **5**(10): 828-841.
- [ 13 ] Chun J, Lee J H, Jung Y, *et al.* EzTaxon: a web-based tool for the identification of prokaryotes based on 16S ribosomal RNA gene sequences [J]. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2007, **57**(10): 2259-2261.
- [ 14 ] Zuo Y X, Li L, Zhang T, *et al.* Contribution of Streptomyces in sediment to earthy odor in the overlying water in Xionghu reservoir, China [J]. Water Research, 2010, **44**(20): 6085-6094.
- [ 15 ] Watson S B, Brownlee B, Satchwill T, *et al.* Quantitative analysis of trace levels of geosmin and MIB in source and drinking water using headspace SPME [J]. Water Research, 2000, **34**(10): 2818-2828.
- [ 16 ] 白晓慧, 张明德, 贾程慎. 上海某黄浦江原水供水系统中主要致嗅物质的迁移规律分析 [J]. 环境科学, 2011, **32**(1): 120-124.
- [ 17 ] Nakamura S, Daishima S. Simultaneous determination of 1,4-dioxane, epichlorohydrin, 2-methylisoborneol and geosmin in water by headspace solid-phase microextraction/GC/MS [J]. Bunseki Kagaku, 2013, **62**(3): 215-221.
- [ 18 ] Ma K, Zhang J N, Zhao M, *et al.* Accurate analysis of trace earthy-musty odorants in water by headspace solid phase

- microextraction gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Journal of Separation Science*, 2012, **35**(12): 1494-1501.
- [19] Du H, Xu Y. Determination of the microbial origin of geosmin in Chinese liquor[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, **60**(9): 2288-2292.
- [20] Jiang J Y, He X F, Cane D E. Geosmin biosynthesis. *Streptomyces coelicolor* germacradienol/germacrene D synthase converts farnesyl diphosphate to geosmin [J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2006, **128**(25): 8128-8129.
- [21] Wang C M, Cane D E. Biochemistry and molecular genetics of the biosynthesis of the earthy odorant methylisoborneol in *Streptomyces coelicolor* [J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2008, **130**(28): 8908-8909.
- [22] 张婷, 李德亮, 李杰. 原核生物中土霉味化合物二甲萜烷醇和2-甲基异萜醇生物合成研究进展[J]. *微生物学报*, 2012, **52**(2): 152-159.

## 关于反对个别作者一稿两投行为的联合声明

为保证所发表论文的首创性和学术严谨性,《环境科学》、《中国环境科学》、《环境科学学报》编辑部和《Journal of Environmental Sciences》编辑部特发表如下联合声明。

我们明确反对个别作者的一稿两投或变相一稿两投行为。自即日起,我们各刊在接受作者投稿时,要求论文全体作者就所投稿件作出以下承诺(附在投稿上):

1) 来稿所报道的研究成果均系全体作者的原创性研究成果,文中报道的研究成果(含图、表中数据的全部或部分)未曾发表亦未曾投其它科技期刊。

2) 在接到所投期刊编辑部关于稿件处理结果之前,所投稿件的全部或部分内容不再投其它科技期刊。

我们将认真对待作者所作的上述承诺,并建立信息共享机制,对违背上述承诺的作者(包括在文中署名的全体作者)采取联合行动。

净化学术环境、促进学术繁荣是学术期刊作者和编者的共同责任。我们诚恳地希望广大作者能够了解我们的上述立场和做法,并积极宣传和配合。

《环境科学》编辑部

《中国环境科学》编辑部

《环境科学学报》编辑部

《Journal of Environmental Sciences》编辑部

## CONTENTS

Development of a Two Stage Virtual Impactor for Stationary Source PM <sub>10</sub> and PM <sub>2.5</sub> Sampling .....	JIANG Jing-kun, DENG Jian-guo, DUAN Lei, <i>et al.</i> (3639)
Characteristics and the Impact Factors of Acid Rain in Fuzhou and Xiamen 1992-2012 .....	ZHENG Qiu-ping, WANG Hong, CHEN Bin-bin, <i>et al.</i> (3644)
Concentration Distribution of Metal Elements in Atmospheric Aerosol Under Different Weather Conditions in Qingdao Coastal Region .....	CHEN Xiao-jing, QI Jian-hua, LIU Ning, <i>et al.</i> (3651)
Emission Characteristics and Hazard Assessment Analysis of Volatile Organic Compounds from Chemical Synthesis Pharmaceutical Industry .....	LI Yan, WANG Zhe-ming, SONG Shuang, <i>et al.</i> (3663)
NO <sub>x</sub> and SO <sub>2</sub> Formation in the Sintering Process and Influence of Sintering Material Composition on NO <sub>x</sub> Emissions .....	REN Zhong-pei, ZHU Tian-le, ZHU Ting-yu, <i>et al.</i> (3669)
Application of Activated Carbon from Waste Tea in Desulfurization and Denitrification .....	SONG Lei, ZHANG Bin, DENG Wen (3674)
Effect of Soil Texture in Unsaturated Zone on Soil Nitrate Accumulation and Groundwater Nitrate Contamination in a Marginal Oasis in the Middle of Heihe River Basin .....	SU Yong-zhong, YANG Xiao, YANG Rong (3683)
Health Assessment of River Ecosystem in Haihe River Basin, China .....	HAO Li-xia, SUN Ran-hao, CHEN Li-ding (3692)
Analysis on the Variation Characteristics of Iron and Manganese Concentration and Its Genesis in Changtan Reservoir in Taizhou, Zhejiang Province .....	LIU Shu-yuan, ZHENG Chen, YUAN Qi, <i>et al.</i> (3702)
Spatiotemporal Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in a Mountainous Urban Lake .....	BAO Jing-yue, BAO Jian-guo, LI Li-qing (3709)
Formation of Geochemistry in Underground River Under Rainfall Conditions: An Example for Underground River at Xueyu Cave, Chongqing .....	WANG Feng-kang, LIANG Zuo-bing, YU Zheng-liang, <i>et al.</i> (3716)
Contamination and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water and in Karst Underground River Catchment .....	LAN Jia-cheng, SUN Yu-chuan, TIAN Ping, <i>et al.</i> (3722)
Pollution Characteristics and Ecological Risk of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in River Sediments from an Electrical Equipment Dismantling Area .....	CHEN Xuan-yu, XUE Nan-dong, ZHANG Shi-lei, <i>et al.</i> (3731)
Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments in the Southern and Central Haihe River Basin .....	WANG Rui-lin, CHENG Xian, SUN Ran-hao (3740)
Distribution Characteristics of COD and DO and Its Influencing Factors in the Daliaohe Estuary .....	YANG Fu-xia, JIAN Hui-min, TIAN Lin, <i>et al.</i> (3748)
Seasonal Variation in the Absorption and Fluorescence Characteristics of CDOM in Downstream of Liaohe River .....	SHAO Tian-tian, ZHAO Ying, SONG Kai-shan, <i>et al.</i> (3755)
Nitrogen Uptake and Denitrification Study on the Joint Treatment of Aquatic Vegetation and Immobilized Nitrogen Cycling Bacteria in Taihu Lake .....	LIU Dan-dan, LI Zheng-kui, YE Zhong-xiang, <i>et al.</i> (3764)
Actinobacteria and Their Odor-producing Capacities in a Surface Water in Shanghai .....	CHEN Jiao, BAI Xiao-hui, LU Ning, <i>et al.</i> (3769)
Laboratory Evaluation of Remediation of Nitrobenzene Contaminated Aquifer by Using Groundwater Circulation Well .....	BAI Jing, ZHAO Yong-sheng, SUN Chao, <i>et al.</i> (3775)
Sorption Characteristics of Tea Waste Modified by Hydrated Ferric Oxide Toward Pb(II) in Water .....	WAN Shun-li, XUE Yao, MA Zhao-zhao, <i>et al.</i> (3782)
Effects of UV Radiation on the Aggregation Performance of Small Molecular Organic Acids .....	WANG Wen-dong, WANG Ya-bo, FAN Qing-hai, <i>et al.</i> (3789)
UV Photolysis of Propranolol in Aqueous Solution: Mechanism and Toxicity of Photoproducts .....	PENG Na, WANG Kai-feng, LIU Guo-guang, <i>et al.</i> (3794)
Photo-catalytic Degradation of Diphenylarsinic Acid by TiO <sub>2</sub> (P25) .....	WANG A-nan, TENG Ying, LUO Yong-ming (3800)
Effect of Carbon/Nitrogen Ratio on Short-Cut Nitrification and Denitrification of Polyurethane Biofilm Reactor .....	TAN Chong, LIU Ying-jie, WANG Wei, <i>et al.</i> (3807)
Distribution and Removal of Anaerobic Antibiotic Resistant Bacteria During Mesophilic Anaerobic Digestion of Sewage Sludge .....	TONG Juan, WANG Yuan-yue, WEI Yuan-song (3814)
Spatial Distribution and Risk Assessment of Insecticides in Surface Soil from a Rapidly Urbanizing Region .....	WEI Yan-li, BAO Lian-jun, WU Cheng-zhou, <i>et al.</i> (3821)
Field Measurement of Soil Mercury Emission in a Masson Pine Forest in Tieshanping, Chongqing in Southwestern China .....	DU Bao-yu, WANG Qiong, LUO Yao, <i>et al.</i> (3830)
Chlorine Speciation and Concentration in Cultivated Soil in the Northeastern China Studied by X-Ray Absorption Near Edge Structure .....	LI Jing, LANG Chun-yan, MA Ling-ling, <i>et al.</i> (3836)
Soil Organic Carbon Storage Changes with Land Reclamation Under Vegetation Reconstruction on Opencast Coal Mine Dump .....	LI Jun-chao, DANG Ting-hui, GUO Sheng-li, <i>et al.</i> (3842)
Effect of Sulfur on the Species of Fe and As Under Redox Condition in Paddy Soil .....	TANG Bing-pei, YANG Shi-jie, WANG Dai-zhang, <i>et al.</i> (3851)
Response of Ectomycorrhizal Fungi to Aluminum Stress and Low Potassium Soil .....	ZHANG Wei, HUANG Jian-guo, YUAN Ling, <i>et al.</i> (3862)
Long-Term Manure Application Induced Shift of Diversity and Abundance of Antibiotic Resistance Genes in Paddy Soil .....	HUANG Fu-yi, LI Hu, WEI Bei, <i>et al.</i> (3869)
Effect of Phosphate and Organic Acid Addition on Passivation of Simulated Pb Contaminated Soil and the Stability of the Product .....	ZUO Ji-chao, GAO Ting-ting, SU Xiao-juan, <i>et al.</i> (3874)
Bioremediation of Chromium(VI) Contaminated Site by Reduction and Microbial Stabilization of Chromium .....	ZHENG Jia-chuan, ZHANG Jian-rong, LIU Xi-wen, <i>et al.</i> (3882)
Effect of Thermal Enhanced Soil Vapor Extraction on Benzene Removal in Different Soil Textures .....	LI Peng, LIAO Xiao-yong, YAN Xiu-lan, <i>et al.</i> (3888)
Effects of Elevated O <sub>3</sub> Concentration on Nitrogen in Greening Tree Species in Southern China .....	YANG Tian-tian, ZHANG Wei-wei, HU En-zhu, <i>et al.</i> (3896)
Effects of Nitrogen Application on Soil Greenhouse Gas Fluxes in <i>Eucalyptus</i> Plantations with Different Soil Organic Carbon Content .....	LI Rui-da, ZHANG Kai, SU Dan, <i>et al.</i> (3903)
Ozone Effects on Soil Microbial Community of Rice Investigated by <sup>13</sup> C Isotope Labeling .....	CHEN Zhan, WANG Xiao-ke, SHANG He (3911)
Enhanced Aerobic Degradation of Low Chlorinated Biphenyls by Constructing Surfactants <i>Burkholderia xenovorans</i> LB400 Based System .....	CHEN Shao-yi, ZHANG Jing, WANG Han, <i>et al.</i> (3918)
Identification of a High Ammonia Nitrogen Tolerant and Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Bacterial Strain TN-14 and Its Nitrogen Removal Capabilities .....	XIN Xin, YAO Li, LU Lei, <i>et al.</i> (3926)
Isolation and Identification of Electrochemically Active Microorganism from Micro-Aerobic Environment .....	WU Song, XIAO Yong, ZHENG Zhi-yong, <i>et al.</i> (3933)
Characteristics of Microbial Community Structure During Isolation of Electrical Active Bacteria .....	WANG Min, ZHAO Yang-guo, LU Shan-shan (3940)
Predicting Copper Toxicity to <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> and <i>Ctenopharyngodon idellus</i> Based on Biotic Ligand Model .....	WANG Wan-bin, CHEN Sha, WU Min, <i>et al.</i> (3947)
Macrozoobenthos Community Structure and Water Quality Evaluation of Tian'e Zhou Oxbows .....	MA Xiu-juan, SHEN Jian-zhong, WANG Teng, <i>et al.</i> (3952)
Species Selection Methods in Deriving Water Quality Criteria for Aquatic Life .....	ZHANG Ling-song, WANG Ye-yao, MENG Fan-sheng, <i>et al.</i> (3959)
Correlations Between HBCD and Thyroid Hormone Concentrations in Human Serum from Production Source Area .....	LI Peng, YANG Cong-qiao, JIN Jun, <i>et al.</i> (3970)
Preparation of Cobalt Oxide Mesoporous Metallic Oxide-Clay Composites and Their Catalytic Performance in the Oxidation of Benzene .....	MU Zhen, MA Chun-yan, CHENG Jie, <i>et al.</i> (3977)
Catalytic Degradation of Naphthalene by CuO(-CeO <sub>2</sub> )/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	ZHA Jian, ZHOU Hong-cang, HE Du-liang, <i>et al.</i> (3984)
Toxicity Tests and Their Application in Safety Assessment of Water Quality .....	XU Jian-ying, ZHAO Chun-tao, WEI Dong-bin (3991)
Assessment on the COD Discharge Status of Municipal Wastewater Treatment Plant in a City of China .....	ZHOU Yu-hua, LU Yan-na, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (3998)
Assessment of Ecological Environment Benefits of Reclaimed Water Reuse in Beijing .....	FAN Yu-peng, CHEN Wei-ping (4003)
Construction of Index System for Early Warning of Persistent Organic Pollutants (POPs) Pollution Incidents in China .....	WANG Lin, LU Yong-long, HE Gui-zhen, <i>et al.</i> (4009)
Environmental Damages Assessment: Establishment of System Framework in China .....	ZHANG Hong-zhen, WANG Jin-nan, NIU Kun-yu, <i>et al.</i> (4015)

# 《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10月15日 第35卷 第10期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 10 Oct. 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