

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第1期

Vol.36 No.1

2015

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年夏季典型光化学污染过程中长三角典型城市O₃来源识别 李浩, 李莉, 黄成, 安静宇, 严茹莎, 黄海英, 王杨君, 卢清, 王倩, 楼晟荣, 王红丽, 周敏, 陶士康, 乔利平, 陈明华(1)

厦门冬春季大气VOCs的污染特征及臭氧生成潜势 徐慧, 张晗, 邢振雨, 邓君俊(11)

近10年海南岛大气NO₂的时空变化及污染物来源解析 符传博, 陈有龙, 丹利, 唐家翔(18)

稻草烟尘中有机碳/元素碳及水溶性离子的组成 洪蕾, 刘刚, 杨孟, 徐慧, 李久海, 陈惠雨, 黄柯, 杨伟宗, 吴丹(25)

气相色谱-脉冲氦离子化检测法(GC-PDHID)分析大气中分子氢(H₂)浓度 栾天, 方双喜, 周凌晔, 王红阳, 张根(34)

小浪底水库影响下的黄河花园口站和小浪底站pCO₂特征及扩散通量 张永领, 杨小林, 张东(40)

夏季中国东海生源有机硫化物的分布及其影响因素研究 李江萍, 张洪海, 杨桂朋(49)

基于Landsat 8影像估算新安江水库总悬浮物浓度 张毅博, 张运林, 查勇, 施坤, 周永强, 王明珠(56)

温瑞塘河流域水体污染时空分异特征及污染源识别 马小雪, 王腊春, 廖玲玲(64)

人类活动影响下水化学特征的影响: 以西江中上游流域为例 于爽, 孙平安, 杜文越, 何师意, 李瑞(72)

太湖梅梁湾不同形态磷周年变化规律及藻类响应研究 汪明, 武晓飞, 李大鹏, 李祥, 黄勇(80)

鄱阳湖沉积物可转化态氮分布特征及其对江湖关系变化的响应 沈洪艳, 张绵绵, 倪兆奎, 王圣瑞(87)

影响浑太河流域大型底栖动物群落结构的环境因子分析 李艳利, 李艳粉, 徐宗学(94)

水华生消过程对巢湖沉积物微生物群落结构的影响 刁晓君, 李一葳, 王曙光(107)

蓝藻水华聚集对水葫芦生理生态的影响 吴婷婷, 刘国锋, 韩士群, 周庆, 唐婉莹(114)

汞在小浪底水库的赋存形态及其时空变化 程柳, 毛宇翔, 麻冰涓, 王梅(121)

三峡库区典型农田小流域土壤汞的空间分布特征 王娅, 赵铮, 木志坚, 王定勇, 余亚伟(130)

三峡库区农林畜复合小流域水体汞的时空变化特征 赵铮, 王娅, 木志坚, 王定勇(136)

环境条件对三峡库区消落带土壤中邻苯二甲酸二丁酯向上覆水静态迁移释放的影响 宋娇艳, 木志坚, 王强, 杨志丹, 王法(143)

三峡库区消落带土壤中溶解性有机质(DOM)吸收及荧光光谱特征 高洁, 江韬, 李璐璐, 陈雪霜, 魏世强, 王定勇, 闫金龙, 赵铮(151)

舟山渔场有色溶解有机物(CDOM)的三维荧光-平行因子分析 周倩倩, 苏荣国, 白莹, 张传松, 石晓勇(163)

太原市小店污灌区地下水中多环芳烃与有机氯农药污染特征及分布规律 李佳乐, 张彩香, 王焰新, 廖小平, 姚林林, 刘敏, 徐亮(172)

厦门杏林湾水系表层沉积物中PAHs分析与风险评估 程启明, 黄青, 廖祯妮, 苏丽, 刘兴强, 唐剑锋(179)

两种不同的地下水污染风险评价体系对比分析: 以北京市平原区为例 王红娜, 何江涛, 马文洁, 许真(186)

大冶湖滨岸带重金属水-土迁移特征与风险评价 张家泉, 李秀, 张全发, 李琼, 肖文胜, 王永奎, 张建春, 盖希光(194)

铁盐絮凝法从阳宗海湖水中除砷研究与现场扩大试验 陈景, 张曙, 杨项军, 黄章杰, 王世雄, 王莞, 韦群燕, 张艮林, 肖军(202)

铋银氧化物混合物高效氧化降解四溴双酚A的研究 陈满堂, 宋洲, 王楠, 丁耀彬, 廖海星, 朱丽华(209)

一种纳米级不定形碳对水中四环素的吸附研究 吴亦潇, 李爱民, 汪的华, 张维昊(215)

磁性壳聚糖衍生物对阴离子染料的吸附行为 张聪璐, 胡筱敏, 赵研, 苏雷(221)

腐殖酸-高岭土复合体形成机制及对三氯乙烯的吸附 朱晓婧, 何江涛, 苏思慧(227)

降温过程对ANAMMOX工艺城市污水处理系统中微生物群落的影响 赵志瑞, 苗志加, 李铎, 崔丙健, 万敬敏, 马斌, 白志辉, 张洪勋(237)

FISH-NanoSIMS技术在环境微生物生态学上的应用研究 陈晨, 柏耀辉, 梁金松, 袁林江(244)

微囊藻毒素-LR对恶臭假单胞菌细胞活性和表面特性的影响 邓庭进, 叶锦韶, 彭辉, 刘芷辰, 刘则华, 尹华, 陈烁娜(252)

微生物除臭剂的筛选、复配及其除臭条件的优化 曾苏, 李南华, 盛洪产, 贺琨, 胡子全(259)

舟山青浜岛水体及海产品中有机氯农药的分布和富集特征 张泽洲, 邢新丽, 顾延生, 桂福坤, 祁士华, 黄焕芳, 瞿程凯, 张莉(266)

四川凉山藏彝青少年头发中多氯联苯污染水平的研究 周莹, 孙一鸣, 金军, 雷建容, 秦贵平, 何雪珠, 林尤静(274)

铜、毒死蜱单一与复合暴露对蚯蚓的毒性作用 徐冬梅, 王彦华, 王楠, 饶桂维(280)

外源硒对黄瓜抗性、镉积累及镉化学形态的影响 熊仕娟, 刘俊, 徐卫红, 谢文文, 陈蓉, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体(286)

厦门市道路灰尘中铂族元素的污染特征 洪振宇, 洪有为, 尹丽倩, 陈进生, 陈衍婷, 徐玲玲(295)

洋河流域不同土地利用类型土壤硒(Se)分布及影响因素 商靖敏, 罗维, 吴光红, 徐兰, 高佳佳, 孔佩儒, 毕翔, 程志刚(301)

不同钝化剂对重金属污染土壤稳定化效应的研究 吴烈善, 曾东梅, 莫小荣, 吕宏虹, 苏翠翠, 孔德超(309)

畜禽粪便有机肥中Cu、Zn在不同农田土壤中的形态归趋和有效性动态变化 商和平, 李洋, 张涛, 苏德纯(314)

华南某市生活垃圾组成特征分析 张海龙, 李祥平, 齐剑英, 陈永亨, 方建德(325)

生物沥浸耦合类Fenton氧化调理城市污泥 刘昌庚, 张盼月, 蒋娇娇, 曾成华, 黄毅, 徐国印(333)

基于平面波导型荧光免疫传感器的双酚A检测适用性研究 徐玮琦, 张永明, 周小红, 施汉昌(338)

一种新型“Turn-on”荧光探针用于硫化氢可视化检测 刘春霞, 马兴, 魏国华, 杜宇国(343)

典型黄土区油松树干液流变化特征分析 张涵丹, 卫伟, 陈利顶, 于洋, 杨磊, 贾福岩(349)

利用巨藻发酵联产氢气与挥发性有机酸的研究 赵晓娟, 范晓蕾, 郭荣波, 薛志欣, 杨智满, 袁宪正, 邱艳玲(357)

人工纳米颗粒在水体中的行为及其对浮游植物的影响 李曼璐, 姜玥璐(365)

《环境科学》征订启事(251) 《环境科学》征稿简则(294) 信息(236,243,273,300)

微生物除臭剂的筛选、复配及其除臭条件的优化

曾苏¹, 李南华², 盛洪产³, 贺琨², 胡子全^{2*}

(1. 东南大学能源与环境学院, 南京 211189; 2. 江苏碧程环保工程有限公司, 宜兴 214214; 3. 浙江富春江环保热电股份有限公司, 富阳 311400)

摘要: 为了获取作为除臭微生物制剂的候选菌株, 从垃圾渗滤液中分离筛选了4株具有对NH₃和H₂S高效降解菌株, 分别标记为CC3、CC7、CC13和CC16。通过形态、生理生化及16S rDNA序列分析, 分别鉴定为乳酸片球菌(*Pediococcus acidilactici*)、巨大芽孢杆菌(*Bacillus megaterium*)、嗜酸乳杆菌(*Lactobacillus acidophilus*)、粪产碱杆菌(*Alcaligenes faecalis*)。菌株CC7、CC13和CC16组成的复配组合除臭效率最优, 其复配比例为1:1.5:0.5, 对NH₃和H₂S的去除率分别为83.56%和70.25%。通过单因素实验, 确定微生物除臭剂最佳除臭条件: 除臭时间为60 h, 菌剂使用量为5%, 除臭温度为30℃, 初始培养基pH值为6.5。

关键词: 微生物除臭剂; 筛选; 鉴定; 复配; 除臭条件优化

中图分类号: X172; X512 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)01-0259-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.01.034

Screening, Combination of Microbial Deodorizer and the Optimization of Its Deodorizing Conditions

ZENG Su¹, LI Nan-hua², SHENG Hong-chan³, HE Kun², HU Zi-quan^{2*}

(1. School of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing 211189, China; 2. Jiangsu Bicheng Environmental Engineering Co., Ltd., Yixing 214214, China; 3. Zhejiang Fuchunjiang Environmental Thermoelectric Co., Ltd., Fuyang 311400, China)

Abstract: In order to obtain the candidate strains of deodorizing microorganism, three optimization strains with relatively higher deodorizing capacity were isolated from landfill leachate, which were given the labels of CC3, CC7, CC13 and CC16. According to the results of morphological observation, physiological and biochemical tests, 16S rDNA sequence homology analysis, the strains CC3, CC7, CC13 and CC16 were identified as *Pediococcus acidilactici*, *Bacillus megaterium*, *Lactobacillus acidophilus* and *Alcaligenes faecalis* respectively. When the strains CC7, CC13 and CC16 were mixed with the inoculation rate was 1:1.5:0.5, the removal rates of ammonia and hydrogen sulfide were 83.56% and 70.25%. The optimal conditions of deodorizing by single factor test were deodorization time of 60 hours, sausage of 5%, temperature of 30℃, initial pH of 6.5.

Key words: microbial deodorizer; screening; identification; combination; optimization of deodorizing conditions

生活垃圾成分很复杂,且含有多种易于腐烂的有机物,这些有机物在腐烂和稳定化过程中会产生大量的恶臭物质,对周边环境造成极大的危害,严重影响了周边居民的身体健​​康^[1]。因此,垃圾堆放集中区除臭工作成为环境卫生工作中不可缺少的一个部分。常见的恶臭源主要有垃圾中转站、垃圾收集点、垃圾填埋场和垃圾渗滤液收集池。它们散发出的恶臭气体主要来源于垃圾腐败过程产生的气体和底部垃圾渗滤液中恶臭气体的挥发^[2]。虽然不同地区产生的生活垃圾主要成分有所区别,但是所产生异味的气体主要为NH₃和H₂S。

目前除臭研究工作主要集中在化学除臭、物理除臭和生物除臭三方面,生物除臭以除臭效率高、无二次污染、操作简单、成本低廉,成为目前治理恶臭环境的一个重要研究方向^[3]。近年来,研究工作主要集中在高效除臭优势菌株的选育,推广应用的研究多采用外国进口的微生物制剂,以日本的

EM菌剂为主。而国内自我选育和复配的微生物除臭剂研究情况还不多见^[4]。本实验从垃圾渗滤液筛选出具有高效除臭功能微生物,并对其进行菌种鉴定,通过有机复配制备出具有除臭功能微生物除臭剂,以垃圾渗滤液中NH₃和H₂S的去除率为除臭标准,并探索微生物除臭剂最佳培养条件,以期为环境生物除臭治理提供技术和依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 采样

2011年9月27日,从浙江省台州市椒江区垃圾填埋场的垃圾渗滤液收集池中采取垃圾渗滤液。

收稿日期: 2014-05-22; 修订日期: 2014-08-01

基金项目: 国家科技型中小企业技术创新项目(13C26213201955)

作者简介: 曾苏(1962~),男,硕士,讲师,主要研究方向为环境微生物技术与环境工程, E-mail: suzzzz@sina.com

* 通讯联系人, E-mail: hzq_128@sohu.com

对采集的垃圾渗滤液经过实验室测试,各项水质指标 如表 1.

表 1 椒江垃圾渗滤液水质特征

Table 1 Quality characteristics of Jiajiang leachate water

颜色	COD /mg·L ⁻¹	BOD ₅ /mg·L ⁻¹	NH ₄ ⁺ -N /mg·L ⁻¹	SO ₄ ²⁻ /mg·L ⁻¹	嗅阈值	pH
黄灰色	32 212	10 325	1 125	2 417	2 312	6.2

1.1.2 培养基

改良高氏一号培养基^[5]: KNO₃ 1 g, NaCl 0.5 g, K₂HPO₄ 0.5 g, KH₂PO₄ 0.5 g, MgSO₄·7H₂O 0.5 g, (NH₄)₂SO₄ 0.5 g, L-半胱氨酸 100 mg, 淀粉 10 g, 水 1 000 mL, pH 7.0~7.2.

NH₃ 选择性培养基^[6]: 蔗糖 50 g, 氨水 10 mL, KH₂PO₄ 2 g, MgSO₄·7H₂O 0.5 g, FeSO₄·7H₂O 0.1 g, 1% ZnSO₄ 5 mL, NaCl 2 g, 水 1 000 mL, 自然 pH.

种子液和混合发酵培养基: 基础肉汤培养基.

1.2 实验方法

1.2.1 高效除臭菌株分离

将取新鲜垃圾渗滤液 10 mL 加入装有 100 mL 的基础肉汤培养基的 250 mL 的三角瓶中, 32℃, 120 r·min⁻¹, 培养 72 h 后, 取出 10 mL 转接到 100 mL 新的基础肉汤培养基中, 同样条件培养 72 h 后, 再转接一次. 吸取垃圾渗滤液富集液 5 mL, 用无菌术配制梯度为 10⁻⁵、10⁻⁶ 和 10⁻⁷ 的溶液, 采用平板涂布法将上述培养基分别涂布于改良高氏一号培养基和 NH₃ 选择性培养基, 倒置于 32℃ 的恒温培养箱中培养 48 h, 将获得的菌落进一步分离纯化, 直至获得纯培养, 分别接种牛肉膏蛋白胨培养基斜面培养, 保存备用.

1.2.2 高效除臭菌株筛选

(1) 种子液的制备 将分离获得菌株分别接种于基础肉汤培养基上, 32℃, 120 r·min⁻¹, 培养 24 h.

(2) 除臭菌株的初筛 在装有灭菌好的 100 mL 的发酵培养基的三角瓶中, 添加 5 mL 的垃圾渗滤液和接种 5% 的制备好的种子液, 在无菌条件搅拌均匀后塞上胶塞, 在培养 3 d 后, 凭感官测定其各自菌株的嗅阈值. 初筛采用嗅阈值法测定各菌株除臭能力, 即用无臭水稀释水样, 直至闻出最低可辨别臭气的浓度(嗅阈浓度), 用其表示臭气的阈限, 水样稀释到刚好闻出臭味的稀释倍数成为嗅阈值, 以未接菌种的作为对照, 嗅阈值越小除臭效果越好, 反之越差^[7].

$$\text{嗅阈值} = \frac{\text{测试样体积 (mL)} - \text{无味水样体积 (mL)}}{\text{测试样体积 (mL)}}$$

(3) 除臭菌株的复筛 经过初筛具有除臭能力较强优势菌株制备种子液, 制备方法同上(1). 一组

取 10 mL 待测种子液和 2 mL 垃圾渗滤液加入已灭菌的含有 100 mL 发酵培养基中, 混匀, 装入 1 000 mL 的大烧杯中, 再放入装有 20 mL 1% 硼酸的 250 mL 小烧杯, 大烧杯上用 3 层保鲜膜覆盖, 并且周围用宽胶带密封; 另一组取 10 mL 待测种子液和 2 mL 垃圾渗滤液加入已灭菌的含有 100 mL 发酵培养基中, 混匀, 装入 1 000 mL 的大烧杯中, 再放入装有 20 mL 0.2% 碱性锌氨络盐 Zn(NH₃)₄·(OH)₂ 的 250 mL 小烧杯, 大烧杯上用 3 层保鲜膜覆盖, 并且周围用宽胶带密封. 每组以等量无菌水作为空白对照, 每个处理重复 3 次, 置于 30℃ 的培养箱中培养, 培养 72 h 后, 采用次氯酸钠-水杨酸分光光度法和亚甲基蓝分光光度法分别检测 NH₃ 和 H₂S 的释放量, 通过释放量的检测评价除臭菌株对 NH₃ 和 H₂S 去除率^[8].

$$\text{去除率} = \frac{\text{对照组释放量} - \text{实验组释放量}}{\text{对照组释放量}} \times 100\%$$

1.2.3 菌株的鉴定方法

将获得的各菌株接种于复筛培养基, 30℃ 培养 24 h 后, 观察并记录菌落生长状况和菌落形态. 挑取少量菌体进行染色, 显微镜下观察并记录菌体形态, 并对各菌株进行生理生化测试^[9].

将菌种接种在 LB 液体培养基中, 30℃、180 r·min⁻¹ 摇床培养 24 h, 12 000 r·min⁻¹ 离心收集菌体, 用德国 QIAGEN 公司的细菌基因组 DNA 提取试剂盒提取菌株的总 DNA. 然后用以下引物对菌株 DNA 进行 PCR 扩增实验: 正向引物: 5'-AGAGTTTGTATCCTGGTCAGAACGAACGCT-3', 反向引物: 5'-ACGGCTACCT TGT TACGA CTTACCCC-3'. PCR 扩增的反应体系为 50 μL, 其中 10 × buffer 5 μL; dNTP 4 μL; Mg²⁺ 3 μL; 引物各 1 μL; Taq 酶 0.4 μL; 模板 2 μL; 之后用双蒸水补足至 50 μL. PCR 扩增的反应条件为 95℃ 预变性 5 min, 94℃ 变性 1 min, 58℃ 退火 30 s, 72℃ 延伸 90 s, 进行 35 个循环, 最后 72℃ 保温 10 min. 将扩增得到的 16S rDNA 产物通过 1% 琼脂糖凝胶电泳检测后, 送往上海生工生物有限公司进行测序. 将测得的 16S rDNA 序列在 NCBI 中进行 BLAST 比对分析, 寻

找最相似的已知序列^[10]。

1.2.4 微生物除臭剂复配方法

(1)拮抗实验 拮抗实验采用划线交叉法,将复筛获得菌株在牛肉膏平板培养基上两两之间进行交叉划线,观察交叉点是否有菌株生长情况,两者能生长为不拮抗,一株或两株都不能生长为拮抗。

(2)除臭菌株的组合实验 将不拮抗4个菌株进行两两组合,三三组合,全部组合,共组建了11个处理组,然后按照1:1的比例将种子液混合接种到含有2 mL垃圾渗滤液的100 mL混合培养基,培养温度30℃,120 r·min⁻¹培养72 h,每个组合3次重复,测定NH₃和H₂S的释放量^[11]。

(3)优势菌株接种比例复配实验 最佳除臭组合由3个菌株组成,按照3%的使用量,按照以下比例将3株菌的种子液进行复配:1:1:1,0.5:1.5:1,0.5:1:1.5,1.5:0.5:1,1:0.5:1.5,1.5:1:0.5,1:1.5:0.5,0.5:0.5:2,0.5:2:0.5,2:0.5:0.5,复配组合为10个,加入到含有2 mL垃圾渗滤液的100 mL混合培养基,培养温度30℃,100 r·min⁻¹培养72 h,每个组合3次重复,测定NH₃和H₂S释放量,确定最佳组合比例^[12]。

1.2.5 微生物除臭剂最佳除臭条件优化

将菌株CC7、CC13、CC16的种子液按照1:1.5:0.5的比例在无菌条件下混合,制备成复合除臭剂,选用含有2 mL垃圾渗滤液的100 mL混合发酵培养基作为研究培养基,以变换不同除臭条件(反应时间、除臭温度、除臭剂使用量和pH值)确定复合制剂对NH₃和H₂S的最佳去除率,每个实验安排3个重复(表2)。

表2 除臭条件优化实验设计¹⁾

测试项目	实验组别							
除臭时间/h	12	24	36	48	60	72	84	
除臭温度/℃	10	20	25	30	35	40	—	
制剂使用量/%	1	2	5	10	20	—	—	
除臭pH值	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	

1)“—”表示文章中没有相关实验设计

2 结果与分析

2.1 除臭菌株的筛选与鉴定

2.1.1 除臭菌株的初筛

从台州市椒江区垃圾填埋场采集的垃圾渗滤液,对其富集3次培养,经多次分离纯化获得20株优势菌株,并对其进行编号。采用嗅阈值法测定各菌株对垃圾渗滤液除臭效果,结果如图1所示。

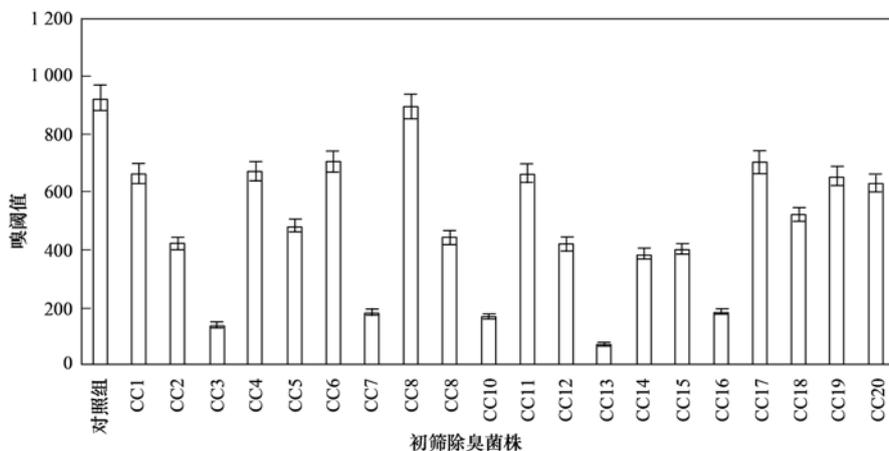


图1 初筛菌株的除臭效果

Fig. 1 Deodorization effects of first screened microorganisms

由图1可以看出,菌株CC3、CC7、CC10、CC13和CC16具有较强除臭的功能,其中菌株CC13的除臭能力最强,嗅阈值为75,无异味,除臭效果最佳。而陈晓英等^[13]从油脂废水中筛选出除臭菌株制备成除臭菌剂,该菌剂对油脂废水除臭嗅阈值达到50。其除臭嗅阈值与本研究结果比较接近,但是嗅阈值法只能测定菌株对臭味去除的总体能力,无法阐明各菌株的除臭机制和在除臭过程对某些异味气

体特殊去除能力,研究表明^[14~16],垃圾渗滤液散发恶臭气体主要是NH₃和H₂S,因此本实验将以两者作为菌株除臭能力的筛选标准。

2.1.2 除臭菌株的复筛

将初筛获得的除臭效果较好的菌株CC3、CC7、CC10、CC13和CC16对NH₃和H₂S降解实验,测定在实验室培养条件下对NH₃和H₂S的去除率,实验结果如表3所示。

表 3 比较复筛菌株对 NH_3 和 H_2S 去除率Table 3 Comparison of screened strains on removal rate of NH_3 and H_2S

菌株	NH_3 去除率		H_2S 去除率	
	NH_3 释放量 / $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	NH_3 去除率 /%	H_2S 释放量 / $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	H_2S 去除率 /%
CC3	9.76	62.25	3.82	50.23
CC7	12.47	51.78	3.93	48.75
CC10	13.28	48.65	4.42	42.35
CC13	8.36	67.68	3.00	60.95
CC16	11.32	56.25	3.67	52.23
CK	25.86	0.00	7.67	0.00

由表 3 可以看出, 菌株 CC13 对 NH_3 和 H_2S 的去除率分别为 67.68% 和 60.95%, 表现了最佳的除臭性能, 菌株 CC3、CC7 和 CC16 对于 NH_3 和 H_2S 的去除效果表现较好, 去除率分别为 62.25%、51.78%、56.25% 和 50.23%、48.75%、52.23%, 菌株 CC10 对 NH_3 和 H_2S 去除率表现一般. 本研究结果与赵晓锋等^[17] 从鸡粪中筛选除臭菌株对 NH_3 的去除率很接近. 因此, 选择菌株 CC3、CC7、CC13 和 CC16 作为复合生物除臭菌的功能菌种.

2.1.3 除臭微生物的菌种鉴定

获得的 4 株除臭菌株的生理生化实验结果如表 4 所示, 菌株 CC3, 菌落表面光滑湿润, 边缘整齐, 灰白色半透明, 菌体呈球状, 双联或四联, 结合生理生化实验初步鉴定为片球菌属 (*Pediococcus*), 菌株 CC7, 菌落灰白色, 圆形, 表面干燥, 不透明, 扁平状, 菌体单个, 呈长杆状, 有芽孢, 结合生理生化实验初步鉴定为芽孢杆菌属 (*Bacillus*), 菌株 CC13 在 MRS 培养基上经 37℃ 厌氧培养 24 h 后可见微小, 圆形, 乳白色, 稍隆起, 易挑取, 透明菌落, 菌体短杆状, 无芽孢, 两端圆形, 呈链状排列或单一排列, 结合生理生化实验初步鉴定为乳杆菌属 (*Lactobacillus*), 菌株

表 4 4 株菌株生理生化特征¹⁾

Table 4 Physiological and biochemical properties of four strains

项目	CC3	CC7	CC13	CC16
细菌形态	球状	长杆状	短杆	短杆
革兰氏	+	+	+	-
需氧型	兼性厌氧	好氧	兼性厌氧	好氧
运动性	-	-	-	+
接触酶	-	+	-	+
氧化酶	-	+	-	+
明胶液化	-	+	-	-
吡啉实验	-	-	-	-
VP 实验	-	+	-	+
淀粉水解	-	+	+	+
硝酸盐	-	-	-	+
葡萄糖发酵	产酸不产气	产酸不产气	产酸不产气	产酸不产气

1) “+”为阳性, “-”为阴性

CC16, 表面较湿, 小而突起, 乳白色, 边缘整齐, 菌体短小近球状, 不产芽孢, 有鞭毛, 结合生理生化实验初步鉴定为产碱杆菌属 (*Alcaligenes*).

采用试剂盒提取各菌株的 DNA, 使用细菌通用引物 8F-1392r 进行 PCR 扩增, 得到 1.5kb 左右的偏度, 并测序, 将其 16S rDNA 序列在 GenBank 数据库中对比获得, 菌株 CC3 与 Genome DataBase 中的 *Pediococcus acidilactici* 相似性水平达 99.0%, 鉴定菌株 CC3 为乳酸片球菌 (*Pediococcus acidilactici*); 菌株 CC7 与 Genome DataBase 中的 *Bacillus megaterium* 相似性水平达 99.9%, 鉴定菌株 CC7 为巨大芽孢杆菌 (*Bacillus megaterium*); 菌株 CC13 与 Genome DataBase 中的 *Lactobacillus acidophilus* 相似性水平达 99.5%, 鉴定菌株 CC13 为嗜酸乳杆菌 (*Lactobacillus acidophilus*); 菌株 CC16 与 Genome DataBase 中的 *Alcaligenes faecalis* subsp. 相似性水平达 98.9%, 鉴定菌株 CC16 为粪产碱杆菌 (*Alcaligenes faecalis*). 根据以往报道, 芽孢杆菌 (*Bacillus*)、乳酸杆菌 (*Pasteurella*)、产碱杆菌 (*Alcaligenes*)、红螺菌 (*Rhodospirillum*) 及醋酸杆菌 (*Acetobacter*) 等在微生物除臭方面具有较好的效果^[18-22].

2.2 垃圾微生物除臭剂的复配

2.2.1 除臭菌株之间的拮抗性

在平板上将菌株交叉十字划线, 两两菌株交叉点生长良好, 复筛获得 4 株菌株彼此之间都没有拮抗作用, 可以进一步进行最佳除臭组合的筛选.

2.2.2 最佳除臭菌株组合的确定

将 4 种菌株进行组合, 对于 NH_3 和 H_2S 的去除率都有所提高, 以空白实验 NH_3 和 H_2S 的释放量为参照, 计算 NH_3 和 H_2S 的去除率, 采用 DPS 软件对 11 种的不同组合的 NH_3 和 H_2S 去除率进行单因素随机区组方差分析, 结果如表 5 所示, 不同组合的 NH_3 和 H_2S 去除率存在一定差异性. 其中组合 CC7 + CC13 + CC16 与组合 CC3 + CC7 + CC13 对 NH_3 去除率无显著差异, 但是与其他组合都存在显著差异, NH_3 的去除率为 78.56%; 组合 CC7 + CC13 + CC16 在 H_2S 的去除率与其他组合都存在显著差异, 对 H_2S 的去除率为 62.67%. 组合中 CC3 + CC7 + CC13 + CC16 含有 4 种优势去除除臭菌株, 但是在组合中对 NH_3 和 H_2S 的去除率表现一般, 可能原因有 4 种菌的组合并不能促进细胞对 NH_3 和 H_2S 的代谢. 根据对 NH_3 和 H_2S 去除率显著差异分析, 最佳处理组合为 CC7 + CC13 + CC16.

表 5 比较菌株组合对 NH_3 和 H_2S 去除率¹⁾

处理	氨气去除率 (平均值)/%	硫化氢去除率 (平均值)/%
CC3 + CC7	59.40 ± 0.64 ^d	45.27 ± 2.96 ^f
CC3 + CC13	60.45 ± 1.00 ^{cd}	56.83 ± 1.37 ^b
CC3 + CC16	46.88 ± 4.3 ^f	47.66 ± 1.75 ^{fg}
CC7 + CC13	68.00 ± 1.36 ^b	51.83 ± 1.55 ^{cde}
CC7 + CC16	51.36 ± 0.67 ^e	48.84 ± 0.17 ^{efg}
CC13 + CC16	62.76 ± 0.49 ^c	51.36 ± 1.05 ^{def}
CC3 + CC7 + CC13	75.77 ± 2.63 ^a	53.78 ± 3.08 ^{bcd}
CC3 + CC7 + CC16	60.81 ± 0.59 ^{cd}	52.74 ± 4.80 ^{cde}
CC3 + CC13 + CC16	61.71 ± 2.22 ^{cd}	55.54 ± 1.86 ^{bc}
CC7 + CC13 + CC16	78.56 ± 0.36 ^a	62.67 ± 0.89 ^a
CC3 + CC7 + CC13 + CC16	61.85 ± 1.26 ^{cd}	49.89 ± 1.35 ^{def}

1) 不同组合对 NH_3 和 H_2S 去除率进行单因素完全随机方差分析, 当 $P < 0.05$, 用字母表示差异显著性(LSD 法)

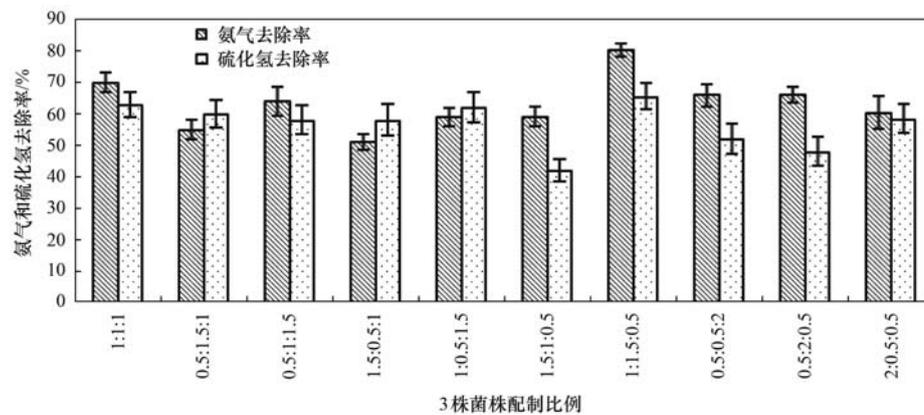
图 2 比较 3 种除臭菌株的配制比例对 NH_3 和 H_2S 去除率

Fig. 2 Comparison of various proportions of three strains on removal rate of NH_3 and H_2S

2.3 微生物除臭剂最佳除臭条件的确定

2.3.1 除臭时间对微生物除臭剂除臭效果的影响

由图 3 可见, 温度对微生物除臭剂对氨气硫化氢的去除率表现出一致性, 在培养时间为 12 ~ 48 h, 对 NH_3 和 H_2S 的去除率速度提高得很快, 主要由于各个菌系处于对数生长期, 消耗大量恶臭物质, 同时代谢大量的酶, 加速了硫化氢的去除率, 直到 60 h 时复配菌剂的去除率增长趋势达到最大值对 NH_3 和 H_2S 的去除率为 80.05% 和 65.03%。在 60 h 后其去除率的增长趋势较弱, 去除率有较小的增加, 但是不明显, 这个时期复合微生物菌种应该处于稳定期内, 有益微生物代谢活动减弱, 对氨气和硫化氢的降解能力减弱。目前筛选除臭菌株一般都是在 48 h 之后才能获得最佳除臭效果, 唐微微等^[24] 筛选的酵母菌对猪粪除臭在 72 h 后达到最大值, 而后除臭效果下降。本研究结果微生物除臭剂在 60 h 后趋于稳

2.2.3 最佳除臭菌株组合比例的确定

微生物菌株复配比例是提高除臭剂效果的关键所在, 只有调整到最佳配置比例, 才能获得复合微生物除臭剂各菌株的最佳除臭性能, 形成稳定的具有协同效应的微生态菌群, 以菌群整体优势对恶臭气体的去除。

由图 2 可以看出, 不同比例复配的微生物除臭剂对氨气硫化氢去除效果有一定差异, 其中菌种 CC7, CC13, CC16 比例为 1:1.5:0.5 时, 氨气、硫化氢的去除效果较好, 去除率分别为 80.24% 和 65.45%。其他比例复配的微生物除臭剂对 NH_3 和 H_2S 的去除率效果不明显, 甚至有的比例除臭效果降低, 主要原因是复合微生物除臭剂某一菌种占据绝对的优势, 对营养物质快速消耗, 影响其他菌株生长与繁殖^[23]。

定, 72 h 后对 NH_3 和 H_2S 去除率变化不大, 因此选择培养 60 h 为最佳培养时间。

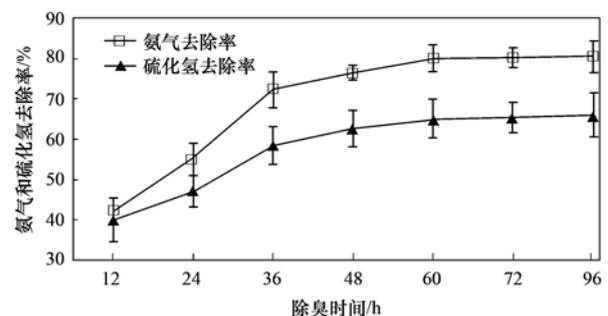
图 3 除臭时间对微生物除臭剂去除 NH_3 和 H_2S 的影响

Fig. 3 Effects of deodorization time on NH_3 and H_2S removal of microbial deodorize

2.3.2 微生物除臭剂使用量对除臭效果的影响

如图 4 所示, 当微生物除臭剂使用量较低时(1%

~5%),随着接种量增加, NH_3 和 H_2S 去除率也随着升高,在 5% 时为最大值,氨气的去除率可达 82.46%,硫化氢的去除率可达 68.59%。而当使用量 >5% 时, NH_3 和 H_2S 的去除率反而下降,其主要原因可能是接种量过大,快速导致营养物质匮乏而缺乏竞争,降低了生物活性和关键生物酶的代谢^[25]。

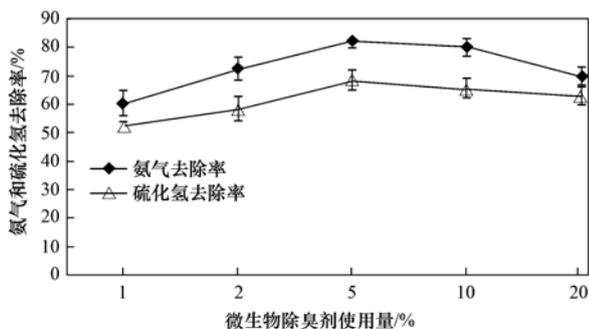


图 4 使用量对微生物除臭剂去除 NH_3 和 H_2S 的影响

Fig. 4 Effects of sausage on NH_3 and H_2S removal of microbial deodorize

2.3.3 温度对复配菌剂除臭效果的影响

如图 5 所示,温度是影响菌体代谢酶降解 NH_3 和 H_2S 的一个重要因素,温度过高或过低均会影响菌体酶的代谢过程。培养温度对复合微生态除臭剂除臭效果影响较大,在不同温度下除臭效果有着明显差异,在 25℃ 以下和 40℃ 以上,温度很大程度上影响微生物繁殖数量和降解酶代谢速度,也就对 NH_3 和 H_2S 的去除率降低。通常,在 15 ~ 30℃ 之间,随着温度的升高,菌株中酶的活性增强,生化反应速度会加快,菌株的最佳生长及降解速率提高,若温度继续升高,菌株中的一些敏感物质会受到不可逆的破坏,其生物活性会受到影响^[26]。因此,选择 30℃ 作为微生物除臭菌对 NH_3 和 H_2S 最佳的降解温度。

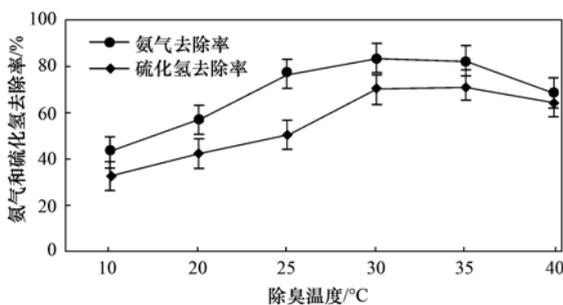


图 5 温度对微生物除臭剂去除 NH_3 和 H_2S 的影响

Fig. 5 Effects of temperature on NH_3 and H_2S removal of microbial deodorize

2.3.4 初始 pH 值对复配菌剂除臭效果的影响

环境中 pH 的变化能够引起微生物细胞膜电荷的变化,进而影响微生物对营养物质的吸收,此外, pH 还影响微生物除臭菌株代谢酶的活性, pH 过高或过低均会导致酶的活力降低甚至失活。图 6 为不同 pH 条件下,微生物除臭剂对 NH_3 和 H_2S 去除情况,从中可以看出,在初始 pH 值为 6.5 ~ 7.0 时,微生物菌群生长比较旺盛,对 NH_3 和 H_2S 去除率比较高, pH 值为 6.5 时, NH_3 和 H_2S 的去除率最大值分别为 83.56% 和 70.25%。从 NH_3 和 H_2S 的去除率的变化趋势看,初始培养基 pH 值偏酸性易于复合微生物除臭剂培养,碱性对除臭效果的影响较大^[27]。

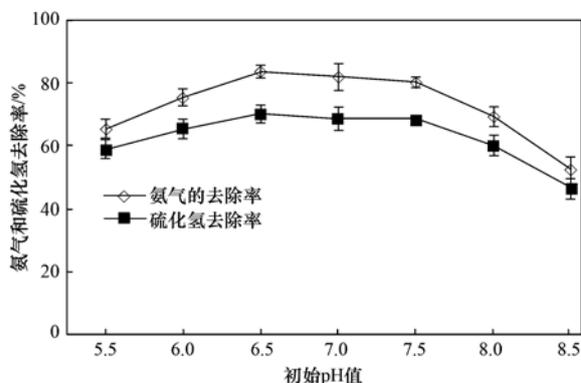


图 6 初始 pH 对微生物除臭剂去除 NH_3 和 H_2S 的影响

Fig. 6 Effects of initial pH on NH_3 and H_2S removal of microbial deodorize

3 结论

(1) 从台州市椒江区垃圾填埋场的垃圾渗滤液分离获得 4 株能够高效降解 NH_3 和 H_2S 的优势菌株,对其进行生理生化和分子鉴定,菌株 CC3 为乳酸片球菌 (*Pediococcus acidilactici*)、菌株 CC7 为巨大芽孢杆菌 (*Bacillus megaterium*)、菌株 CC13 为嗜酸乳杆菌 (*Lactobacillus acidophilus*) 和菌株 CC17 为粪产碱杆菌 (*Alcaligenes faecalis*)。

(2) 4 株菌株相互之间没有拮抗,菌株 CC7 + CC13 + CC16 的组合对 NH_3 和 H_2S 的去除率效果显著,三者配制比例为 1:1.5:0.5,对 NH_3 和 H_2S 的去除率为最大值,可到达 83.56% 和 70.25%。

(3) 对微生物除臭剂除臭效果条件研究表明,微生物除臭剂降解 NH_3 和 H_2S 的最佳环境条件:除臭时间为 60 h,除臭温度为 30℃,初始 pH 值为 6.5,菌剂使用量为 5%。

参考文献:

[1] 张春玲,刘春阳,赵丽杰.恶臭污染物的产生及处理研究进

- 展[J]. 北方环境, 2013, **29**(4): 49-50.
- [2] 羌宁, 王红玉, 赵爱华, 等. 生活垃圾填埋场作业面恶臭散发率研究[J]. 环境科学, 2014, **35**(2): 513-519.
- [3] 闫志英, 许力山, 李志东, 等. 畜禽粪便恶臭控制研究及应用进展[J]. 应用与环境生物学报, 2014, **20**(2): 322-327.
- [4] 刘舒乐, 王伯光, 何洁, 等. 城市污水处理厂恶臭挥发性有机物的感官定量评价研究[J]. 环境科学, 2012, **32**(12): 3582-3587.
- [5] 简保权, 朱舒平, 邓昌彦, 等. 猪粪堆肥过程中 NH_3 和 H_2S 的释放及除臭微生物的筛选研究[J]. 农业工程学报, 2006, **22**(14): 183-186.
- [6] 陈丽园, 吴东, 夏伦志, 等. 畜禽粪便除臭微生物的分离与筛选[J]. 畜牧与兽医, 2009, **40**(12): 59-61.
- [7] 王同健, 田秀华, 王琳. 恶臭监测嗅觉测试方法的比较分析[J]. 中国环境监测, 2013, **29**(5): 169-173.
- [8] 刘春梅, 徐凤花, 曹艳花, 等. 除臭菌株对 NH_3 和 H_2S 释放及物质转化的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, **30**(3): 585-590.
- [9] 东秀珠, 蔡妙英. 常见细菌系统鉴定手册[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 256-282.
- [10] 李珊珊, 郭晓军, 张爱民, 等. 发酵床除臭微生物的筛选与 Z-22 菌株的鉴定[J]. 河北农业大学学报, 2012, **35**(4): 65-69.
- [11] 冯伟, 周晓芬, 杨军芳, 等. 鸡粪高效除臭菌的组合筛选研究[J]. 河北农业科学, 2009, **13**(10): 86-88.
- [12] 张邑帆, 卢茵, 黄微, 等. 发酵床垫料复合菌剂优化组合的研究[J]. 现代畜牧兽医, 2012, (2): 51-54.
- [13] 陈晓英, 鲍建国, 刘双. 微生物菌剂对油脂废水除臭的工艺条件试验研究[J]. 环境科学与技术, 2007, **30**(4): 32-33.
- [14] 伍永钢, 任洪强, 丁丽丽. 新型聚乙烯填料生物滴滤床净化硫化氢气体运行特性[J]. 环境科学, 2010, **31**(7): 1451-1456.
- [15] 付美云. 垃圾渗滤液的环境污染特征及其研究进展[J]. 南华大学学报(自然科学版), 2009, **23**(2): 90-96.
- [16] 陈杰, 王倩楠, 叶志平, 等. 低温等离子体结合吹脱法去除垃圾渗滤液恶臭[J]. 化工学报, 2012, **63**(11): 3660-3665.
- [17] 赵晓锋, 于文清, 田艳洪, 等. 鸡粪除氨菌株的分离, 筛选与菌剂配制[J]. 黑龙江农业科学, 2012, (6): 85-87.
- [18] 刘平, 陈芳艳, 谢永福, 等. 一株脱氨除臭菌的筛选鉴定及其脱氨性能研究[J]. 中国畜牧兽医, 2013, **40**(5): 40-43.
- [19] 邱艳君, 龙炳清, 闫志英, 等. 两株乳酸菌的分离及其除臭性能[J]. 应用与环境生物学报, 2013, **19**(3): 511-514.
- [20] 崔玉雪, 郭广寨, 黄皇, 等. 用于填埋场恶臭气体控制的微生物除臭剂筛选及其除臭机制研究[J]. 环境污染与防治, 2014, **36**(1): 60-63.
- [21] 袁盈波, 潘志崇, 张德民. 一株光合细菌的分离及其硫化物的处理效果[J]. 宁波大学学报(理工版), 2010, **23**(2): 1-5.
- [22] 黄仁术, 宗飞. 几种除臭微生物的高效组合筛选[J]. 湖北农业科学, 2011, **50**(14): 2844-2846.
- [23] 许丽娟, 王震, 陈薇, 等. 除臭菌 JZ-6 的鉴定及其降氨条件[J]. 贵州农业科学, 2013, **41**(1): 128-130.
- [24] 唐微微, 张姝, 李树伟, 等. 两株酵母菌的筛选及其除臭性能[J]. 安全与环境学报, 2013, **13**(2): 26-30.
- [25] 梁美生, 苏娟. 脱除养殖臭气中 H_2S 菌种的筛选及性能测定[J]. 中国矿业大学学报, 2012, **41**(5): 844-849.
- [26] 陆文龙, 崔广明, 陈浩泉, 等. 微生物除臭剂对污泥和生活垃圾臭气抑制效果的中试研究[J]. 环境卫生工程, 2012, **20**(2): 23-25.
- [27] 高红梅, 吴东, 刘朝良. 除臭微生物 7NC 培养基和培养条件的优化[J]. 家畜生态学报, 2011, **32**(1): 54-57.

CONTENTS

Ozone Source Apportionment at Urban Area during a Typical Photochemical Pollution Episode in the Summer of 2013 in the Yangtze River Delta	LI Hao, LI Li, HUANG Cheng, <i>et al.</i>	(1)
Pollution Characteristics and Ozone Formation Potential of Ambient VOCs in Winter and Spring in Xiamen	XU Hui, ZHANG Han, XING Zhen-yu, <i>et al.</i>	(11)
Temporal and Spatial Characteristics of Atmospheric NO ₂ over Hainan Island and the Pollutant Sources in Recent 10 Years	FU Chuan-bo, CHEN You-long, DAN Li, <i>et al.</i>	(18)
Composition of Organic Carbon/Elemental Carbon and Water-soluble Ions in Rice Straw Burning	HONG Lei, LIU Gang, YANG Meng, <i>et al.</i>	(25)
Gas Chromatography with a Pulsed Discharge Helium Ionization Detector for Measurement of Molecular Hydrogen(H ₂) in the Atmosphere	LUAN Tian, FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i>	(34)
Partial Pressure of CO ₂ and CO ₂ Degassing Fluxes of Huayankou and Xiaolangdi Station Affected by Xiaolangdi Reservoir	ZHANG Yong-ling, YANG Xiao-lin, ZHANG Dong	(40)
Distribution of Biogenic Organic Dimethylated Sulfur Compounds and Its Influencing Factors in the East China Sea in Summer	LI Jiang-ping, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng	(49)
Remote Sensing Estimation of Total Suspended Matter Concentration in Xin'anjiang Reservoir Using Landsat 8 Data	ZHANG Yi-bo, ZHANG Yun-lin, ZHA Yong, <i>et al.</i>	(56)
Spatio-temporal Characteristics and Source Identification of Water Pollutants in Wenritang River Watershed	MA Xiao-xue, WANG La-chun, LIAO Ling-ling	(64)
Effect of Hydrochemistry Characteristics Under Impact of Human Activity: A Case Study in the upper Reaches of the Xijiang River Basin	YU Shi, SUN Ping-an, DU Wen-yue, <i>et al.</i>	(72)
Annual Variation of Different Phosphorus Forms and Response of Algae Growth in Meiliang Bay of Taihu Lake	WANG Ming, WU Xiao-fei, LI Da-peng, <i>et al.</i>	(80)
Distribution of Transferable Nitrogen in Poyang Lake Sediments and Its Response to the Variation of River-Lake Relationship	SHEN Hong-yan, ZHANG Mian-mian, NI Zhao-kui, <i>et al.</i>	(87)
Effect of Environmental Factors on Macroinvertebrate Community Structure in the Huntai River Basin in the Huntai River Basin	LI Yan-li, LI Yan-fen, XU Zong-xue	(94)
Effects of Outbreak and Extinction of Algal Blooms on the Microbial Community Structure in Sediments of Chaohu Lake	DIAO Xiao-jun, LI Yi-wei, WANG Shu-guang	(107)
Impacts of Algal Blooms Accumulation on Physiological Ecology of Water Hyacinth	WU Ting-ting, LIU Guo-feng, HAN Shi-qun, <i>et al.</i>	(114)
Speciation and Spatial-temporal Variation of Mercury in the Xiaolangdi Reservoir	CHENG Liu, MAO Yu-xiang, MA Bing-juan, <i>et al.</i>	(121)
Spatial Distribution of Mercury in Soils of a Typical Small Agricultural Watershed in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Ya, ZHAO Zheng, MU Zhi-jian, <i>et al.</i>	(130)
Temporal and Spatial Variation of Mercury in Water of Agro-forestry and Livestock Compound Watershed in the Three Gorges Reservoir Area	ZHAO Zheng, WANG Ya, MU Zhi-jian, <i>et al.</i>	(136)
Effect of External Condition on the Static Migration and Release of Dibutyl-phthalate in the Soil of the Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir to the Overlying Water	SONG Jiao-yan, MU Zhi-jian, WANG Qiang, <i>et al.</i>	(143)
Ultraviolet-Visible(UV-Vis) and Fluorescence Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter(DOM) in Soils of Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Region	GAO Jie, JIANG Tao, LI Lu-lu, <i>et al.</i>	(151)
Characterization of Chromophoric Dissolved Organic Matter(CDOM) in Zhoushan Fishery Using Excitation-Emission Matrix Spectroscopy(EEMs) and Parallel Factor Analysis(PARAFAC)	ZHOU Qian-qian, SU Rong-guo, BAI Ying, <i>et al.</i>	(163)
Pollution Characteristics and Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Organochlorine Pesticides in Groundwater at Xiaodian Sewage Irrigation Area, Taiyuan City	LI Jia-le, ZHANG Cai-xiang, WANG Yan-xin, <i>et al.</i>	(172)
Risk Assessment and Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Surface Sediments of Xinglin Bay Suburb Rivers of Xiamen	CHENG Qi-ming, HUANG Qing, LIAO Zhen-ni, <i>et al.</i>	(179)
Comparative Analysis of Two Different Methods for Risk Assessment of Groundwater Pollution: A Case Study in Beijing Plain	WANG Hong-na, HE Jiang-tao, MA Wen-jie, <i>et al.</i>	(186)
Transportation and Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Water-Soil from the Riparian Zone of Daye Lake, China	ZHANG Jia-quan, LI Xiu, ZHANG Quan-fa, <i>et al.</i>	(194)
Arsenic Removal by Coagulation Process and the Field Expanding Experiments for Yangzonghai Lake	CHEN Jing, ZHANG Shu, YANG Xiang-jun, <i>et al.</i>	(202)
Efficient Oxidative Degradation of Tetrabromobisphenol A by Silver Bismuth Oxide	CHEN Man-tang, SONG Zhou, WANG Nan, <i>et al.</i>	(209)
Removal of Tetracycline by a Kind of Nano-Sized Amorphous Carbon	WU Yi-xiao, LI Ai-min, WANG Di-hua, <i>et al.</i>	(215)
Adsorption Behavior of Anionic Dyes onto Magnetic Chitosan Derivatives	ZHANG Cong-lu, HU Xiao-min, ZHAO Yan, <i>et al.</i>	(221)
Forming Mechanism of Humic Acid-Kaolin Complexes and the Adsorption of Trichloroethylene	ZHU Xiao-jing, HE Jiang-tao, SU Si-hui	(227)
Impact on the Microbial Community of Municipal Sewage in the ANAMMOX System During the Cooling Process	ZHAO Zhi-rui, MIAO Zhi-jia, LI Duo, <i>et al.</i>	(237)
Application of FISH-NanoSIMS Technique in Environmental Microbial Ecology Study	CHEN Chen, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i>	(244)
Influence of Microcystin-LR on Cell Viability and Surface Characteristics of <i>Pseudomonas putida</i>	DENG Ting-jin, YE Jin-shao, PENG Hui, <i>et al.</i>	(252)
Screening, Combination of Microbial Deodorizer and the Optimization of Its Deodorizing Conditions	ZENG Su, LI Nan-hua, SHENG Hong-chan, <i>et al.</i>	(259)
Distribution and Enrichment Characteristics of Organochlorine Pesticides in Water and Halobios from Qingbang Island in Zhoushan, China	ZHANG Ze-zhou, XING Xin-li, GU Yan-sheng, <i>et al.</i>	(266)
Levels of Polychlorinated Biphenyls in Tibetan and Yi Adolescents' Hair from Liangshan Prefecture, Sichuan Province	ZHOU Ying, SUN Yi-ming, JIN Jun, <i>et al.</i>	(274)
Effects of Single and Co-Exposure of Cu and Chlorpyrifos on the Toxicity of Earthworm	XU Dong-mei, WANG Yan-hua, WANG Nan, <i>et al.</i>	(280)
Effect of Exogenous Selenium on Accumulation and Chemical Forms of Cadmium in Cucumber(<i>Cucumis sativus</i> L.)	XIONG Shi-juan, LIU Jun, XU Wei-hong, <i>et al.</i>	(286)
Pollution Characteristics of Platinum Group Elements in Road Rust in Xiamen	HONG Zhen-yu, HONG You-wei, YIN Li-qian, <i>et al.</i>	(295)
Spatial Distribution of Se in Soils from Different Land Use Types and Its Influencing Factors Within the Yanghe Watershed, China	SHANG Jing-min, LUO Wei, WU Guang-hong, <i>et al.</i>	(301)
Immobilization Impact of Different Fixatives on Heavy Metals Contaminated Soil	WU Lie-shan, ZENG Dong-mei, MO Xiao-rong, <i>et al.</i>	(309)
Form Tendency and Bio-availability Dynamics of Cu and Zn in Different Farm Soils After Application of Organic Fertilizer of Livestock and Poultry Manures	SHANG He-ping, LI Yang, ZHANG Tao, <i>et al.</i>	(314)
Analysis of Composition Characteristics of Municipal Solid Waste in South China	ZHANG Hai-long, LI Xiang-ping, QI Jian-ying, <i>et al.</i>	(325)
Sewage Sludge Conditioning by Bioleaching Combined with Fenton-like Oxidation	LIU Chang-geng, ZHANG Pan-yue, JIANG Jiao-jiao, <i>et al.</i>	(333)
Applicability of Bisphenol A Detection by a Planar Waveguide Fluorescent Biosensor	XU Wei-qi, ZHANG Yong-ming, ZHOU Xiao-hong, <i>et al.</i>	(338)
A New "Turn-on" Fluorescent Probe for Visual Detection of Hydrogen Sulfide	LIU Chun-xia, MA Xing, WEI Guo-hua, <i>et al.</i>	(343)
Analysis of Sap Flow Characteristics of the Chinese Pine in Typical Loess Plateau Region of China	ZHANG Han-dan, WEI Wei, CHEN Li-ding, <i>et al.</i>	(349)
Simultaneous Production of Hydrogen and Volatile Fatty Acid from <i>Macrocystis pyrifera</i>	ZHAO Xiao-xian, FAN Xiao-lei, GUO Rong-bo, <i>et al.</i>	(357)
Behaviors of Engineered Nanoparticles in Aquatic Environments and Impacts on Marine Phytoplankton	LI Man-lu, JIANG Yue-lu	(365)

《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)

2015年1月15日 第36卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 1 Jan. 15, 2015

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. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. 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