

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第2期

Vol.34 No.2

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

16 届亚运会期间广州城区 PM_{2.5} 化学组分特征及其对霾天气的影响 陶俊, 柴发合, 高健, 曹军骥, 刘随心, 张仁健 (409)

北京地区秋季雾霾天 PM_{2.5} 污染与气溶胶光学特征分析 赵秀娟, 蒲维维, 孟伟, 马志强, 董璠, 何迪 (416)

上海市秋季大气 VOCs 对二次有机气溶胶的生成贡献及来源研究 王倩, 陈长虹, 王红丽, 周敏, 楼晟荣, 乔利平, 黄成, 李莉, 苏雷燕, 牟莹莹, 陈宜然, 陈明华 (424)

杭州市大气超细颗粒物浓度谱季节性特征 谢小芳, 孙在, 付志民, 杨文俊, 林建忠 (434)

保定市大气气溶胶中正构烷烃的污染水平及来源识别 李杏茹, 杜熙强, 王英锋, 王跃思 (441)

春节期间西安城区碳气溶胶污染特征研究 周变红, 张承中, 王格慧 (448)

华东区域高山背景点 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 背景值及污染特征 苏彬彬, 刘心东, 陶俊 (455)

基于电子鼻土壤与地下水污染修复现场 TVOC 和恶臭的评估 田秀英, 蔡强, 刘锐, 张永明 (462)

积融雪控制下土壤大气间汞交换通量特征 张刚, 王宁, 艾建超, 张蕾, 杨净, 刘子琪 (468)

靖海湾重金属污染及铅稳定同位素溯源研究 徐林波, 高勤峰, 董双林, 刘佳, 傅秀娟 (476)

正构烷烃及单体碳同位素记录的石臼湖生态环境演变研究 欧杰, 王延华, 杨浩, 胡建芳, 陈霞, 邹军, 谢云 (484)

干旱区城市昌吉降雪及积雪中 PGEs 含量分布及其影响因素 刘玉燕, 刘浩峰, 张兰 (494)

降尘收集方法对降尘效率的影响 张正德, 董治宝 (499)

海河流域水生生态功能一级二级分区 孙然好, 汲玉河, 尚林源, 张海萍, 陈利顶 (509)

长江中下游浅水湖泊水下辐照度漫射衰减特征研究 时志强, 张运林, 王明珠, 刘笑茵 (517)

内陆水体叶绿素反演模型普适性及其影响因素研究 黄昌春, 李云梅, 徐良将, 杨浩, 吕恒, 陈霞, 王延华 (525)

溶氧对富集培养的河口湿地表层沉积物氨氧化菌多样性及氨氧化速率的影响 邱昭政, 罗专溪, 赵艳玲, 颜昌宙 (532)

自然条件下盐城海滨湿地土壤水分/盐度空间分异及其与植被关系研究 张华兵, 刘红玉, 李玉凤, 安静, 薛星宇, 侯明行 (540)

淮河流域农业非点源污染空间特征解析及分类控制 周亮, 徐建刚, 孙东琪, 倪天华 (547)

高岚河不同降雨径流类型磷素输出特征 崔玉洁, 刘德富, 宋林旭, 陈玲, 肖尚斌, 向坤, 张涛 (555)

城市雨水径流水质演变过程监测与分析 董雯, 李怀恩, 李家科 (561)

复合人工湿地系统强化处理单元的运行特性与效果 任峰, 陆忆夏, 刘琴, 汤杨杨, 王世和, 高海鹰, 乔杰, 王为进 (570)

给水管网中耐氯分枝杆菌的灭活特性及机制研究 郑琦, 陈超, 张晓健, 陆品品, 刘源源, 陈雨乔 (576)

1 株溶藻菌的部分生物学特性及溶鱼腥藻作用 李三华, 张奇亚 (583)

水生植物热解生物油对中肋骨条藻抗氧化酶活性的影响 姚远, 李锋民, 李媛媛, 单时, 李杰, 王震宇 (589)

TiO₂ 光催化联合技术降解苯酚机制及动力学 张轶, 黄若男, 王晓敏, 王齐, 丛燕青 (596)

皮革废水有机污染物生物降解特性研究 王勇, 李伟光, 杨力, 宿程远 (604)

链霉菌 FX645 对偶氮染料红 AR30 的降解机制研究 谢练武, 方继生, 郭亚平 (611)

一种负载型生物载体的制备及性能研究 杨基先, 曾红云, 周义, 邱珊, 马放, 王蕾, 肖大伟 (616)

基于污泥资源化利用的蛋白核小球藻 (*Chlorella pyrenoidosa*) 培养研究 嵇雯雯, 夏会龙, 方治国, 刘惠君 (622)

温和热处理对低有机质污泥厌氧消化性能的影响 陈汉龙, 严媛媛, 何群彪, 戴晓虎, 周琪 (629)

天然和水热合成针铁矿对有机物厌氧分解释放 CH₄ 的影响 姚敦璠, 陈天虎, 王进, 周飞跃, 岳正波 (635)

蚀刻废液及其回收后生产的铜盐产品中 PCDD/Fs 含量水平及分布特征 青宪, 韩静磊, 温炎桑 (642)

基于特定场地污染概念模型的健康风险评估案例研究 钟茂生, 姜林, 姚珏君, 夏天翔, 朱笑盈, 韩丹, 张丽娜 (647)

区域地下水污染风险评价方法研究 杨彦, 于云江, 王宗庆, 李定龙, 孙宏伟 (653)

地下水有机污染源识别技术体系研究与示范 王晓红, 魏加华, 成志能, 刘培斌, 纪轶群, 张干 (662)

祁连山不同海拔土壤有机碳库及分解特征研究 朱凌宇, 潘剑群, 张威 (668)

黑土有机碳、氮及其活性对长期施肥的响应 骆坤, 胡荣桂, 张文菊, 周宝库, 徐明岗, 张敬业, 夏平平 (676)

根茬连续还田对镉污染农田土壤中镉赋存形态和生物有效性的影响 张晶, 于玲玲, 辛木贞, 苏德纯 (685)

长期施肥措施下稻田土壤有机质稳定性研究 罗璐, 周萍, 童成立, 石辉, 吴金水, 黄铁平 (692)

外源 Cr(III) 在我国 22 种典型土壤中的老化特征及关键影响因子研究 郑顺安, 郑向群, 李晓辰, 刘书田, 姚秀荣 (698)

某林丹生产企业搬迁遗留场地土壤中六六六的残留特征 潘峰, 王利利, 赵浩, 尤奇中, 刘林 (705)

大型炼锌厂周边土壤及蔬菜的汞污染评价及来源分析 刘芳, 王书肖, 吴清茹, 林海 (712)

天津成人头发指甲中有机氟污染物的残留特征 姚丹, 张鸿, 柴之芳, 沈金灿, 杨波, 王艳萍, 刘国卿 (718)

沉积物中雌激素及壬基酚、辛基酚、双酚 A 的测定 吴唯, 史江红, 陈庆彩, 张晖, 刘晓薇 (724)

动物饲料中砷、铜和锌调查及分析 姚丽贤, 黄连喜, 蒋宗勇, 何兆桓, 周昌敏, 李国良 (732)

氟虫双酰胺在水稻和稻田中的残留动态研究 王点点, 宋宁慧, 吴文铸, 由宗政, 何健, 石利利 (740)

2 株降解菲的植物内生细菌筛选及其降解特性 倪雪, 刘娟, 高彦征, 朱雪竹, 孙凯 (746)

嗜盐拟香味菌 Y6 降解硝基苯的特性研究 厉阆, 钱坤, 肖伟, 王进军, 邓新平 (753)

固定化条件对苯系物细胞传感器检测效果的影响 唐阔, 马安周, 于清, 邓雪梅, 吕迪, 庄国强 (760)

16S rDNA 克隆文库分析高含盐生物脱硫系统细菌多样性 刘卫国, 梁存珍, 杨金生, 王桂萍, 刘苗杰 (767)

氨氮浓度对 CANON 工艺功能微生物丰度和群落结构的影响 刘涛, 李冬, 曾辉平, 畅晓燕, 张杰 (773)

筒青霉 (*Penicillium simplicissimum*) 对木质纤维素的降解及相关酶活性特征 沈莹, 胡天觉, 曾光明, 黄丹莲, 尹璐, 刘杨, 吴娟娟, 刘晖 (781)

石油污染土壤微生物群落结构与分布特性研究 杨萌青, 李立明, 李川, 李广贺 (789)

土霉素在鸡粪好氧堆肥过程中的降解及其对相关参数的影响 王桂珍, 李兆君, 张树清, 马晓彤, 梁永超 (795)

生活垃圾填埋过程含水率变化研究 李睿, 刘建国, 薛玉伟, 张媛媛, 岳东北, 聂永丰 (804)

动物消化机制用于木质纤维素的厌氧消化 吴昊, 张盼月, 郭建斌, 吴永杰 (810)

《环境科学》征订启事(447) 《环境科学》征稿简则(493) 信息(508,588,610,731) 专辑征稿通知(788)

1 株溶藻菌的部分生物学特性及溶鱼腥藻作用

李三华, 张奇亚*

(中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072)

摘要: 从淡水湖泊(武汉东湖)水样中成功筛选出 1 株具有溶藻特性的细菌, 编号为 A01. 显微镜和电镜观察结果表明, 菌株 A01 形态为杆状, 长约 1.5 μm , 宽约 0.45 μm , 无鞭毛结构. 革兰氏染色及 16S rDNA 的分子鉴定结果表明, 该菌呈革兰氏阴性, 属于不动杆菌属(*Acinetobacter* sp.). 溶藻实验结果表明, 菌株 A01 能有效溶解鱼腥藻(*Anabaena eucompacta*), 向对数生长的鱼腥藻液中加入 A01 培养上清或菌体、并培养 7 d 后, 鱼腥藻培养液的叶绿素 a 去除率分别为 77% 和 61%. 显微观察结果表明, 与菌株 A01 的培养上清共培养 3 d 后的鱼腥藻细胞几乎都被破坏, 而与菌体共孵育 5 d 后的鱼腥藻细胞才有明显裂解. 这些结果表明, 不动杆菌菌株 A01 的溶藻作用主要与其培养上清中的有效成分有关, 不动杆菌菌株 A01 可分泌能有效溶解鱼腥藻的活性物质.

关键词: 淡水环境; 溶藻菌; 水华; 鱼腥藻; 16S rDNA

中图分类号: X172; X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)02-0583-06

Partial Biological Characteristics and Algicidal Activity of an Algicidal Bacterium

LI San-hua, ZHANG Qi-ya

(State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

Abstract: An algicidal bacterium was isolated from freshwater (Lake Donghu in Wuhan) and coded as A01. The morphology of the algicidal bacterium was observed using optical microscope and electron microscopes, the results showed that A01 was rod-shaped, approximately 1.5 μm in length and 0.45 μm in width and with no flagella structure. A01 was Gram-negative and belongs to the family *Acinetobacter* sp. though identification by Gram's staining and 16S rDNA gene analysis. A01 exhibited strong algicidal activity on the bloom-forming cyanobacterium *Anabaena eucompacta* under laboratory conditions. The removal rate of chlorophyll a after 7-day incubation with the culture supernatant of A01 and thalli were 77% and 61%, respectively. Microscopic observation showed that almost all cyanobacterial cells were destroyed within 3 d of co-incubation with the supernatant of algicidal bacterium, but a mass of the cyanobacterial cell lysis was observed only after 5 d of co-incubation with the thalli of algicidal bacterium. These results indicated that the main algicidal component of A01 was in its culture supernatant. In other words, the strain A01 could secrete algicidal component against *Anabaena eucompacta*.

Key words: freshwater environment; algicidal bacterium; bloom; *Anabaena*; 16S rDNA

在水环境中, 细菌和微藻是丰度很大、分布极广的生物. 溶藻菌 (algicidal bacteria) 指可抑制藻类生长, 或能杀、溶藻细胞的各种细菌群, 它们在裂解水华蓝藻、调控有害蓝藻生物量及调节水生态系统与初级生产力水平等方面发挥着重要作用^[1~7]. 因此, 从不同水环境中分离鉴定高效溶藻菌受到越来越多的关注^[8~13]. 现已知的溶藻菌主要来自噬胞菌属 *Cytophaga*、假交替单胞菌属 *Pseudoalteromonas*、交替单胞菌属 *Alteromonas*、腐螺旋菌属 *Saprospira* 等家族成员^[6].

鱼腥藻是淡水环境中仅次于微囊藻的常见水华蓝藻优势种. 鱼腥藻能产生毒素, 同时会散发土霉味和鱼腥味, 影响人畜饮水安全, 威胁人类健康和水产养殖等^[14~16].

溶藻菌作用方式主要有两种: 其一是通过菌体与藻接触, 导致藻细胞溶解, 称为直接溶藻; 另一种是不需菌体与藻细胞直接接触, 而是通过细菌分泌的胞外溶藻物质导致藻细胞溶解, 称为间接溶藻. 对溶藻菌的溶藻类型及溶藻有效成分进行鉴定, 可为筛选高效溶藻菌提供重要参考^[17~19]. 本研究从淡水湖泊、我国最大的城中湖——武汉东湖中采集水样, 进行溶解鱼腥藻的溶藻菌分离, 并试图确定所分离溶菌的溶藻方式、溶藻效率及主要溶藻成分.

收稿日期: 2012-04-13; 修订日期: 2012-07-12

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项 (KSCX2-EW-Z-3); 国家自然科学基金项目 (31072239); 淡水生态与生物技术国家重点实验室课题项目 (2011FBZ12)

作者简介: 李三华 (1987~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为水生病毒及分子生物学, E-mail: lisanhua1987@163.com

* 通讯联系人, E-mail: zhangqy@ihb.ac.cn

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 藻株及培养条件

实验所用藻株真紧密鱼腥藻 (*Anabaena eucompacta*) FACHB1246 来自中国科学院水生生物研究所藻种库, 利用三角瓶在 25℃ 条件下采用 BG11 培养基培养, 光照条件 14 h 光照: 10 h 黑暗 [光强 35 $\mu\text{E}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$].

1.1.2 培养基

溶藻菌的分离采用牛肉膏蛋白胨培养基, 固体培养基加入 1.5% (质量分数) 的琼脂糖, 用于溶藻菌的分离.

1.2 实验方法

1.2.1 溶藻菌的分离

从武汉东湖蓝藻丰富的水域取样, 经 0.8 μm 醋酸纤维滤膜过滤, 除去水样中的杂质和浮游生物; 将对数生长的鱼腥藻接种于 24 孔板, 然后在无菌条件下将水样滤液按 1:5 的比例加入到鱼腥藻培养物中; 对照孔加同样体积的灭菌水, 混合均匀后, 于 25℃ 条件下光照培养一周. 将颜色变黄的藻液作为分离溶藻菌的待选样, 经系列稀释后涂布于固体牛肉膏蛋白胨培养基上, 于 37℃ 培养过夜, 挑起单个克隆进行划线纯化, 最终获得单个克隆. 然后将单个克隆接种于液体 LB 培养基扩大培养, 培养 48 h 后再加入呈对数生长的鱼腥藻液中, 能连续多次稳定使藻细胞裂解或致死的培养物就被认为是溶藻菌, 编号为 A01.

1.2.2 溶藻菌的生长曲线测定

将 1 mL 培养 8 h 的溶藻菌接种至 100 mL 液体牛肉膏蛋白胨培养基中, 于 37℃ 振荡培养 (225 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$), 每隔 2 h 取样测定 D_{600} 值, 以时间为横坐标, D_{600} 值为纵坐标, 绘制溶藻菌的生长曲线.

1.2.3 溶藻菌的鉴定

通过结晶紫初染和碘液媒染后, 经乙醇或丙酮脱色处理, 然后在油镜下观察细菌颜色. 采用引物 16S F-5'AGAGTTTGATCMTGGCTCAG 3'和 16S R-5'TACGGTTACCTTGTTACGACTT 3'进行 16S rDNA 的 PCR 扩增; 利用酚-氯仿法抽提溶藻菌的基因组 DNA, 并以其作为模板. PCR 反应体系: DNA 模板 1.0 μL , 10 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ dNTPs 0.5 μL , 10 \times buffer (含 Mg^{2+}) 2.5 μL , *Taq* DNA 聚合酶 (贝博生物科技) 1.0 μL , 引物 27F/1492R 各 0.5 μL , 灭菌双蒸水 19 μL ; PCR 反应程序: 94℃ 预变性 4 min; 94℃ 变性

30 s; 52℃ 退火 30 s; 72℃ 延伸 1 min 30 s; 30 个循环, 最后延伸 10 min. 电泳检测后, 回收连接 T 载体, 挑取阳性克隆送往上海生工生物工程公司测序. 测序结果到 GenBank 进行 Blast 比对. 并利用软件 MEGA 4 与其他已知 31 株溶藻菌的 16S rDNA 进行序列比对分析.

1.2.4 溶藻菌的溶藻特性分析

取 15 mL 已培养 24 h 的溶藻菌 A01 悬液, 在室温条件下 4 000 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 5 min. 取上清经 0.22 μm 滤器过滤, 除去菌体细胞; 而菌体用 15 mL 新鲜牛肉膏蛋白胨培养基重悬; 然后分别加入至对数生长的鱼腥藻 ($2 \times 10^6 \text{ cell}\cdot\text{mL}^{-1}$) 中, 对照加相同体积的新鲜的牛肉膏蛋白胨培养基, 每组设 3 个平行. 然后每天取藻液, 用热乙醇法提取其叶绿素 a, 测定其 D_{665} 、 D_{645} 、 D_{630} 、 D_{750} 值, 按照公式计算叶绿素浓度以指示蓝藻生长情况.

$$\text{叶绿素 a (mg}\cdot\text{L}^{-1}) = [11.64 \times (D_{665} - D_{750}) - 2.16 \times (D_{645} - D_{750}) + 0.10 \times (D_{630} - D_{750})] \times V_1/V \cdot \delta$$

式中, V_1 为萃取后乙醇的体积 (mL), V 为所取藻液体积 (mL), δ 为比色皿光程 (cm)^[20]. 叶绿素 a 的去除率 R 定义为:

$$R = 1 - c/c_0$$

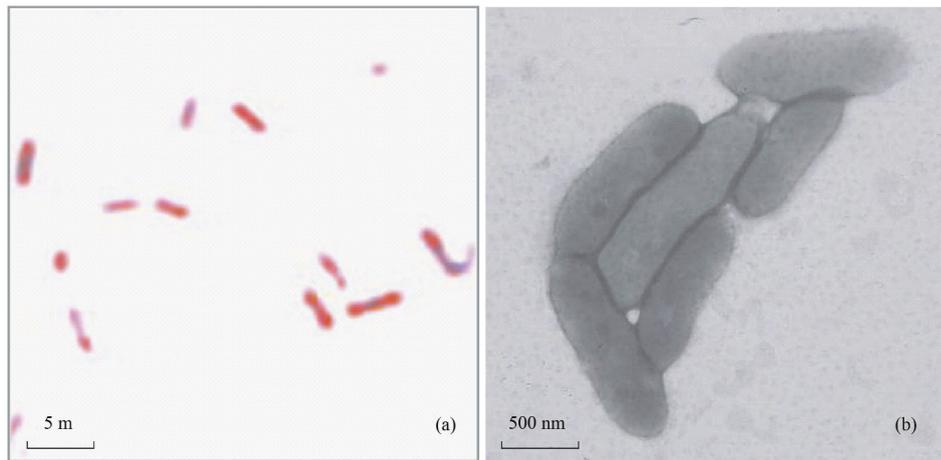
式中, c 为溶藻菌处理后的叶绿素 a 质量浓度, c_0 为对照样品中叶绿素 a 质量浓度, 所得数据采用 Excel 软件进行统计分析. 同时每天在显微镜下观察鱼腥藻细胞变化情况.

2 结果与讨论

2.1 溶藻菌 A01 的鉴定

本研究从淡水湖泊武汉东湖水样中分离到 1 株溶藻菌, 将其称为 A01. 该菌落呈圆形、浅黄色、表面光滑不透明、边缘整齐. 革兰氏染色呈红色 [图 1 (a)], 表明 A01 为革兰氏阴性菌. 电镜观察显示 A01 呈长直径约 1.5 μm , 短直径约 0.45 μm 的杆状, 无鞭毛结构 [图 1 (b)].

采用引物 16S F/16S R 进行 PCR 扩增 16S rDNA, 获得 A01 菌株长度约为 1.5 kb 的片段 (如图 2). 该核酸片段经测序后在 NCBI 进行同源比对, A01 菌株与多株不动杆菌 (*Acinetobacter*) 的 16S rDNA 序列的相似性在 99% 以上, 表明菌株 A01 属于不动杆菌属 (*Acinetobacter* sp.). 与已知其它溶藻菌 16S rDNA 序列作进化分析, 显示 A01 与溶藻菌中的 *Gamma Proteobacterium* EHK-1 及

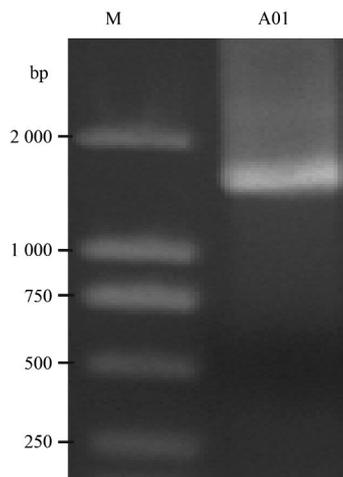


(a) A01 为革兰氏阴性 (呈红色); (b) A01 的电镜图片 (直径约为 1.5 μm , 宽约为 0.45 μm)

图 1 溶藻菌 A01 的革兰氏染色及电镜图

Fig. 1 Gram staining and electron microscopy images of algal bacterium A01

Pseudomonas putida 进化关系较近 (图 3) [13,21].



M: DNA 相对分子质量标准;

A01: 菌株 A01 的 16S rDNA PCR 扩增片段

图 2 A01 的 16S rDNA PCR 扩增产物电泳图

Fig. 2 PCR amplification of A01 16S rDNA

据报道溶藻菌主要来自腐败螺旋菌、假单胞菌属、蜡状芽孢杆菌及短小芽孢杆菌、黄杆菌属、金黄杆菌属 [22~26] 等, 尚未见有不动杆菌属的相关报道. 本研究从淡水湖泊武汉东湖中新分离到 1 株具有溶藻特性的不动杆菌 A01. 这提示人们: 水体中种类繁多、丰度较高的各类溶藻菌可能与水华的消长关系密切. 因此分离溶藻菌, 并深入研究它们的溶藻机制可为生物控藻提供新的途径.

2.2 溶藻菌 A01 生长曲线测定

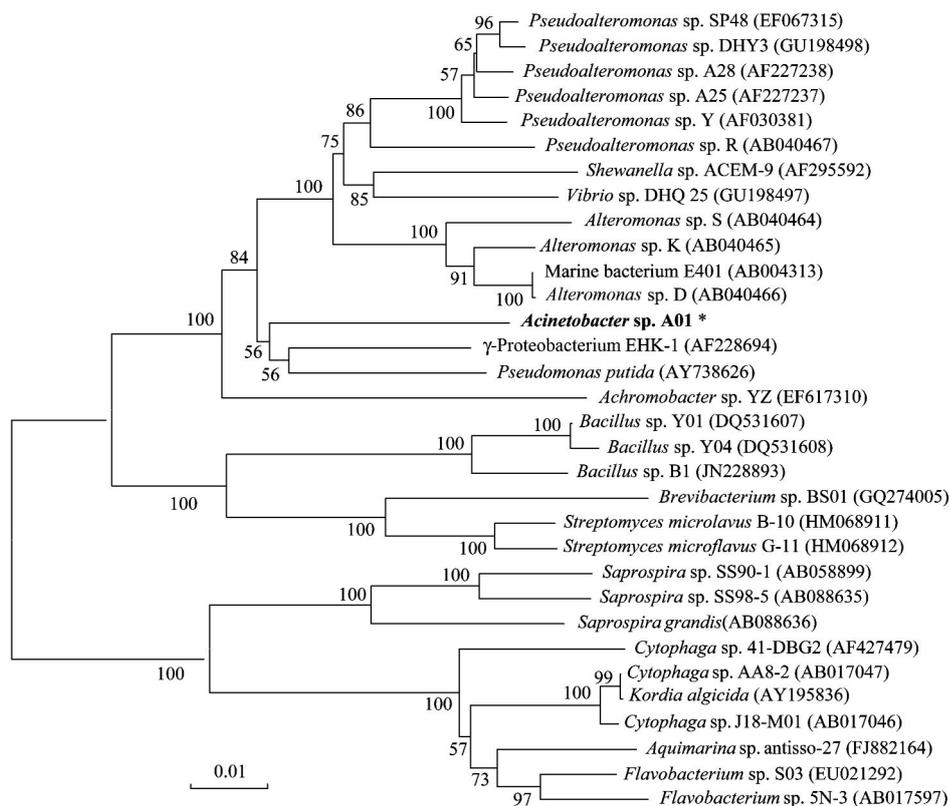
图 4 是 A01 菌的生长曲线, 2 h 前为延缓期, 2 h 以后进入对数生长期, 24 h 达到稳定期.

2.3 溶藻菌 A01 的溶藻特性

通过测定叶绿素 a 含量变化可知, A01 菌液的培养上清在作用鱼腥藻 1 d 后, 叶绿素 a 去除率为 22%; 7 d 后, 叶绿素 a 的去除率达到 77%. 而菌体作用的藻在 4 d 后才与对照组 (加入新鲜牛肉膏蛋白胨培养基) 有明显差别, 7 d 后叶绿素 a 去除率为 61% (图 5). 这显示 A01 培养上清比单独使用菌体时有更强的溶藻作用, 说明 A01 溶藻的主要有效成分存在于其培养液的上清中.

设正常鱼腥藻为对照 (C), 对分别加入 A01 培养上清 (S) 或菌体 (T) 的鱼腥藻进行肉眼及显微镜观察. 加入 A01 上清的鱼腥藻, 第 3 d 就可见藻液颜色由蓝绿色变成浅黄色; 同时可在显微镜下可观察到多数鱼腥藻细胞和藻丝裂解消失, 仅存在零星单个细胞或絮状细胞碎片 (图 6S). 而在直接加入 A01 菌体的鱼腥藻中, 虽也同样出现了藻液颜色变黄、藻细胞裂解和藻丝逐渐断裂的情况, 但这些现象发生的时间推迟了 1~2 d, 且有一个缓慢变化的过程 (图 6T). 正常对照的藻细胞则生长良好 (图 6C).

A01 的上清是经 0.22 μm 滤器过滤后才用于溶藻作用测试的, 表现为仍有溶藻作用, 而且这种作用并没有因除去菌体而减弱, 甚至比单独感染菌体的溶藻作用更迅速, 表明 A01 菌株对鱼腥藻的溶解并不需要菌体与藻细胞的直接接触, 而是通过合成、释放到上清中的某种物质溶解藻细胞的. 简而言之, A01 上清含溶鱼腥藻的主要有效成分. 但具体是何种物质仍需进一步的研究.



括号中的编号为其 16S rDNA 序列的 GenBank 登录号

图 3 溶藻菌 A01 与已知溶藻菌的 16S rDNA 序列进化分析

Fig. 3 Phylogenetic analysis of known algicidal bacteria based on 16S rDNA sequences including the bacterial strain A01

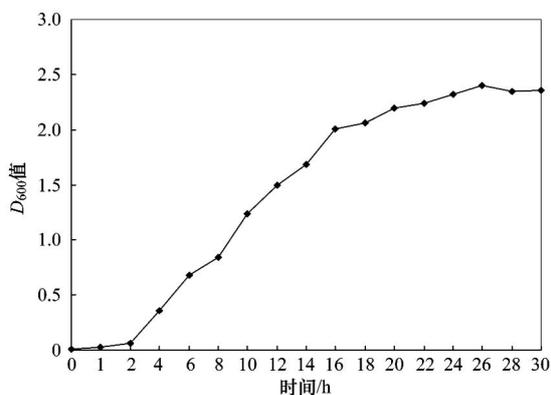


图 4 溶藻菌的生长曲线

Fig. 4 Growth curve of A01

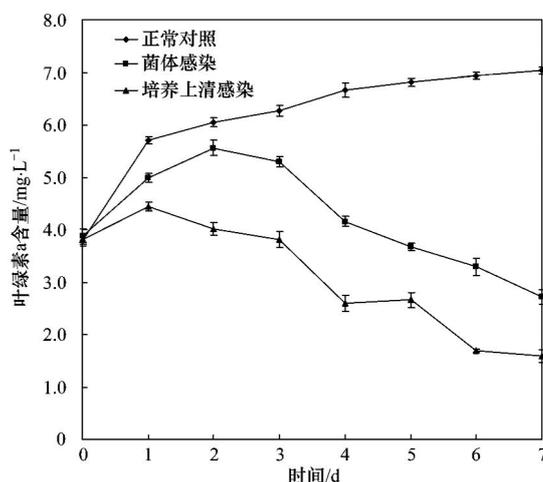


图 5 溶藻菌 A01 上清及菌体对鱼腥藻的影响

Fig. 5 Effects of bacterial A01 culture supernatant and thalli on *Anabaena eucompacta*

3 结论

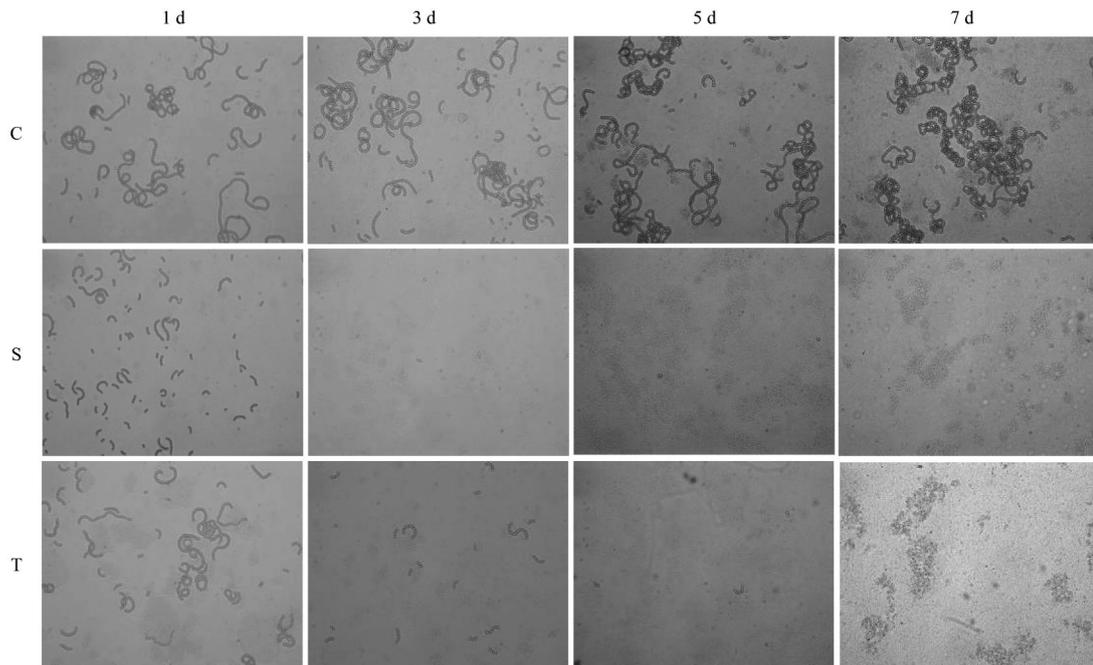
(1) 从淡水湖泊武汉东湖的水样中分离出 1 株能溶藻的革兰氏阴性菌 A01,这也是不动杆菌属溶藻菌的首次报道。

(2) A01 具有高效溶鱼腥藻效果,用上清接种对数生长的鱼腥藻 7 d,叶绿素 a 的去除率可达到 77%。

(3) A01 溶藻方式为间接裂解藻细胞,因其溶藻有效成分存在于培养上清中。

参考文献:

- [1] Wang B X, Yang X R, Lu J L, et al. A marine bacterium producing protein with algicidal activity against *Alexandrium tamarense*[J]. Harmful Algae, 2012, 13(1): 83-88.



C: 正常对照; S: 培养上清; T: 菌体

图 6 A01 培养上清或菌体感染鱼腥藻的显微图

Fig. 6 Microphotographs of *Anabaena eucompacta* infected by A01 supernatant and thalli ($\times 20$)

- [2] Kang Y H, Jung S W, Joo J H, *et al.* Use of immobilized algicidal bacteria to control natural freshwater diatom blooms[J]. *Hydrobiologia*, 2012, **683**(1): 151-162.
- [3] Paul C, Pohnert G. Interactions of the algicidal bacterium *Kordia algicida* with diatoms: regulated protease excretion for specific algal lysis [J]. *PLoS One*, 2011, **6** (6): e21032. doi: 10.1371/journal.pone.0021032.
- [4] Lee H S, Kang S G, Kwon K K, *et al.* Genome Sequence of the algicidal bacterium *Kordia algicida* OT-1 [J]. *Journal of Bacteriology*, 2011, **193**(15): 4081-4082.
- [5] Su J Q, Yang X R, Zheng T L, *et al.* Isolation and characterization of a marine algicidal bacterium against the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense*[J]. *Harmful Algae*, 2007, **6**(6): 799-810.
- [6] Mayali X, Azam F. Algicidal bacteria in the sea and their impact on algal blooms[J]. *The Journal of Eukaryotic Microbiology*, 2004, **51**(2): 139-144.
- [7] Mayali X, Doucette G J. Microbial community interactions and population dynamics of an algicidal bacterium active against *Karenia brevis* (Dinophyceae) [J]. *Harmful Algae*, 2002, **1** (3): 277-293.
- [8] 李蕾, 赵玲, 尹平河. 芽孢杆菌 B1 胞外活性物质对球形棕囊藻的溶藻特性研究[J]. *环境科学*, 2012, **33**(3): 838-843.
- [9] 晏荣军, 尹平河, 裘俊红. 2 株球形棕囊藻溶藻细菌的分离及鉴定[J]. *环境科学*, 2011, **32**(1): 225-230.
- [10] Wang B X, Zhou Y Y, Bai S J, *et al.* A novel marine bacterium algicidal to the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense*[J]. *Letters in Applied Microbiology*, 2010, **51**(5): 552-557.
- [11] Kim Y S, Lee D S, Jeong S Y, *et al.* Isolation and characterization of a marine algicidal bacterium against the harmful raphidophyceae *Chattonella marina*[J]. *The Journal of Microbiology*, 2009, **47**(1): 9-18.
- [12] 关英红, 马军, 雷国元, 等. 一株溶藻菌株的分离鉴定及溶藻特性[J]. *环境科学学报*, 2008, **28**(7): 1288-1293.
- [13] Kang Y H, Kim J D, Kong B H, *et al.* Isolation and characterization of a bio-agent antagonistic to diatom, *Stephanodiscus hantzschii*[J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2005, **98**(5): 1030-1038.
- [14] Al-Tebrineh J, Merrick C, Ryan D, *et al.* Community composition, toxigenicity, and environmental conditions during a cyanobacterial bloom occurring along 1,100 kilometers of the Murray River [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2012, **78**(1): 263-272.
- [15] Holte H R, Eriksen S, Skulberg O, *et al.* The effect of water soluble cyanotoxin(s) produced by two species of *Anabaena* on the release of acetylcholine from the peripheral cholinergic nervous system of the rat airway [J]. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 1998, **5**(1): 51-59.
- [16] 于建伟, 陈克云, 苏命, 等. 不同营养源条件下螺旋鱼腥藻生长与产嗅特征研究[J]. *环境科学*, 2011, **32**(8): 2254-2259.
- [17] 汪辉, 刘兆普, 魏微, 等. 一株溶藻菌的分离、鉴定及其溶藻物质的研究[J]. *中国环境科学*, 2008, **28**(5): 461-465.
- [18] Chen W M, Sheu F S, Sheu S Y. Novel L-amino acid oxidase with algicidal activity against toxic cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* synthesized by a bacterium *Aquimarina* sp. [J]. *Enzyme and Microbial Technology*, 2011, **49**(4): 372-379.

- [19] 贺蓉, 胡伟, 张锐, 等. 溶藻细菌的分离及溶藻特性研究[J]. 水产科学, 2011, **30**(11): 677-680.
- [20] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 670-671.
- [21] Kitaguchi H, Hiragushi N, Mitsutani A, *et al.* Isolation of an algicidal marine bacterium with activity against the harmful dinoflagellate *Heterocapsa circzclarisquama* (Dinophyceae) [J]. *Phycologia*, 2001, **40**(3): 275-279.
- [22] Cai W, Wang H, Tian Y, *et al.* Influence of a bacteriophage on the population dynamics of toxic dinoflagellates by lysis of Algicidal Bacteria[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2011, **77**(21): 7837-7840.
- [23] Shi M, Zou L, Liu X, *et al.* A novel bacterium *Saprospira* sp. strain PdY3 forms bundles and lyses cyanobacteria[J]. *Frontiers in Bioscience*, 2006, **11**: 1916-1923.
- [24] Kodani S, Imoto A, Mitsutani A, *et al.* Isolation and identification of the antialgal compound, harmaline (1-methyl- β -carboline), produced by the algicidal bacterium, *Pseudomonas* sp. K44-1 [J]. *Journal of Applied Phycology*, 2002, **14**(2): 109-114.
- [25] 马超, 潘伟斌, 林敏, 等. 3株溶藻细菌溶藻特性的初步研究[J]. 环境科学与技术, 2008, **31**(10): 47-51.
- [26] Walker H L, Higginbotham L R. An aquatic bacterium that lyses cyanobacteria associated with off-flavor of Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. *Biological Control*, 2000, **18**(1): 71-78.

《环境科学》多项引证指标名列前茅

2012年12月7日,中国科学技术信息研究所在中国科技论文统计结果发布会上公布了2011年度中国科技论文统计结果.统计结果显示2011年度《环境科学》多项引证指标居环境科学技术、安全科学技术类科技期刊前列.

《环境科学》综合评价总分81.2,排名第一,总被引频次5359,影响因子0.956.

综合评价总分是根据中国科技期刊综合评价指标体系,计算多项科学计量指标(总被引频次、影响因子、他引率、基金论文比、引文率等),采用层次分析法确定重要指标的权重,分学科对每种期刊进行综合评定,计算出每个期刊的综合评价总分.这项指标屏蔽了各个学科之间总体指标背景值的差异,使科技期刊可以进行跨学科比较.根据发布的统计结果,2011年度《环境科学》综合评价总分81.2,在被统计的1998种核心期刊中名列第41位,在被统计的37种环境科学技术、安全科学技术类期刊中名列第一.

CONTENTS

Characterization of Chemical Compositions in PM _{2.5} and Its Impact on Hazy Weather During 16 th Asian Games in Guangzhou	TAO Jun, CHAI Fa-he, GAO Jian, <i>et al.</i> (409)
PM _{2.5} Pollution and Aerosol Optical Properties in Fog and Haze Days During Autumn and Winter in Beijing Area	ZHAO Xiu-juan, PU Wei-wei, MENG Wei, <i>et al.</i> (416)
Forming Potential of Secondary Organic Aerosols and Sources Apportionment of VOCs in Autumn of Shanghai, China	WANG Qian, CHEN Chang-hong, WANG Hong-li, <i>et al.</i> (424)
Study on Number Concentration Distribution of Atmospheric Ultrafine Particles in Hangzhou	XIE Xiao-fang, SUN Zai, FU Zhi-min, <i>et al.</i> (434)
Pollution Characteristics and Source Identification of Atmospheric Particulate Matters <i>n</i> -Alkanes in Baoding City	LI Xing-ru, DU Xi-qiang, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (441)
Study on Pollution Characteristics of Carbonaceous Aerosols in Xi'an City During the Spring Festival	ZHOU Bian-hong, ZHANG Cheng-zhong, WANG Ge-hui (448)
Characteristics of PM ₁₀ and PM _{2.5} Concentrations in Mountain Background Region of East China	SU Bin-bin, LIU Xin-dong, TAO Jun (455)
Assessment of TVOC and Odor in the Remediation Site of Contaminated Soil and Groundwater Using Electronic Nose	TIAN Xiu-ying, CAI Qiang, LIU Rui, <i>et al.</i> (462)
Characteristics of Mercury Exchange Flux Between Soil and Atmosphere Under the Snow Retention and Snow Melting Control	ZHANG Gang, WANG Ning, AI Jian-chao, <i>et al.</i> (468)
Study on Heavy Metal Contaminations and the Sources of Pb Pollution in Jinghai Bay Using the Stable Isotope Technique	XU Lin-bo, GAO Qin-feng, DONG Shuang-lin, <i>et al.</i> (476)
Eco-environmental Evolution Inferred from <i>n</i> -Alkanes and δ ¹³ C Records in the Sediments of Shijiu Lake	OU Jie, WANG Yan-hua, YANG Hao, <i>et al.</i> (484)
Distribution of PGEs Contents and Its Factors in Snowfall and Snow Cover over the Arid Region in Changji City	LIU Yu-yan, LIU Hao-feng, ZHANG Lan (494)
Effect of Dust Deposition Collection Methods on Collection Efficiency	ZHANG Zheng-cai, DONG Zhi-bao (499)
Regionalization of the Freshwater Eco-regions in the Haihe River Basin of China	SUN Ran-hao, JI Yu-he, SHANG Lin-yuan, <i>et al.</i> (509)
Characteristics of Diffuse Attenuation Coefficient of Underwater Irradiance in the Lakes in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	SHI Zhi-qiang, ZHANG Yun-lin, WANG Ming-zhu, <i>et al.</i> (517)
Study on Influencing Factors and Universality of Chlorophyll- <i>a</i> Retrieval Model in Inland Water Body	HUANG Chang-chun, LI Yun-mei, XU Liang-jiang, <i>et al.</i> (525)
Effect of Dissolved Oxygen on Diversity of Ammonia-Oxidizing Microorganisms in Enrichment Culture from Estuarine Wetland Surface Sediments and Ammonia-oxidizing Rate	QIU Zhao-zheng, LUO Zhuan-xi, ZHAO Yan-ling, <i>et al.</i> (532)
Spatial Variation of Soil Moisture/Salinity and the Relationship with Vegetation Under Natural Conditions in Yancheng Coastal Wetland	ZHANG Hua-bing, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i> (540)
Spatial Heterogeneity and Classified Control of Agricultural Non-Point Source Pollution in Huaihe River Basin	ZHOU Liang, XU Jian-gang, SUN Dong-qi, <i>et al.</i> (547)
Phosphorus Output Characteristics Under Different Rainfall-Runoffs in Gaolan River	CUI Yu-jie, LIU De-fu, SONG Lin-xu, <i>et al.</i> (555)
Monitoring and Analysis on Evolution Process of Rainfall Runoff Water Quality in Urban Area	DONG Wen, LI Huai-en, LI Jia-ke (561)
Characteristics and Contribution of the Strengthening Units of Composite Constructed Wetland for Treating Urban Sewage	REN Feng, LU Yi-xia, LIU Qin, <i>et al.</i> (570)
Inactivation of <i>Mycobacteria mucogenicum</i> in Drinking Water: Chlorine Resistance and Mechanism Analysis	ZHENG Qi, CHEN Chao, ZHANG Xiao-jian, <i>et al.</i> (576)
Partial Biological Characteristics and Algicidal Activity of an Algicidal Bacterium	LI San-hua, ZHANG Qi-ya (583)
Effects of Macrophytes Pyrolysis Bio-oil on <i>Skeletonema costatum</i> Antioxidant Enzyme Activities	YAO Yuan, LI Feng-min, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (589)
Mechanism and Kinetics of Phenol Degradation by TiO ₂ Photocatalytic Combined Technologies	ZHANG Yi, HUANG Ruo-nan, WANG Xiao-min, <i>et al.</i> (596)
Biodegradation Characteristics of Organic Pollutants Contained in Tannery Wastewater	WANG Yong, LI Wei-guang, YANG Li, <i>et al.</i> (604)
Microbial Degradation Mechanism of Disperse Azo Dye Red 30 by <i>Streptomyces</i> sp. FX645	XIE Lian-wu, FANG Ji-qian, GUO Ya-ping (611)
Study on Preparation and Performance of a Biological Carrier with Tourmaline	YANG Ji-xian, ZENG Hong-yun, ZHOU Yi, <i>et al.</i> (616)
Study on the <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Cultivation Technology Based on the Excess Sludge Utilization	JI Wen-wen, XIA Hui-long, FANG Zhi-guo, <i>et al.</i> (622)
Effects of Mild Thermal Pretreatment on Anaerobic Digestibility of Sludge with Low Organic Content	CHEN Han-long, YAN Yuan-yuan, HE Qun-biao, <i>et al.</i> (629)
Effect of Natural and Hydrothermal Synthetic Goethite on the Release of Methane in the Anaerobic Decomposition Process of Organic Matter	YAO Dun-fan, CHEN Tian-hu, WANG Jin, <i>et al.</i> (635)
Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Spent Etching Solution and Its Copper Salt Recycling Products	QING Xian, HAN Jing-lei, WEN Yan-shen (642)
Case Study on Health Risk Assessment Based on Site-Specific Conceptual Model	ZHONG Mao-sheng, JIANG Lin, YAO Jue-jun, <i>et al.</i> (647)
Study on the Risk Assessment Method of Regional Groundwater Pollution	YANG Yan, YU Yun-jiang, WANG Zong-qing, <i>et al.</i> (653)
Groundwater Organic Pollution Source Identification Technology System Research and Application	WANG Xiao-hong, WEI Jia-hua, CHENG Zhi-neng, <i>et al.</i> (662)
Study on Soil Organic Carbon Pools and Turnover Characteristics Along an Elevation Gradient in Qilian Mountain	ZHU Ling-yu, PAN Jian-jun, ZHANG Wei (668)
Response of Black Soil Organic Carbon, Nitrogen and Its Availability to Long-term Fertilization	LUO Kun, HU Rong-gui, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> (676)
Phytoavailability and Chemical Speciation of Cadmium in Different Cd-Contaminated Soils with Crop Root Return	ZHANG Jing, YU Ling-ling, XIN Shu-zhen, <i>et al.</i> (685)
Study on Mechanism of SOM Stabilization of Paddy Soils Under Long-term Fertilizations	LUO Lu, ZHOU Ping, TONG Cheng-li, <i>et al.</i> (692)
Aging Process of Cr(III) in 22 Typical Soils of China and Influence Factors Analysis	ZHENG Shun-an, ZHENG Xiang-qun, LI Xiao-chen, <i>et al.</i> (698)
Residual Characteristics of HCHs in Soils of a Former Lindane Production Enterprise	PAN Feng, WANG Li-li, ZHAO Hao, <i>et al.</i> (705)
Evaluation and Source Analysis of the Mercury Pollution in Soils and Vegetables Around a Large-scale Zinc Smelting Plant	LIU Fang, WANG Shu-xiao, WU Qing-ru, <i>et al.</i> (712)
Residue of Organic Fluorine Pollutants in Hair and Nails Collected from Tianjin	YAO Dan, ZHANG Hong, CHAI Zhi-fang, <i>et al.</i> (718)
Analysis of Estrogens, Nonylphenol, 4-tert-Octylphenol and Bisphenol A in the Sediments	WU Wei, SHI Jiang-hong, CHEN Qing-cai, <i>et al.</i> (724)
Investigation of As, Cu and Zn Species and Concentrations in Animal Feeds	YAO Li-xian, HUANG Lian-xi, JIANG Zong-yong, <i>et al.</i> (732)
Residue Dynamics of Flubendiamide in Paddy Field	WANG Dian-dian, SONG Ning-hui, WU Wen-zhu, <i>et al.</i> (740)
Isolation of Two Endophytic Phenanthrene-Degrading Strains and Their Degradation Capacity	NI Xue, LIU Juan, GAO Yan-zheng, <i>et al.</i> (746)
Biodegradation of Nitrobenzene by a Halophilic <i>Myroides odoratimimus</i> Strain Y6	LI Tian, QIAN Kun, XIAO Wei, <i>et al.</i> (753)
Effect of Immobilization on Biosensor for Benzene Derivates Detection	TANG Kuo, MA An-zhou, YU Qing, <i>et al.</i> (760)
Investigation of Bacterial Diversity in the Biological Desulfurization Reactor for Treating High Salinity Wastewater by the 16S rDNA Cloning Method	LIU Wei-guo, LIANG Cun-zhen, YANG Jin-sheng, <i>et al.</i> (767)
Assessment of the Effect of Influent NH ₄ ⁺ -N Concentration on the Abundance and Community Structure of Functional Bacteria in CANON Process	LIU Tao, LI Dong, ZENG Hui-ping, <i>et al.</i> (773)
Biodegradation of Lignocellulose by <i>Penicillium simplicissimum</i> and Characters of Lignocellulolytic Enzymes	SHEN Ying, HU Tian-jue, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> (781)
Microbial Community Structure and Distribution Characteristics in Oil Contaminated Soil	YANG Meng-qing, LI Li-ming, LI Chuan, <i>et al.</i> (789)
Degradation of Oxytetracycline in Chicken Feces Aerobic-Composting and Its Effects on Their Related Parameters	WANG Gui-zhen, LI Zhao-jun, ZHANG Shu-qing, <i>et al.</i> (795)
Research of Moisture Content Variation in MSW Landfill	LI Rui, LIU Jian-guo, XUE Yue-wei, <i>et al.</i> (804)
Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Biomass with Animal Digestion Mechanisms	WU Hao, ZHANG Pan-yue, GUO Jian-bin, <i>et al.</i> (810)

《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)

2013年2月15日 34卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 2 Feb. 15, 2013

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: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发刊