

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第1期

Vol.34 No.1

**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

长三角背景地区秋冬季节大气气态总汞含量特征研究	窦红颖,王书肖,王龙,张磊,郝吉明	( 1 )
厦门城区大气颗粒物 PM <sub>10</sub> 中有机酸源谱特征分析	杨冰玉,黄星星,郑桢,刘碧莲,吴水正	( 8 )
兴隆大气气溶胶中水溶性无机离子分析	李杏茹,宋爱利,王英锋,孙颖,刘子锐,王跃思	( 15 )
气相组分对氨吸收同步脱除模拟烟气 SO <sub>2</sub> 和 NO <sub>x</sub> 的影响	王鸿,朱天乐,王美艳	( 21 )
麦秸全量还田下太湖地区两种典型水稻土稻季氮挥发特性比较	汪军,王德建,张刚,王远	( 27 )
单光子/光电子在线质谱实时分析聚氯乙烯热分解/燃烧产物	陈文东,侯可勇,陈平,李芳龙,赵无垠,崔华鹏,花磊,谢园园,李海洋	( 34 )
碱性活性炭表面特征及其吸附甲烷的研究	张梦竹,李琳,刘俊新,孙永军,李国滨	( 39 )
夏季黄渤海表层海水中二甲亚砜 (DMSO) 的浓度分布	王敏,张洪海,杨桂朋	( 45 )
2010年秋季长江口口外海域 CDOM 的三维荧光光谱-平行因子分析	闫丽红,陈学君,苏荣国,韩秀荣,张传松,石晓勇	( 51 )
基于集合均方根滤波的太湖叶绿素 a 浓度估算与预测	李渊,李云梅,王桥,张卓,郭飞,吕恒,毕坤,黄昌春,郭宇龙	( 61 )
基于 HJ1A-CCD 数据的高光谱影像重构研究	郭宇龙,李云梅,朱利,徐德强,李渊,檀静,周莉,刘阁	( 69 )
重庆雪玉洞岩溶地下河地球化学敏感性研究	徐尚全,杨平恒,殷建军,毛海红,王鹏,周小萍	( 77 )
区域点源和非点源磷入河量计算的二元统计模型	陈丁江,孙嗣畅,贾颖娜,陈佳勃,吕军	( 84 )
秦淮河典型河段总氮总磷时空变异特征	李跃飞,夏永秋,李晓波,熊正琴,颜晓元	( 91 )
湘江沉积物镉和汞质量基准的建立及其应用	蒋博峰,桑磊鑫,孙卫玲,郝伟,李丽,邓宝山	( 98 )
丹江口水库迁建区土壤重金属分布及污染评价	张雷,秦延文,郑丙辉,时瑶,韩超男	( 108 )
汾河水库周边土壤重金属含量与空间分布	李晋昌,张红,石伟	( 116 )
黄河下游引黄灌区地下水重金属分布及健康风险评估	张妍,李发东,欧阳竹,赵广帅,李静,柳强	( 121 )
胶州湾、套子湾及四十里湾表层沉积物中有机氯农药的含量和分布特征	刘艺凯,钟广财,唐建辉,潘晓辉,田崇国,陈颖军	( 129 )
基于干扰梯度的钦江流域底栖动物完整性指数候选参数筛选	卢东琪,张勇,蔡德所,刘朔孺,陈燕海,王备新	( 137 )
海洋细菌 <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 分离鉴定及对中肋骨条藻的化感作用	王洪斌,陈文慧,李信书,李士虎,阎斌伦	( 145 )
水稻秸秆浸泡液对铜绿微囊藻生理特性的影响	苏文,孔繁翔,于洋,贾育红,张民	( 150 )
化感物质肉桂酸乙酯对蛋白核小球藻生长及生理特性的影响	高李李,郭沛涌,苏光明,魏燕芳	( 156 )
无负压供水模式下管网水力模拟与安全评价分析	王欢欢,刘书明,姜帅,孟凡琳,白璐	( 163 )
天然有机物的相对分子量分布及亲疏水性对微滤膜组合工艺中膜污染的影响	胡孟柳,林洁,许光红,董秉直	( 169 )
不同基质条件下透性处理对脱硫弧菌硫酸盐还原活性的影响	徐慧伟,张旭,李立明,郑光洁,李广贺	( 177 )
基于零价铁的双金属体系对六氯苯还原脱氯研究	曾宪委,刘建国,聂小琴	( 182 )
负载型 TiO <sub>2</sub> 光电催化降解孔雀石绿的动力学研究	张小娜,周少奇,周晓	( 188 )
污水厂微孔曝气系统工况下充氧性能测试与分析	吴媛媛,周小红,施汉昌,邱勇	( 194 )
微气泡及其产生方式对活性污泥混合液性质的影响	刘春,马锦,张磊,张静,张明,吴根	( 198 )
不同氮浓度冲击对颗粒污泥脱氮过程中 N <sub>2</sub> O 产生量的影响	韩雪,高大文	( 204 )
模拟电镀污泥重金属浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响	谢鑫源,孙培德,楼菊青,郭茂新,马王钢	( 209 )
嗜麦芽窄食单胞菌对铜镉的吸附特性与离子交换	白洁琼,尹华,叶锦韶,彭辉,唐立栲,何宝燕,李跃鹏	( 217 )
阴离子表面活性剂改性水滑石吸附硝基苯的特性研究	夏燕,朱润良,陶奇,刘汉阳	( 226 )
活性氧化铝对水中磷的去除与回收研究	孟文娜,谢杰,吴德意,张振家,孔海南	( 231 )
北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析	杨维,赵文吉,官兆宁,赵文慧,唐涛	( 237 )
北京市市售鸡蛋和鸭蛋中全氟化合物的污染水平研究	齐彦杰,周珍,史亚利,孟昭福	( 244 )
北京市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评估	千志勇,金芬,孙景芳,原盛广,郑蓓,张文婧,安伟,杨敏	( 251 )
多效应残差法 (MERA) 表征二甲亚砜-农药二元混合物毒性相互作用	霍向晨,刘树深,张晶,张瑾	( 257 )
利用 DGGE-菌落原位杂交法分离土壤中精喹禾灵降解菌	吕欣,彭霞薇,呼庆,马安周,江泽平,魏远	( 263 )
不同白腐真菌复配方式对产酶的影响	孟瑶,梁红,高大文	( 271 )
不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响	张瑞,张贵龙,姬艳艳,李刚,常泓,杨殿林	( 277 )
垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响	霍莉莉,邹元春,郭佳伟,吕宪国	( 283 )
黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征	董洪芳,于君宝,管博	( 288 )
丘陵林地土壤酸化改良剂的集中施用-自然扩散修复技术研究	方熊,刘菊秀,尹光彩,赵亮,刘世忠,褚国伟,李义勇	( 293 )
重度滴滴涕污染土壤低温等离子体修复条件优化研究	陈海红,骆永明,滕应,刘五星,潘澄,李振高,黄玉娟	( 302 )
无定形 Fe(OH) <sub>3</sub> 和 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 共沉淀态 As 的化学提取	陈义萍,王少锋,贾永锋	( 308 )
铝和锰对外生菌根真菌生长、养分吸收及分泌作用的影响	李华,黄建国,袁玲	( 315 )
污泥和餐厨垃圾联合干法中温厌氧消化性能研究	段妮娜,董滨,李江华,戴翎翎,戴晓虎	( 321 )
高比表面生物质炭的制备、表征及吸附性能	李坤权,李焯,郑正,桑大志	( 328 )
基于情景分析的浙江沿海地区环境污染防治战略研究	田金平,陈吕军,杜鹏飞,钱易	( 336 )
微生物全细胞传感器在重金属生物可利用度监测中的研究进展	侯启会,马安周,庄绪亮,庄国强	( 347 )
<b>2012 城市生态学术研讨会会议论文</b>		
北京市城乡环境梯度下街尘中重金属污染特征	何小艳,顾培,李叙勇,赵洪涛	( 357 )
北京市道路灰尘中污染物含量沿城乡梯度、道路密度梯度的变化特征	唐荣莉,马克明,张育新,毛齐正	( 364 )
北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析	任玉芬,王效科,欧阳志云,侯培强	( 373 )
洋河流域张家口段河流水质演化及驱动因子分析	虎博,王铁宇,吕永龙,杜立宇,罗维	( 379 )
低碳交通电动汽车减排潜力及其影响因素分析	施晓清,李笑诺,杨建新	( 385 )
北京市社区生活垃圾分类收集实效调查及其长效管理机制研究	邓俊,徐琬莹,周传斌	( 395 )
人工湿地在应用中存在的问题及解决措施	黄锦楼,陈琴,许连煌	( 401 )
《环境科学》征订启事(26)	《环境科学》征稿简则(68)	信息(76,144,301,400)
		专辑征稿通知(394)

# 海洋细菌 *Marinobacter adhaerens* HY-3 分离鉴定及对中肋骨条藻的化感作用

王洪斌<sup>1,2</sup>, 陈文慧<sup>2</sup>, 李信书<sup>2</sup>, 李士虎<sup>2</sup>, 阎斌伦<sup>3</sup>

(1. 中国矿业大学环境与测绘学院, 徐州 221008; 2. 淮海工学院海洋学院, 连云港 222005; 3. 江苏省海洋生物技术重点实验室, 连云港 222005)

**摘要:** 菌藻化感作用是一种极其复杂的生理、生态学现象. 从虾蟹混养池分离得到 1 株海洋细菌, 经 16S rRNA 序列比对确定为 *Marinobacter adhaerens* HY-3, 选择我国常见赤潮优势种中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*) 作为对象, 研究海洋细菌与其种间化感效应, 利用共培养和添加细菌胞外代谢物, 以 *S. costatum* 生长量及叶绿素 a 含量为参数, 研究细菌对 *S. costatum* 生长及光合作用的影响. 结果表明, 菌液浓度  $10^4$  以上对 *S. costatum* 生长产生抑制, 培养至第 10 d,  $10^4$ 、 $10^6$ 、 $10^8$  组藻生长量分别是对照组的 70%、23%、22%; 叶绿素合成量是对照组 88%、62%、60%; 抑制效应随菌浓度的增加有逐渐增加的趋势. 添加细菌胞外代谢物, 对 *S. costatum* 生长无影响; 因此, *M. adhaerens* HY-3 对 *S. costatum* 存在一定的化感作用, 对其生长及光合作用均产生较大的影响; *S. costatum* 与 *M. adhaerens* HY-3 的种间相互作用, 是由菌藻细胞的直接接触进行, 代谢物不存在化感作用因子.

**关键词:** *Marinobacter adhaerens*; 分离鉴定; 中肋骨条藻; 共培养; 化感作用

中图分类号: X55 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)01-0145-05

## Isolation and Identification of *Marinobacter adhaerens* HY-3 and Its Allelopathy on *Skeletonema costatum*

WANG Hong-bin<sup>1,2</sup>, CHEN Wen-hui<sup>2</sup>, LI Xin-shu<sup>2</sup>, LI Shi-hu<sup>2</sup>, YAN Bin-lun<sup>3</sup>

(1. School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 2. Marine College, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China; 3. Jiangsu Key Laboratory of Marine Biotechnology, Lianyungang 222005, China)

**Abstract:** The allelopathy between bacteria and algae is a very complicated physical and ecological phenomenon. A marine bacterium was isolated from the water of a shrimp and crab mix-culturing pond. By 16S rRNA analysis, it was identified as *Marinobacter adhaerens* HY-3. *Skeletonema costatum*, a common dominant species of red-tide microorganism in China, was chosen as the other research object. The allelopathic effect of *Marinobacter adhaerens* HY-3 on *S. costatum* was studied. Using the growth mass of *Skeletonema costatum* and the content of chlorophyll a as the parameters, the effects of HY-3 on the growth and photosynthesis of *Skeletonema costatum* were studied after co-cultivation and addition of extracellular metabolites of HY-3. The results showed that the growth of *S. costatum* was inhibited when the concentration of the strain HY-3 was above  $10^4$ , and the growth mass of the  $10^4$ ,  $10^6$  and  $10^8$  HY-3 group was 70%, 23% and 22% of the control group respectively on the 10<sup>th</sup> day, with the content of chlorophyll being 88%, 62% and 60% of the control group, respectively. Therefore, the suppression increased with increasing concentration of HY-3. However, addition of extracellular metabolites of HY-3 had no effect on the growth of *S. costatum*. Conclusions: *M. adhaerens* HY-3 had certain allelopathy on *S. costatum* and affected its growth and photosynthesis. Moreover, interaction between *M. adhaerens* HY-3 and *S. costatum* was achieved by their direct contact and the extracellular metabolites did not contain allelopathy factors.

**Key words:** *Marinobacter adhaerens*; isolation and identification; *Skeletonema costatum*; co-culture; allelopathy

富营养化和赤潮已经成为严重的世界性灾害, 不仅危及其他水生生物的生存, 破坏海洋生态系统的平衡, 还给海洋渔业经济带来巨大的损失<sup>[1]</sup>. 近年来研究表明, 藻类化感作用与水华、赤潮的暴发及消亡有密切关系<sup>[2]</sup>, 有的学者把化感作用看作植物间、植物与微生物间的化学通讯或信号传递<sup>[3]</sup>. 随着水体富营养化和其它环境问题的出现以及化学分析手段的进步和化学生态学的发展, 藻类等植物的化感作用研究已经成为水域生态学新兴的热点课

题. 许多文献报道, 藻类之间、藻类与其它植物间具有化感作用现象<sup>[4~10]</sup>. 由于藻类和细菌之间存在的这些错综复杂的关系, 使人们在研究浮游植物水华和赤潮的发生、发展、衰落与消亡的机制之时, 不能不考虑细菌的重要性. 尤其是细菌对赤潮藻类

收稿日期: 2012-04-03; 修订日期: 2012-05-22

基金项目: 科技部“十二五”科技支撑计划项目(2011BAD13B03)

作者简介: 王洪斌(1966~), 男, 博士研究生, 副教授, 主要研究方向为微生物生物技术及基因工程, E-mail: whbvirus@126.com

的杀灭作用,近年来越来越引起世界赤潮研究领域的重视,细菌克藻效应为利用微生物防治赤潮提供了可能的途径<sup>[11]</sup>. Gades 等<sup>[12]</sup>认为 *M. adhaerens* 与硅藻之间存在一定的相互作用,笔者从虾蟹混养池塘水样中分离得到 1 株海洋细菌,鉴定为 *M. adhaerens* HY-3,选择我国沿海常见赤潮优势种 *S. costatum* 作为研究对象,分析该藻在实验生态条件下的生长、增殖和衰亡规律,探讨 *M. adhaerens* HY-3 与其种间的化感效应,以期为微生物防治赤潮的可能途径及菌藻生态关系研究奠定基础.

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

中肋骨条藻(*S. costatum*)由淮海工学院海洋学院藻类实验室保存;海水培养液采用 f/2 营养液<sup>[13]</sup>,微藻培养所用海水采自连云港高公岛海域(盐度约 31.00 ~ 32.00)涨潮时,醋酸纤维薄膜过滤,121℃、20 min 灭菌;藻种预培养 4 ~ 7 d,处于对数增长期的藻用于实验;培养条件为光照度为 3 000 lx,明暗周期 12 h:12 h,不充气培养,每日定时摇动 3 次,23℃ ± 2℃ 下培养<sup>[14]</sup>.

池塘水样(采样深度 25 cm);样品于 2011 年 9 月采于连云港滩涂虾蟹混养池塘.分离纯化培养基为 2216E 培养基.

菌藻共培养的培养液采取 f/2 营养液加 0.5% 蛋白胨及 0.1% 酵母粉,并经实验检测对菌藻单培养生长无影响.

### 1.2 方法

#### 1.2.1 *M. adhaerens* HY-3 分离鉴定

##### (1) 菌株获得

取池塘水样样品各 1 mL 加入 9 mL 无菌生理盐水,稀释至  $10^{-2}$  ~  $10^{-6}$  浓度,取 0.1 mL 均匀涂布于 2216E 培养基平板,倒置培养 48 ~ 72 h,将平板上长出的菌落逐个划线纯化,从划线分离的平板上挑取单菌落种于平板培养 18 h 后再次划线分离,反复操作直至划线所得的菌落形态完全一致,编号并保存各菌株.

##### (2) 菌株鉴定

CTAB 法提取基因组,琼脂糖电泳确认.以基因组 DNA 为模板,16S rRNA 的通用引物<sup>[15]</sup>:上游引物:5'-GAGAGTTTGATCCTGGCT-3' 下游引物:5'-CGGCTACCTTGTACGAC-3',PCR 扩增 16S rRNA.反应条件:95℃、5 min 预变性,94℃、30 s 变性,51℃、40 s 复性,72℃、100 s 延伸,72℃、10 min 终

止延伸,30 循环.

经确认的 PCR 产物送上海桑尼生物科技有限公司完成测序,序列提交 GenBank,用 MEGA5.0 软件对 16S rDNA 基因进行序列分析及同源性比较,并邻接法<sup>[16]</sup>构建系统进化树.

#### 1.2.2 *M. adhaerens* HY-3 与 *S. costatum* 共培养体系

将处于对数生长期生长良好的 *S. costatum*,密度调节为  $1 \times 10^2$ 、 $1 \times 10^4$ 、 $1 \times 10^6$ 、 $1 \times 10^8$  CFU·mL<sup>-1</sup>,分别与培养至对数期的不同浓度 *M. adhaerens* HY-3 ( $1 \times 10^2$ 、 $1 \times 10^4$ 、 $1 \times 10^6$ 、 $1 \times 10^8$  CFU·mL<sup>-1</sup>) 共培养,按照 1:1 的比例接种 300 mL 在容积为 500 mL 的锥形瓶中.相同实验条件下以不同浓度的 *M. adhaerens* HY-3 和 *S. costatum* 单种培养作为对照组.每组设置 3 个平行.培养条件见 1.1 节所述,每天取样 3 mL 进行吸光度检测(*S. costatum*:680 nm; *M. adhaerens* HY-3:500 nm),连续 10 d.

#### 1.2.3 *M. adhaerens* HY-3 代谢物对 *S. costatum* 生长影响

将培养过夜的 *M. adhaerens* HY-3 菌液 5 000 r·min<sup>-1</sup>、5 min 离心,取上清.以 10% 上清液加入至不同浓度的处于对数生长期的 *S. costatum* 藻液(浓度设置及分析方法同 1.2.2 节).

#### 1.2.4 *S. costatum* 叶绿素 a 含量测定

采用热乙醇萃取分光光度法<sup>[17]</sup>取 10 mL 培养至 20 d 的共培养藻液,5℃、6 000 r·min<sup>-1</sup> 离心 5 min,弃上清液,取沉淀 -20℃ 下冷冻 12 h.取出后迅速用 9 mL 95% 乙醇(80℃ 预热)于 80℃ 热水浴萃取 2 min,超声波清洗仪超声振荡处理 10 min,于 4℃ 黑暗静置 6 h 后,5℃、6 000 r·min<sup>-1</sup> 离心 5 min,取上清,用分光光度计于波长 665 nm 和 750 nm 测定 *D* 值,加入 1 mol·L<sup>-1</sup> 盐酸酸化,于波长 665 nm 和 750 nm 处再测定 *D* 值,按下列公式计算叶绿素含量.

$$\text{Chla}_{\text{乙醇}} = 27.9 \times [(E_{665} - E_{750}) - (A_{665} - A_{750})] \times V_{\text{乙醇}} / V_{\text{藻样}}$$

式中,Chla<sub>乙醇</sub> 为乙醇法测定的叶绿素 a 含量 (μg·L<sup>-1</sup>); *E*<sub>665</sub> 为乙醇萃取液于波长 665 nm 的吸光值; *E*<sub>750</sub> 为乙醇萃取液于波长 750 nm 的吸光值; *A*<sub>665</sub> 为乙醇萃取液酸化后于波长 665 nm 的吸光值; *A*<sub>750</sub> 为乙醇萃取液酸化后于波长 750 nm 的吸光值; *V*<sub>乙醇</sub> 为乙醇萃取液的体积(mL); *V*<sub>藻样</sub> 为藻样的体积(L).

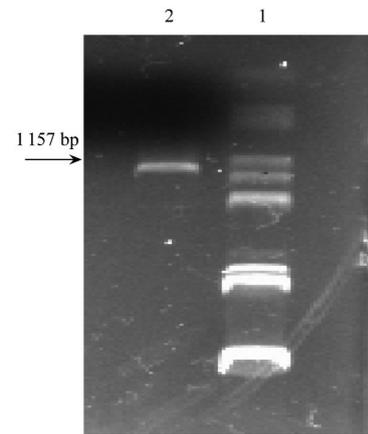
## 2 结果与讨论

### 2.1 *M. adhaerens* HY-3 的分离鉴定

按 1.2.1 所述方法,对虾蟹混养池塘水样微生物进行分离纯化,获得 1 株菌株,命名为 HY-3, CTAB 法抽提其基因组 DNA; 进行 16S rRNA PCR 扩增,琼脂糖电泳确认,PCR 产物由上海桑尼生物有限公司完成测序,得 1 157 bp 序列,将该序列与 GenBank 数据库中的序列进行 Blust 并构建进化树,经分析,该菌株为 *M. adhaerens* HY-3, 16S rRNA PCR 结果及系统进化树分别见图 1、图 2。

### 2.2 共培养体系中 *M. adhaerens* HY-3 对 *S. costatum* 的化感作用

微生物在化感效应中的作用历来存在争议,郑



1. DNA Marker (*EcoR* I / *Hind* III); 2. HY-3 16S rDNA

图 1 *M. adhaerens* HY-3 16S rRNA PCR 结果

Fig. 1 16S rRNA PCR result of *M. adhaerens* HY-3

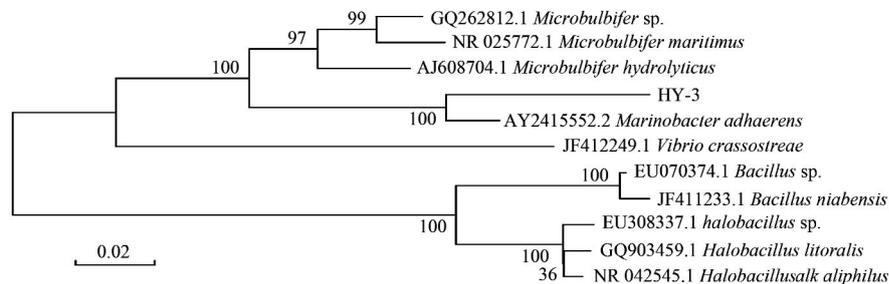


图 2 *M. adhaerens* HY-3 系统进化树

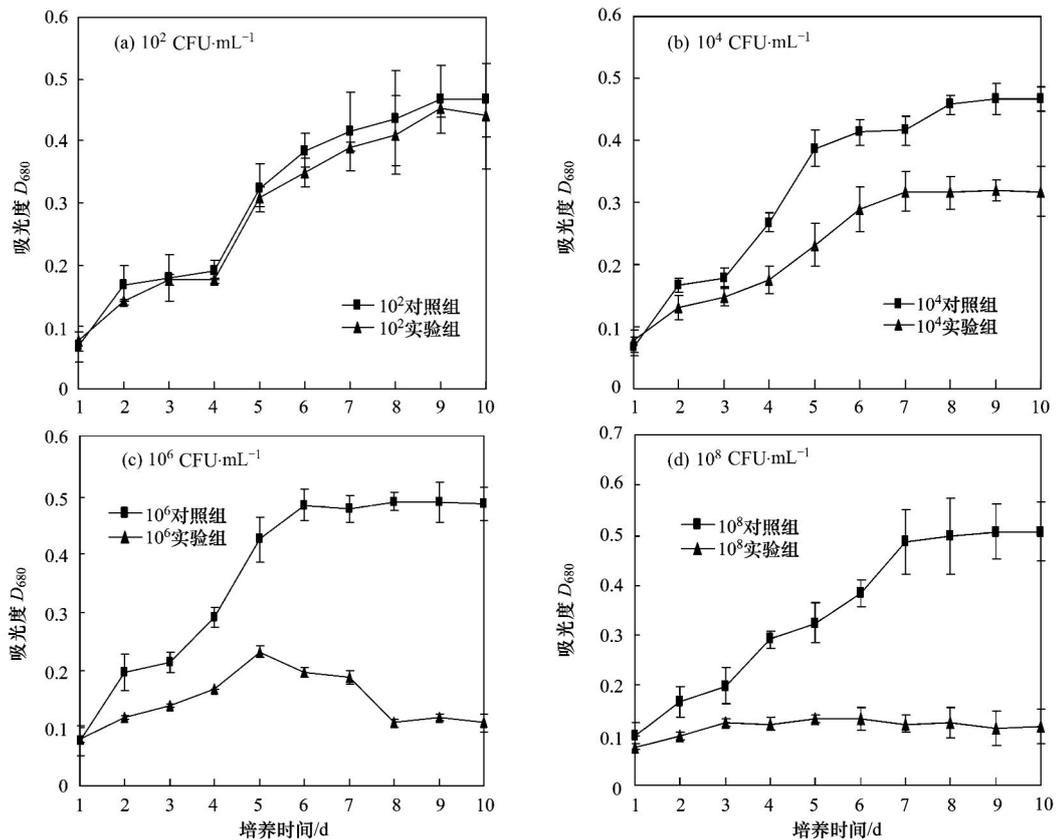
Fig. 2 Phylogenetic tree of *M. adhaerens* HY-3

天凌等<sup>[18]</sup>认为,微生物可能成为化感物质的作用中介使之作用于不同藻类,它们可能直接作用或通过代谢使化感物质发生变化,也可能是微生物自身释放抗生素或刺激物来影响藻类生长. 化感作用研究中的藻类、植物的无菌状态是引来争议的主要原因,因为很难证明观察到的抑藻作用究竟来源于植物,还是自养细菌的作用,或是两者的共同作用. 陈坚等<sup>[19]</sup>对去根和留根的马来眼子菜的抑藻效果进行了比较研究,结果表明,去根组的抑藻效果并不弱于留根组,这一结果表明,马来眼子菜的根际微生物在抑藻效应中不起作用. 孙文浩等<sup>[20]</sup>在凤眼莲无菌苗实验中得到了相同结论. 笔者受 Gades 等<sup>[12]</sup>启发,以 1 株源于虾蟹混养池的 *M. adhaerens* HY-3, 选择我国常见赤潮优势种 *S. costatum* 作为研究对象,研究 *M. adhaerens* HY-3 与其种间的化感作用并对其化感原理进行初步探索. 实验结果(图 3)显示,对照组 *S. costatum* 细胞经过 2~3 d 的缓慢增长,第 4 d 开始进入指数生长期; *S. costatum* 不同浓

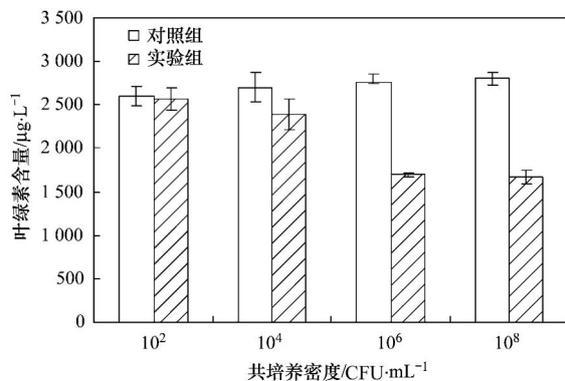
度共培养实验组生长情况差异很大,10<sup>2</sup> 组对照组与实验组生长情况基本一致,处于同等水平[图 3(a)],而自 10<sup>4</sup> 起 *M. adhaerens* HY-3 显示了对 *S. costatum* 的抑制作用,到实验的第 10 d *S. costatum* 10<sup>4</sup> 组是对照组的 70%、10<sup>6</sup> 组是对照组的 23% [3(b)和(c)],而 10<sup>8</sup> 组一直维持在对照组的 20% 左右水平[3(d)]. 海洋细菌 *M. adhaerens* HY-3 对 *S. costatum* 在与其共培养体系中显示了一定的抑制作用,抑制效应随菌浓度的增加有逐渐增加的趋势,同时对菌藻细胞进行显微计数,结果与吸光度法一致. 镜检发现,10<sup>8</sup> 组 *S. costatum* 的细胞死亡较多,只剩下空壳的碎屑. 经分析,共培养 10<sup>4</sup> 实验组与对照组结果比较差异性显著 ( $P < 0.05$ ); 10<sup>6</sup>、10<sup>8</sup> 实验组与对照组结果比较差异性极其显著 ( $P < 0.01$ ).

### 2.3 共培养体系 *M. adhaerens* HY-3 对 *S. costatum* 的叶绿素 a 合成的影响

共培养条件下,不同浓度的 *M. adhaerens* HY-3 对 *S. costatum* 叶绿素含量的影响如图 4 所示. 第

图3 中肋骨条藻与 *M. adhaerens* HY-3 共培养生长状况Fig. 3 Growth curve of *S. costatum* co-cultured with *M. adhaerens* HY-3

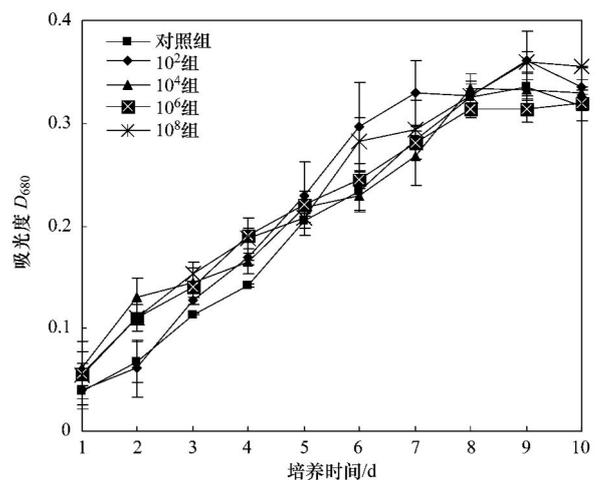
10 d时,  $10^6$  的 *M. adhaerens* HY-3 对 *S. costatum* 叶绿素含量抑制率达到 38%, 表现出了显著的影响 ( $P < 0.05$ ).  $10^8$  组, *M. adhaerens* HY-3 对 *S. costatum* 叶绿素含量的抑制更加明显, 抑制率也达到了 40%, 表现出了明显的抑制作用 ( $P < 0.05$ ). 可以看出 *M. adhaerens* HY-3 对 *S. costatum* 叶绿素含量的抑制效应与对生长作用的影响是一致的, 随菌浓度的增加有逐渐增加的趋势. 可以看出, 在菌藻共培养条件下, 叶绿素的变化趋势与藻细胞密度变化

图4 *M. adhaerens* HY-3 对中肋骨条藻的叶绿素 a 含量的影响Fig. 4 Effect of *M. adhaerens* HY-3 on the chlorophyll a content of *S. costatum*

基本一致, 两者都证明高密度的 *M. adhaerens* HY-3 对 *S. costatum* 有着明显的抑制作用, 本实验结果与郑天凌等<sup>[11]</sup>结论一致.

#### 2.4 *M. adhaerens* HY-3 代谢物对 *S. costatum* 生长影响

图 5 显示, *M. adhaerens* HY-3 代谢物对 *S. costatum* 的生长无影响, 所有实验组均和对对照组处

图5 *M. adhaerens* HY-3 代谢物对中肋骨条藻生长影响Fig. 5 Effect of metabolites of *M. adhaerens* HY-3 on the growth of *S. costatum*

于同等水平,生长趋势相同,无差异性. 本研究的共培养体系是以不同菌藻细胞密度为基础,菌对藻的生长及叶绿素含量抑制效应随菌浓度的增加有逐渐增加的趋势,这种抑制作用是否就是由菌藻之间的密度效应而形成的,但藻对菌的生长无任何影响,有关问题值得探讨. 王悠等<sup>[21]</sup>研究显示,细胞接触对于微藻种间竞争的产生与否并不起到决定性的作用. 本研究虽然得出海洋细菌 *M. adhaerens* HY-3 对 *S. costatum* 的作用应由细胞间的直接接触进行的结论,但由于菌胞外代谢物成分存在不确定性,所以关于菌藻之间的化感机制研究有待进一步深入.

### 3 结论

(1) 海洋细菌 *M. adhaerens* HY-3 对 *S. costatum* 在其共培养体系中显示了一定的抑制作用,抑制效应随共培养中菌密度的增加有逐渐增加的趋势. 自  $10^4$  起 *M. adhaerens* HY-3 显示了对 *S. costatum* 的抑制作用,到实验的第 10 d *S. costatum*  $10^4$  组、 $10^6$  组、 $10^8$  组分别是对照组的 70%、23%、22%.

(2) 海洋细菌 *M. adhaerens* HY-3 对 *S. costatum* 叶绿素的合成有明显抑制效应,抑制效应随共培养中菌密度的增加有逐渐增加的趋势, $10^6$  组的 *M. adhaerens* HY-3 对 *S. costatum* 叶绿素合成抑制率达到 38%, $10^8$  组抑制率达 40%.

(3) *M. adhaerens* HY-3 代谢物对 *S. costatum* 的生长无影响,并且认为菌对藻的作用应由细胞间的直接接触进行,而不需要通过介质来完成. 笔者认为与菌藻的种属差异有关,这种细胞接触作用是由菌藻种类决定的,不同菌藻表现出不同的种间相互作用.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 陆斗定, 齐雨藻, Goebel J, 等. 东海原甲藻修订及与相关原甲藻的分类学比较[J]. 应用生态学报, 2003, **14**(7): 1060-1064.
- [ 2 ] 张冬鹏, 武宝玕. 几种赤潮藻对温度、氮、磷的响应及藻间相互作用的研究[J]. 暨南大学学报(自然科学与医学版), 2000, **21**(5): 82-87.
- [ 3 ] 和丽忠, 陈锦玉, 董宝生, 等. 国内植物化感作用研究概况[J]. 云南农业科技, 2001, (1): 37-41.
- [ 4 ] 郝雯瑾, 王悠, 唐学玺. 两种海洋微藻——强壮前沟藻与青岛大扁藻之间的相互作用研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2008, **47**(增刊): 98-105.
- [ 5 ] 朱俊英, 刘碧云, 王静, 等. 穗花狐尾藻化感作用对铜绿微

- 囊藻光合效率的影响[J]. 环境科学, 2011, **32**(10): 2904-2908.
- [ 6 ] Körner S, Nicklisch A. Allelopathic growth inhibition of selected phytoplankton species by submerged macrophytes[J]. Journal of Phycology, 2002, **38**(5): 862-871.
- [ 7 ] 鲜啟鸣, 陈海东, 邹惠仙, 等. 四种沉水植物的克藻效应[J]. 湖泊科学, 2005, **17**(1): 75-80.
- [ 8 ] Xian Q, Chen H, Zou H, et al. Allelopathic activity of volatile substance from submerged macrophytes on *Microcystin aeruginosa* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, **26**(11): 3549-3554.
- [ 9 ] 吴晓辉, 张兵之, 邓平, 等. 马来眼子菜化感作用对斜生栅藻同工酶的影响[J]. 武汉植物学研究, 2007, **25**(5): 479-483.
- [ 10 ] Bauer N, Blaschke U, Beutler E, et al. Seasonal and interannual dynamics of polyphenols in *Myriophyllum verticillatum* and their allelopathic activity on *Anabaena variabilis*[J]. Aquatic Botany, 2009, **91**(2): 110-116.
- [ 11 ] 郑天凌, 田蕴, 苏建强, 等. 海洋赤潮生物与厦门海域几种细菌的生态关系研究[J]. 生态学报, 2002, **22**(12): 2063-2070.
- [ 12 ] Gädes A, Kaeppel E, Shehzad A, et al. Complete genome sequence of *Marinobacter adhaerens* type strain (HP15), a diatom-interacting marine microorganism [J]. Standards in Genomic Sciences, 2010, **3**(2): 97-107.
- [ 13 ] 钟恢明, 张健, 刘力章. 实验条件下原甲藻与中肋骨条藻种间相互作用研究[J]. 江西科学, 2011, **29**(5): 593-596, 677.
- [ 14 ] 陈必链, 黄健, 梁世中. 紫球藻的研究进展[J]. 海洋通报, 2002, **21**(5): 75-81.
- [ 15 ] 徐涤, 秦松, 庞国兴. 青岛和大连海区海带 (*Laminaria japonica*) 外生细菌的 16S rRNA 基因序列分析[J]. 高技术通讯, 2004, **14**(2): 81-86.
- [ 16 ] 孙力军, 陆兆新, 别小妹, 等. 1 株抗菌植物内生菌 EJH-2 菌株的分离和鉴定[J]. 中国微生物学杂志, 2006, **18**(1): 23-26.
- [ 17 ] 陈宇炜, 陈开宁, 胡耀辉. 浮游植物叶绿素 a 测定的“热乙醇法”及其测定误差的探讨[J]. 湖泊科学, 2006, **18**(5): 550-552.
- [ 18 ] 郑天凌, 庄铁城, 蔡立哲, 等. 微生物在海洋污染环境中的生物修复作用[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2001, **40**(2): 524-534.
- [ 19 ] 陈坚, 顾林娣, 章宗涉, 等. 马来眼子菜抑制藻类增长及其抑制系数的计算[J]. 上海师范大学学报(自然科学版), 1994, **23**(1): 69-73.
- [ 20 ] 孙文浩, 余叔文. 相生相克效应及其应用[J]. 植物生理学通讯, 1992, **28**(2): 81-87.
- [ 21 ] 王悠, 俞志明, 宋秀贤, 等. 大型海藻与赤潮微藻以及赤潮微藻之间的相互作用研究[J]. 环境科学, 2006, **27**(2): 274-280.

## CONTENTS

Characteristics of Total Gaseous Mercury Concentrations at a Rural Site of Yangtze Delta, China .....	DOU Hong-ying, WANG Shu-xiao, WANG Long, <i>et al.</i> ( 1 )
Compositions of Organic Acids in PM <sub>10</sub> Emission Sources in Xiamen Urban Atmosphere .....	YANG Bing-yu, HUANG Xing-xing, ZHENG An, <i>et al.</i> ( 8 )
Analysis on Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol of Xinglong .....	LI Xing-ru, SONG Ai-li, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> ( 15 )
Effects of Gaseous Compositions the on Simultaneous Removal of NO <sub>x</sub> and SO <sub>2</sub> from Simulated Flue Gas by Ammonia Absorption .....	WANG Hong, ZHU Tian-le, WANG Mei-yan ( 21 )
Comparing the Ammonia Volatilization Characteristic of Two Typical Paddy Soil with Total Wheat Straw Returning in Taihu Lake Region .....	WANG Jun, WANG De-jian, ZHANG Gang, <i>et al.</i> ( 27 )
Real-Time Analysis of Polyvinyl Chloride Thermal Decomposition/Combustion Products with Single Photon Ionization/Photoelectron Ionization Online Mass Spectrometer .....	CHEN Wen-dong, HOU Ke-yong, CHEN Ping, <i>et al.</i> ( 34 )
Surface Characteristics of Alkali Modified Activated Carbon and the Adsorption Capacity of Methane .....	ZHANG Meng-zhu, LI Lin, LIU Jun-xin, <i>et al.</i> ( 39 )
Distribution of Dimethylsulfoxide(DMSO) in the Surface Water of the Yellow Sea and the Bohai Sea .....	WANG Min, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng ( 45 )
Resolving Characteristic of CDOM by Excitation-Emission Matrix Spectroscopy Combined with Parallel Factor Analysis in the Seawater of Outer Yangtze Estuary in Autumn in 2010 .....	YAN Li-hong, CHEN Xue-jun, SU Rong-guo, <i>et al.</i> ( 51 )
Estimation and Forecast of Chlorophyll a Concentration in Taihu Lake Based on Ensemble Square Root Filters .....	LI Yuan, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> ( 61 )
Research of Hyperspectral Reconstruction Based on HJ1A-CCD Data .....	GUO Yu-long, LI Yun-mei, ZHU Li, <i>et al.</i> ( 69 )
Research on the Sensitivity of Geochemical of Underground River in Chongqing Xueyu Cave .....	XU Shang-quan, YANG Ping-heng, YIN Jian-jun, <i>et al.</i> ( 77 )
Bivariate Statistical Model for Calculating Phosphorus Input Loads to the River from Point and Nonpoint Sources .....	CHEN Ding-jiang, SUN Si-yang, JIA Ying-na, <i>et al.</i> ( 84 )
Temporal and Spatial Variations of Total Nitrogen and Total Phosphorus in the Typical Reaches of Qinhuai River .....	LI Yue-fei, XIA Yong-qiu, LI Xiao-bo, <i>et al.</i> ( 91 )
Derivation and Application of Sediment Quality Criteria of Cd and Hg for the Xiangjiang River .....	JIANG Bo-feng, SANG Lei-xin, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> ( 98 )
Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Soil of Relocation Areas from the Danjiangkou Reservoir .....	ZHANG Lei, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> ( 108 )
Concentrations of Soil Heavy Metals and Their Spatial Distribution in the Surrounding Area of Fenhe Reservoir .....	LI Jin-chang, ZHANG Hong, SHI Wei ( 116 )
Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals of Groundwaters in the Irrigation District of the Lower Reaches of Yellow River .....	ZHANG Yan, LI Fa-dong, OUYANG Zhu, <i>et al.</i> ( 121 )
Concentrations and Distribution of Organochlorine Pesticides in the Surface Sediments of Jiaozhou Bay, Taotzi Bay and Sishili Bay .....	LIU Yi-kai, ZHONG Guang-cai, TANG Jian-hui, <i>et al.</i> ( 129 )
Choice of Macroinvertebrate Metrics for Constructing a Benthic-Index of Biotic Integrity Based on the Disturbance Gradients in the Qinjiang River Basin .....	LU Dong-qi, ZHANG Yong, CAI De-suo, <i>et al.</i> ( 137 )
Isolation and Identification of <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 and Its Allelopathy on <i>Skeletonema costatum</i> .....	WANG Hong-bin, CHEN Wen-hui, LI Xin-shu, <i>et al.</i> ( 145 )
Effects of the Rice Straw on <i>Microcystis aeruginosa</i> Analyzed by Different Physiological Parameters .....	SU Wen, KONG Fan-xiang, YU Yang, <i>et al.</i> ( 150 )
Effects of Allochemicals Ethyl Cinnamate on the Growth and Physiological Characteristics of <i>Chlorella pyrenoidosa</i> .....	GAO Li-li, GUO Pei-yong, SU Guang-ming, <i>et al.</i> ( 156 )
Hydraulic Simulation and Safety Assessment of Secondary Water Supply System with Anti-Negative Pressure Facility .....	WANG Huan-huan, LIU Shu-ming, JIANG Shuai, <i>et al.</i> ( 163 )
Effect of Relative Molecular Mass Distribution and Hydrophilicity/Hydrophobicity of NOM on Membrane Fouling in MF-combined Process .....	HU Meng-liu, LIN Jie, XU Guang-hong, <i>et al.</i> ( 169 )
Effect of Permeabilization on Sulfate Reduction Activity of <i>Desulfovibrio vulgaris</i> Hildenborough Cells in the Presence of Different Electron Donors .....	XU Hui-wei, ZHANG Xu, LI Li-ming, <i>et al.</i> ( 177 )
Dechlorination of HCB by Bimetals Based on Zero Valent Iron .....	ZENG Xian-wei, LIU Jian-guo, NIE Xiao-qin ( 182 )
Study on Kinetics of Photoelectrocatalytic Degradation of Supported TiO <sub>2</sub> on Malachite Green .....	ZHANG Xiao-na, ZHOU Shao-qi, ZHOU Xiao ( 188 )
Measurement and Analysis of Micropore Aeration System's Oxygenating Ability Under Operation Condition in Waste Water Treatment Plant .....	WU Yuan-yuan, ZHOU Xiao-hong, SHI Han-chang, <i>et al.</i> ( 194 )
Influence of Microbubble and Its Generation Process on Mixed Liquor Properties of Activated Sludge .....	LIU Chun, MA Jin, ZHANG Lei, <i>et al.</i> ( 198 )
Impact of Different Nitrogen Concentrations on the N <sub>2</sub> O Production in the Denitrification Process of Granular Sludge .....	HAN Xue, GAO Da-wen ( 204 )
Effect of Simulated Heavy Metal Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> .....	XIE Xin-yuan, SUN Pei-de, LOU Ju-qing, <i>et al.</i> ( 209 )
Characteristic and Ion Exchanges During Cu <sup>2+</sup> and Cd <sup>2+</sup> Biosorption by <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> .....	BAI Jie-qiong, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> ( 217 )
Sorption of Nitrobenzene to Anionic Surfactant Modified Layered Double Hydroxides .....	XIA Yan, ZHU Run-liang, TAO Qi, <i>et al.</i> ( 226 )
Study on Phosphate Removal and Recovery by Activated Alumina .....	MENG Wen-na, XIE Jie, WU De-yi, <i>et al.</i> ( 231 )
Spatial Distribution of Inhalable Particulate and Association with Respiratory Disease in Beijing City .....	YANG Wei, ZHAO Wen-ji, GONG Zhao-ning, <i>et al.</i> ( 237 )
Pollution Levels of Perfluorochemicals in Chicken Eggs and Duck Eggs from the Markets in Beijing .....	QI Yan-jie, ZHOU Zhen, SHI Ya-li, <i>et al.</i> ( 244 )
Residual Levels of Pesticides in Freshwater Fish from Beijing Aquatic Product Markets and Health Risk Assessment .....	YU Zhi-yong, JIN Fen, SUN Jing-fang, <i>et al.</i> ( 251 )
Characterizing the Toxicity Interaction of the Binary Mixture Between DMSO and Pesticide by the Multi-Effect Residual Analysis ( MERA) .....	HUO Xiang-chen, LIU Shu-shen, ZHANG Jing, <i>et al.</i> ( 257 )
Isolation of Quinolofop- <i>p</i> -ethyl-degrading Bacteria from Soil by DGGE-Colony <i>in situ</i> Hybridization .....	LÜ Xin, PENG Xia-wei, HU Qing, <i>et al.</i> ( 263 )
White-Rot Fungi Combinations Impact on Enzyme Productions .....	MENG Yao, LIANG Hong, GAO Da-wen ( 271 )
Effects of Different Fertilizer Application on Soil Active Organic Carbon .....	ZHANG Rui, ZHANG Gui-long, JI Yan-yan, <i>et al.</i> ( 277 )
Effect of Reclamation on the Vertical Distribution of SOC and Retention of DOC .....	HUO Li-li, ZOU Yuan-chun, GUO Jia-wei, <i>et al.</i> ( 283 )
Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Composition in <i>Suaeda salsa</i> Wetland in the Yellow River Delta .....	DONG Hong-fang, YU Jun-bao, GUAN Bo ( 288 )
Study the Restoration Technology of Concentrated Application-Natural Diffusion about Amendments of Acidified Soil of Hilly Woodland .....	FANG Xiong, LIU Ju-xiu, YIN Guang-cai, <i>et al.</i> ( 293 )
Optimizing Remediation Conditions of Non-thermal Plasma for DDTs Heavily Contaminated Soil .....	CHEN Hai-hong, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> ( 302 )
Chemical Extraction of Arsenic Co-precipitated with Amorphous Fe(OH) <sub>3</sub> and Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	CHEN Yi-ping, WANG Shao-feng, JIA Yong-feng ( 308 )
Influence of Aluminum and Manganese on the Growth, Nutrient Uptake and the Efflux by Ectomycorrhizal Fungi .....	LI Hua, HUANG Jian-guo, YUAN Ling ( 315 )
High-solids Anaerobic Co-digestion of Sludge and Kitchen Garbage Under Mesophilic Conditions .....	DUAN Ni-na, DONG Bin, LI Jiang-hua, <i>et al.</i> ( 321 )
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of High Surface Area Biomass-based Activated Carbons .....	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> ( 328 )
Study on Strategies of Pollution Prevention in Coastal City of Zhejiang Province Based on Scenario Analysis .....	TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun, DU Peng-fei, <i>et al.</i> ( 336 )
Advance in the Bioavailability Monitoring of Heavy Metal Based on Microbial Whole-cell Sensor .....	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xiu-liang, <i>et al.</i> ( 347 )
Characteristics of Heavy Metal Contamination in Street Dusts Along the Urban-Rural Gradient Around Beijing .....	HE Xiao-yan, GU Pei, LI Xu-yong, <i>et al.</i> ( 357 )
Content Trends of Pollutants in Street Dust of Beijing Along the Urban-Rural Gradient and Road Density Gradient .....	TANG Rong-li, MA Ke-ming, ZHANG Yu-xin, <i>et al.</i> ( 364 )
Analysis of First Flush Effect of Typical Underlying Surface Runoff in Beijing Urban City .....	REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> ( 373 )
Temporal Variation of Water Quality and Driving Factors in Yanghe Watershed of Zhangjiakou .....	PANG Bo, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> ( 379 )
Research on Carbon Reduction Potential of Electric Vehicles for Low-Carbon Transportation and Its Influencing Factors .....	SHI Xiao-qing, LI Xiao-nuo, YANG Jian-xin ( 385 )
Investigation of Waste Classification and Collection Actual Effect and the Study of Long Acting Management in the Community of Beijing .....	DENG Jun, XU Wan-ying, ZHOU Chuan-bin ( 395 )
Problems and Countermeasures in the Application of Constructed Wetlands .....	HUANG Jin-lou, CHEN Qin, XU Lian-huang ( 401 )

# 《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1月15日 34卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 1 Jan. 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. 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