

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第7期

Vol.34 No.7

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

唐山市大气颗粒物 OC/EC 浓度谱分布观测研究 郭育红, 辛金元, 王跃思, 温天雪, 李杏茹, 封孝信 (2497)

北京东灵山地区主要大气污染物浓度变化特征 于阳春, 胡波, 王跃思 (2505)

奥运前期与奥运期间北京市大气细颗粒物特征比较分析 张菊, 欧阳志云, 苗鸿, 王效科, 任玉芬, 宋文质 (2512)

华东森林及高山背景区域臭氧变化特征及影响因素 苏彬彬 (2519)

北京市居家空气微生物粒径及分布特征研究 方治国, 孙平, 欧阳志云, 刘芃, 孙力, 王小勇 (2526)

民用燃煤源中多环芳烃排放因子实测及其影响因素研究 海婷婷, 陈颖军, 王艳, 田崇国, 林田 (2533)

醇类汽油车醇醛酮、芳香烃和烯烃类排放的试验研究 张凡, 王建华, 王小臣, 王建昕 (2539)

微波解吸-催化燃烧净化甲苯研究 曹晓强, 张浩, 黄学敏 (2546)

生物滴滤池对 BTEX 的去除及相应细菌群落分析 李建军, 廖东奇, 许玫英, 孙国萍 (2552)

炼油厂废水处理站挥发性羰基化合物成分谱研究 周博宇, 刘旺, 王伯光, 周咪, 黄青, 周磊 (2560)

春季东、黄海溶解甲烷的分布和海水交换通量 曹兴朋, 张桂玲, 马啸, 张国玲, 刘素美 (2565)

千岛湖湖泊区水体季节性分层特征研究 董春颖, 虞左明, 吴志旭, 吴春金 (2574)

新安江流域土地利用结构对水质的影响 曹芳芳, 李雪, 王东, 赵越, 王玉秋 (2582)

长江中下游草型湖泊浮游植物群落及其与环境因子的典范对应分析 孟睿, 何连生, 过龙根, 席北斗, 李中强, 舒俭民, 刁晓君, 李必才 (2588)

河口盐度梯度下溶解态核酸的微生物可利用性 杨青青, 李朋辉, 黄清辉 (2597)

水藻暴发的影响因素定量化研究初步 张卓, 宋志尧, 黄昌春, 俞肇元 (2603)

深水型水库藻类功能组时空演替及生境变化的影响 卢金锁, 胡亚潘 (2611)

结合水体光学分类反演太湖总悬浮物浓度 周晓宇, 孙德勇, 李云梅, 李俊生, 龚绍琦 (2618)

Subwet 模型在人工湿地设计中的应用 李慧峰, 黄津辉, 林超 (2628)

白洋淀荷茎叶提取液对铜绿微囊藻及四尾栅藻化感效应 何连生, 孟繁丽, 刁晓君, 李一葳, 孟睿, 席北斗, 舒俭民 (2637)

苦草 (*Vallisneria spiralis*) 对城市缓流河道黑臭底泥理化性质的影响 许宽, 刘波, 王国祥, 马久远, 曹勤, 周锋 (2642)

铁屑-微生物协同还原去除水体中 Cr(VI) 研究 汤洁, 王卓行, 徐新华 (2650)

铁铜催化剂非均相 Fenton 降解苯酚及机制研究 杨岳主, 李玉平, 杨道武, 段锋, 曹宏斌 (2658)

不同形态无机氮对水中微量药物安替比林光降解效能影响 赵倩, 陈超, 封莉, 张立秋 (2665)

邻苯二甲酸二甲酯的紫外光-H₂O₂ 降解机制研究 刘青, 陈成, 陈泓哲, 杨绍贵, 何欢, 孙成 (2670)

二胺基改性有序多孔 SBA-15 对溶液中 Cd²⁺ 离子的吸附研究 张萌, 杨亚提, 秦睿, 王力, 张增强, 李忠宏, 李荣华, 孟昭福 (2677)

酸化蛭石的表面有机修饰及其对疏水性微污染物的吸附 蒋争明, 于旭彪, 胡芸, 任源, 李雪辉, 韦朝海 (2686)

基于废陶瓷的多孔陶瓷研制及其对 Ni²⁺ 的吸附性能 张永利, 王承智, 史册, 尚玲玲, 马瑞, 董婉莉 (2694)

树皮支持的厌氧生物法去除地下水中的高氯酸盐 王蕊, 刘菲, 陈楠, 陈鸿汉 (2704)

Cr(VI) 污染地下水修复的 PRB 填料实验研究 朱文会, 董良飞, 王兴润, 翟亚丽 (2711)

化学沉淀法去除稀土湿法冶炼废水中钙与高浓度氨氮研究 王浩, 成官文, 宋晓薇, 徐子涵, 蒙金结, 董传强 (2718)

镍铁尾矿硫酸浸出动力学研究 陈安安, 周少奇, 黄鹏飞 (2729)

HRT 对 A²O 工艺中典型多环麝香迁移转化的影响 刘鹏程, 黄满红, 陈东辉, 陈亮 (2735)

发酵液作为 EBPR 碳源的动力学模拟 张超, 陈银广 (2741)

强化污泥利用水解反应器改善碳源与污泥减量作用研究 熊娅, 王强, 宋英豪, 朱民, 林秀军 (2748)

污泥胞外聚合物的提取方法及其对污泥脱水性能的影响 周俊, 周立祥, 黄焕忠 (2752)

不同粒径铁铝泥对砷(III)的吸附效果 林璐, 胥嘉瑞, 吴昊, 王昌辉, 裴元生 (2758)

我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析 仇焕广, 廖绍攀, 井月, 栾江 (2766)

浙北平原富硒土壤资源区硒来源的定量分离 徐明星, 潘卫丰, 岑静, 马学文 (2775)

三江平原土地利用方式变化对土壤锰形态影响 张仲胜, 吕宪国, 宋晓林 (2782)

吉林前郭水田土壤有机碳垂向分布规律和储量研究 汤洁, 张雯辉, 李昭阳, 张楠, 胡猛 (2788)

关中地区农田土壤有机碳固存速率及影响因素: 以陕西武功县为例 张晓伟, 许明祥 (2793)

三峡库区不同林草措施土壤活性有机碳及抗蚀性研究 黄茹, 黄林, 何丙辉, 周立江, 于传, 王峰 (2800)

土壤自养微生物同化碳向土壤有机碳库输入的定量研究: ¹⁴C 连续标记法 史然, 陈晓娟, 吴小红, 简燕, 袁红朝, 葛体达, 隋方功, 童成立, 吴金水 (2809)

西南丘陵区保护性耕作下小麦农田土壤呼吸及影响因素分析 张赛, 张晓雨, 王龙昌, 罗海秀, 周航飞, 马仲炼, 张翠微 (2815)

丹江口水库迁建区土壤有机氯农药的分布特征及风险评价 李子成, 秦延文, 郑丙辉, 张雷, 赵艳民, 时瑶 (2821)

农药企业场地苯系物污染风险及调控对策 虎博, 王铁宇, 杜立宇, 谭冰, 朱朝云, 吕永龙 (2829)

水分管理对硫铁镉在水稻根区变化规律及其在水稻中积累的影响 张雪霞, 张晓霞, 郑煜基, 王荣萍, 陈能场, 卢普相 (2837)

硝酸盐对沉积物中有机物氧化减量及微生物群落结构的影响 刘近, 邓代永, 孙国萍, 刘永定, 许玫英 (2847)

零价铁对脱色希瓦氏菌 S12 偶氮还原的促进作用 周庆, 陈杏娟, 郭俊, 孙国萍, 许玫英 (2855)

2 株好氧反硝化菌的筛选及其强化贫营养生物膜脱氮效果 全向春, 岑艳, 钱殷 (2862)

反硝化聚磷菌快速富集、培养及其荧光原位杂交技术鉴别 刘立, 汤兵, 黄绍松, 付丰连, 张启泰, 黎健彬, 罗建中 (2869)

1 株反硝化除磷菌的鉴定及其反硝化功能基因研究 张倩, 王弘宇, 桑稳姣, 李孟, 杨开, 马放 (2876)

1 株高效 BBP 降解菌的分离与特性研究 陈湖星, 杨雪, 张凯, 钟秋, 郭佳, 王攀, 熊丽, 刘德立 (2882)

微生物-化学水解联合作用下烟嘧磺隆的降解 张小林, 李咏梅, 袁志文 (2889)

扑草净降解菌的分离、筛选与鉴定及降解特性初步研究 周际海, 孙向婷, 胡锋, 李辉信 (2894)

固定化 *Lysinibacillus cresolovorans* 的 PVA-SA-PHB-AC 复合载体制备及间甲酚的降解 李婷, 任源, 韦朝海 (2899)

生物破乳菌 *Alcaligenes* sp. S-XJ-1 表面活性物质提取与其破乳特性分析 黄翔峰, 张树聪, 彭开铭, 陆卫君, 刘佳 (2906)

A²O 工艺活性污泥中可培养丝状细菌的多样性 高莎, 金德才, 赵志瑞, 齐嵘, 彭霞微, 白志辉 (2912)

生活垃圾堆肥渗滤液污染物组成与演化规律研究 李丹, 何小松, 席北斗, 魏自民, 潘红卫, 赵国鹏, 崔东宇 (2918)

专辑征稿通知 (2551) 《环境科学》征稿简则 (2685) 《环境科学》征订启事 (2868) 信息 (2875)

白洋淀荷茎叶提取液对铜绿微囊藻及四尾栅藻化感效应

何连生¹, 孟繁丽^{1,2}, 刁晓君¹, 李一葳¹, 孟睿¹, 席北斗^{1*}, 舒俭民¹

(1. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 2. 常州大学环境与安全学院, 常州 510280)

摘要: 本研究探讨了活体荷不同部位(茎和叶)提取液对铜绿微囊藻、四尾栅藻生长化感效应, 为推广荷遏制水华暴发及制作抑藻制剂提供理论基础. 实验设计了 5 个浓度梯度, 结果表明, 荷叶浸出液对藻类的抑制效果优于荷茎浸出液, 当荷叶浸出液质量浓度为 25 g·L⁻¹ 时, 对铜绿微囊藻及四尾栅藻的抑制率分别为 71.33%、78.14%. 浸出液成分的 GC-MS 分析表明, 荷叶和茎浸出液都含有丙酰胺, 质量浓度分别为 1.1 mg·L⁻¹、0.2 mg·L⁻¹. 并根据概率计算法, 分别计算了两种藻类的半浓度效应.

关键词: 荷浸提液; 铜绿微囊藻; 四尾栅藻; 半浓度效应; 化感效应

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)07-2637-05

Allelopathic Effect of *Nelumbo nucifera* Stem and Leaf Tissue Extract on the Growth of *Microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus quadricanda*

HE Lian-sheng¹, MENG Fan-li^{1,2}, DIAO Xiao-jun¹, LI Yi-wei¹, MENG Rui¹, XI Bei-dou¹, SHU Jian-min¹

(1. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. School of Environmental & Safety Engineering, Changzhou University, Changzhou 510280, China)

Abstract: Effects of *Nelumbo nucifera* stem and leaf tissue extract on the growth of *Microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus quadricanda* were studied to verify its potential in entriphication control. Five concentrations of *Nelumbo nucifera* stem and leaf tissue extract were chosen to compare their inhibitory effects on the growth of *Microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus quadricanda*. The result showed that the leaf extract inhibited the algae bloom more effectively than the stem extract on the whole. When the leaf extract normality was 25 g·L⁻¹, the highest inhibition rate of *Microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus quadricanda* was 71.33% and 78.14%, respectively, while for the stem extract, the values were 49.78% and 52.14%. Propanamide was found in both the stem and leaf tissue extracts of *Nelumbo nucifera* by GC-MS analysis, with concentrations of 1.1 mg·L⁻¹ and 0.2 mg·L⁻¹, respectively. The EC₅₀ values of the two kinds of algae were calculated by the probability method.

Key words: *Nelumbo nucifera* tissue extract; *Microcystis aeruginosa*; *Scenedesmus quadricanda*; EC₅₀; allelopathic effect

藻类与水生植物的相互抑制效应已被发现了很多年, 研究表明, 水生植物不仅可以从生存竞争的角度对藻类进行抑制, 还能通过分泌化感物质的途径减缓藻类生长速率^[1].

田如男等^[2]研究了梭鱼草(*Pontederia cordata*) + 黄昌蒲(*Iris pseudacorus*) + 水罌粟(*Hydrocleys nymphoides*)、梭鱼草 + 溪荪(*Iris sanguiner*) + 黄菖蒲、梭鱼草 + 溪荪 + 大藻(*Pistia stratiotes*)、白花水龙(*Jussiaea repens*) + 大藻 + 水罌粟等 4 种群落均对铜绿微囊藻有强烈的抑制作用; 胡延尖等^[3]通过对凤尾莲种植水及不同部位甲醇和丙酮提取物的研究, 发现其提取物质对藻类正常生长过程起阻碍作用, 现已被证实具有抑藻效应的高等水生植物有 30 余种^[4].

绿藻(如四尾栅藻)易在春末夏初暴发, 形成水华, 蓝藻中的微囊藻属(如铜绿微囊藻)则是夏季水华的主要藻种^[5,6]. 荷是白洋淀区优势挺水植物, 在荷作为优势物种的区域, 水华藻类较少, 且具有净化

水体的能力. 本研究比较荷不同部位的提取液对铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)及四尾栅藻(*Scenedesmus quadricanda*)的化感抑制作用, 以期为推广种植荷遏制水华暴发及制作抑藻制剂提供理论基础.

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验所用铜绿微囊藻及四尾栅藻均购自中国科学院水生生物研究所, 转接于 M11 培养基中扩大培养. 培养条件为恒温 25℃、光照强度 8 000 lx、光暗比 12 h: 12 h, 每天于 08:00、13:00、18:00 人工各摇晃一次. 当

收稿日期: 2012-09-27; 修订日期: 2013-01-07

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(50908219); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07209-008, 2009ZX07106-001); 国家自然科学基金项目(41201528)

作者简介: 何连生(1976~), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向为水生态修复, E-mail: heliansheng08@126.com

* 通讯联系人, E-mail: xibeidou@263.net

细胞生物量达到 $10^6 \text{ cell}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时进行实验。

荷采于白洋淀,采摘后于 -20°C 冰箱中存放,便于保鲜;实验前研磨磨碎,转移至锥形瓶中,加入超纯水,提取 48 h,将滤液减压抽滤,所得滤液即为植物浸出液,具体提取步骤见文献[7]。

1.2 实验方法

实验时将浸出液(0、5、10、15、20 和 25 mL)和一定体积 M11 培养液及 5mL 藻种(初始密度为 $10^6 \text{ cell}\cdot\text{mL}^{-1}$)分别置于 500 mL 锥形瓶中,定容至 200 mL. 用植物的质量浓度表示浸出液的当量浓度($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$),则相应浓度梯度为 0、5、10、15、20、25 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,分别对应空白组、实验组 1、实验组 2、实验组 3、实验组 4、实验组 5,每组设置 3 个平行样^[7]。

1.3 测试方法

1.3.1 藻细胞计数方法

每次取 1 mL 藻类培养液暂存于试管中,摇匀后用移液枪吸取 0.1 mL 培养液至血球计数板上,再用光学显微镜(Nikon-E200)进行计数观察. 将培养液滴满血球计数板中央计数室,根据需要进行稀释. 每个样品计数 2 次,取平均值,每次计数的结果与其平均值之差应不大于 $\pm 15\%$ ^[8]。

取样频率为每隔 24 h 一次,时间为 09:00,实验周期为 6 d.

1.3.2 叶绿素 a 测定方法

每次取 5 mL 藻类培养液,用滤头进行抽滤后,将滤纸避光保存于 10 mL 离心管中,用丙酮提取. 将装有提取液的离心管进行离心,取上清液,转移至 10 mL 容量瓶中,用丙酮定容至刻线. 最后,用紫外分光光度计进行测试^[9]。

1.3.3 藻细胞抑制率计算方法

浸出液对藻类的抑制情况用如下公式分析^[7]:

$$\text{IR}(\%) = \left(1 - \frac{N}{N_0}\right) \times 100$$

式中,IR 为抑制率; N 为加入浸出液组的藻密度; N_0 为对照组的藻密度。

1.3.4 EC_{50} 的计算方法

EC_{50} 的计算方法:概率单位法. 本研究中藻类生长周期为 6~7 d,因此本文中 EC_{50} 按投加浸出液后 144 h 后抑制率计算,即以 144 h 的 EC_{50} 来反映抑制情况。

1.3.5 GC-MS 分析方法

取浓度为 $25 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 浸出液 500 mL,密封至棕色瓶中,已备后续测定. 将浸出液转移至旋转浓缩蒸发器内,恒温 30°C 加热蒸发,当溶液减到约 10 mL

左右,转移到棕色瓶中,密封保存. 色谱柱型号为 SE-54 石英毛细管柱为柱长 30 m,膜厚 $0.25 \mu\text{m}$,内径 0.25 mm ;升温程序为起始温度 80°C ,以 $10^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 的速率升至 290°C ,在 290°C 保持 10 min;质谱条件为离子源温度 250°C ,接口温度 290°C ;仪器型号为岛津 GCMS-QP2010plus. 图谱分析方法参考文献[7,10]。

2 结果与分析

2.1 荷茎浸出液对铜绿微囊藻、四尾栅藻生长的影响

2.1.1 荷茎浸出液对铜绿微囊藻细胞生物量的影响

由图 1 可知,当荷茎浸出液浓度小于 $5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,对铜绿微囊影响效应为促进作用;当浸出液浓度大于 $5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,铜绿微囊藻受到显著的抑制作用. 实验组 1 随着培养时间增加,其促进作用愈加明显,当实验结束时,其抑制率达到 -45.71% ;观察实验组 2~5 可知,其抑制率在前 4 d 内随着时间的增加而增强,当实验进行到第 5 d 时,抑制率均有一定程度的下降,但实验组 2 与 5 在第 5~6 d 时,其抑制率变化规律为上升趋势. 当荷茎浸出液浓度为 $25 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,对铜绿微囊藻抑制效果最佳,其最优抑制率为 49.78% . 实验组与空白组进行 T 检验,实验组 2~5 与空白组细胞生物量 t 值分别为 1.23、2.14、0.08、11.23,对应的 P 值分别为 0.021、0.034、0.050、0.045,均小于 0.05,由此可知,实验组与空白对照组具有显著差异性。

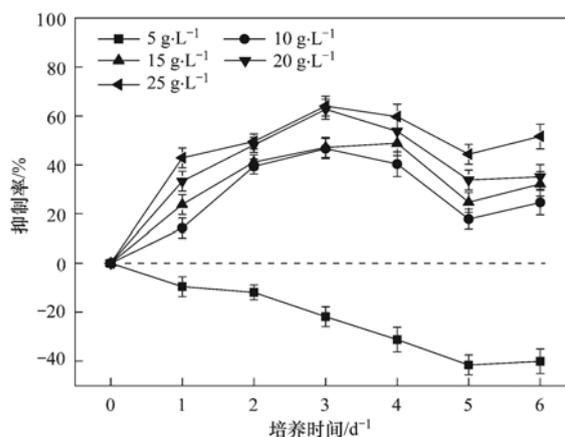


图 1 荷茎浸出液对铜绿微囊藻生长影响

Fig. 1 Effect of *Nelumbo nucifera* stem extract on the growth of *Microcystis aeruginosa*

2.1.2 荷茎浸出液对四尾栅藻生长的影响

四尾栅藻细胞生物量在不同浓度浸出液作用下,呈现出“低促高抑”的变化规律,如图 2 所示. 当

浸出液浓度低于 $5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 实验组藻细胞长势优于空白对照组, 但其抑制率的绝对值在第 6 d 时达到最低值. 实验组 2~5 在实验周期内, 抑制率与培养时间成正相关. 当荷茎浸出液浓度为 $25 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 对四尾栅藻的抑制力度最强, 其最佳抑制率为 52.14%. 实验组与空白组进行 T 检验, 实验组 2~5 与空白组细胞生物量 t 值分别为 2.13、1.53、1.28、4.21, 对应的 P 值分别为 0.032、0.044、0.0、0.038, 均小于 0.05, 由此可知, 实验组与空白对照组具有显著差异性.

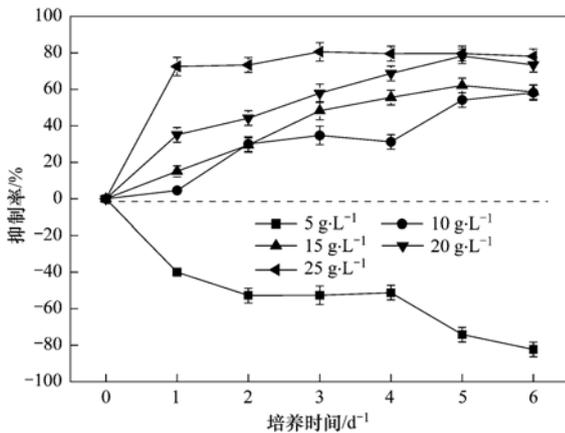


图 2 荷茎浸出液对四尾栅藻生长影响

Fig. 2 Effect of *Nelumbo nucifera* stem extract on the growth of *Scenedesmus quadricauda*

2.2 荷叶浸出液对铜绿微囊藻、四尾栅藻生长影响

2.2.1 荷叶浸出液对铜绿微囊藻生长影响

荷叶浸出液对铜绿微囊藻的抑制规律与荷茎浸出液的抑制规律相似, 均表现出“低促高抑”的现象. 当荷叶浸出液浓度低于 $5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 其抑制率的绝对值随着时间的增加而增大; 当浸出液浓度大于 $5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 铜绿微囊藻的生长受到抑制. 当实验进行到第 3d 时, 实验组 2~5 的抑制率均达到最大值, 分别为 46.67%、47.13%、62.74%、71.33%, 而后各实验组的抑制率均有所下降 (图 3). 由此可以, 当荷叶浸出液浓度为 $25 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 对铜绿微囊藻抑制效果最佳, 其抑制率为 71.33%. 实验组与空白组进行 T 检验, 实验组 2~5 与空白组细胞生物量 t 值分别为 0.78、1.69、0.13、6.49, 对应的 P 值分别为 0.013、0.028、0.015、0.044, 均小于 0.05, 由此可知, 实验组与空白对照组具有显著差异性.

2.2.2 荷叶浸出液对四尾栅藻生长影响

荷叶与荷茎对四尾栅藻的抑制实验变化规律基本相似. 当荷叶浸出液浓度低于 $5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 四尾栅藻的生长并未受到抑制 (图 4), 长势良好, 当浸出液

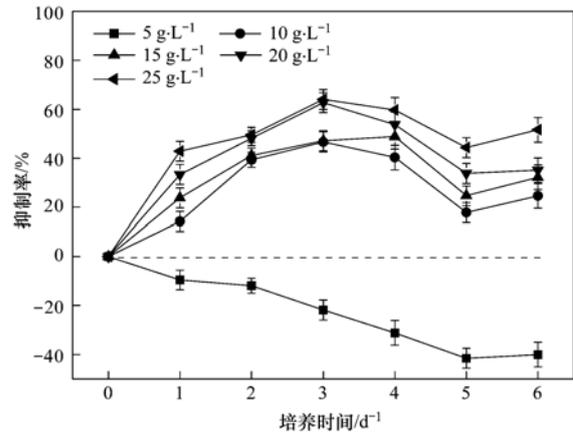


图 3 荷叶浸出液对铜绿微囊藻生长影响

Fig. 3 Effect of *Nelumbo nucifera* leaf extract on the growth of *Microcystis aeruginosa*

浓度大于 $5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 藻细胞生长受到抑制. 实验组 2~5 因浸出液浓度不同, 表现出的抑制效果也不同. 随着浸出液浓度升高, 抑制效果愈加显著, 当浸出液浓度为 $25 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 对藻细胞的抑制率最大, 为 78.14%. 实验组与空白组进行 T 检验, 结实验组 2~5 与空白组细胞生物量 t 值分别为 9.48、1.67、0.71、0.18, 对应的 P 值分别为 0.022、0.031、0.029、0.049, 均小于 0.05, 由此可知, 实验组与空白对照组具有显著差异性.

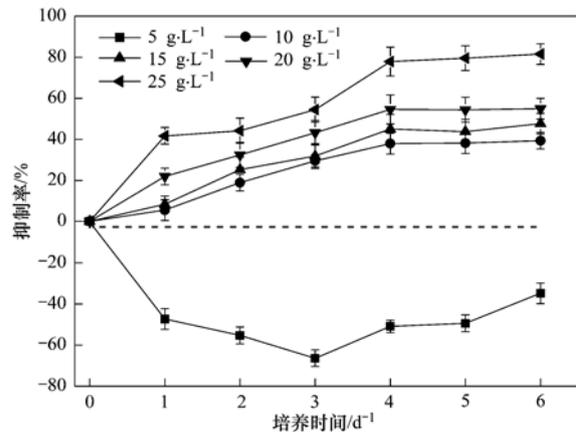


图 4 荷叶浸出液对四尾栅藻生长影响

Fig. 4 Effect of *Nelumbo nucifera* leaf extract on the growth of *Scenedesmus quadricauda*

2.3 半浓度效应

如图 5 所示, 荷叶浸出液的 EC_{50} 值小于荷茎浸出液 EC_{50} , 说明叶浸出液对藻类的抑制效果优于茎浸出液. 荷叶浸出液对铜绿微囊藻及四尾栅藻的 EC_{50} 值分别为 $5.21 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $3.98 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, 由此可见荷叶对四尾栅藻的抑制作用更为显著; 荷茎浸出液对两种藻类的 EC_{50} 值分别为 $8.79 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $5.78 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$,

同样佐证了叶浸出液抑制效果更明显。

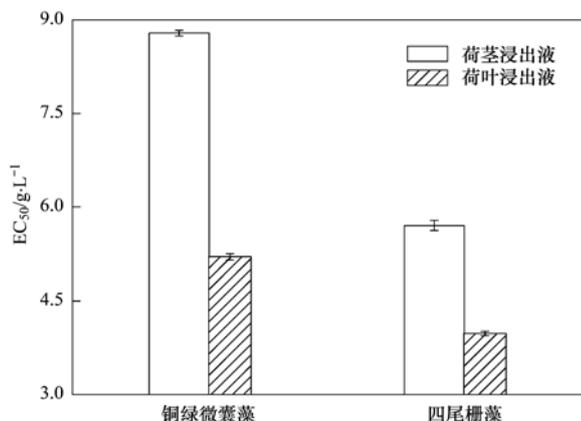


图5 荷茎和叶的浸出液对两种藻的半浓度效应

Fig. 5 Semi-concentration effect (EC_{50}) of *Nelumbo nucifera* stem and leaf extract on *Microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus quadricauda*

2.4 荷浸出液对藻类叶绿素 a 影响

结合荷不同部分浸出液对两种藻类结果可知,荷叶浸出液对藻类抑制效果较好,因此本研究着重探索在荷叶最优当量浓度下对两种藻类叶绿素 a 的影响情况。

当浸出液浓度为 $25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,藻细胞的生长情况受到显著抑制,在该浓度下叶绿素 a 的变化情况见图 6。在浸出液的作用下,叶绿素 a 浓度逐渐下降。四尾栅藻的叶绿素 a 起始浓度高于铜绿微囊藻,但在实验进行的第 4~5 d 时,四尾栅藻的叶绿素 a 含量低于铜绿微囊藻,说明浸出液对四尾栅藻的影响较铜绿微囊藻强烈。

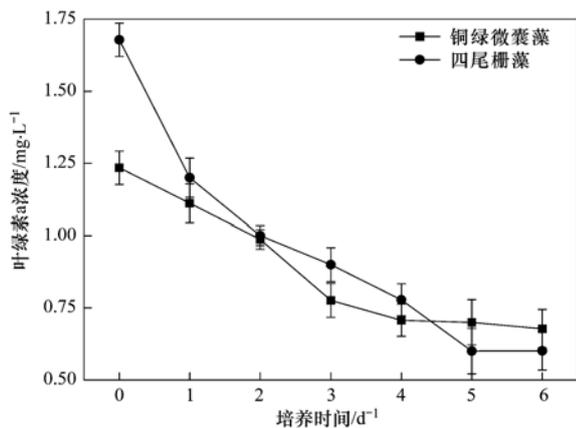


图6 荷叶浸出液对藻细胞叶绿素 a 浓度影响

Fig. 6 Effect of *Nelumbo nucifera* leaf extract on the chlorophyll- α concentration

2.5 GC-MS 检测结果

荷不同部分茎叶对藻类的抑制效果不同,推测其含有的化感物质的种类或数量也应不同。分别将

荷茎叶浸出液进行定性定量检测,部分检测结果见表 1。其中,丙酰胺的抑制效果已被证实,对铜绿微囊藻及斜生栅藻均有抑制效果^[11]。相同当量浓度下,荷叶浸出液中含有有机物的浓度大于荷茎中浓度,揭示了荷叶浸出液抑制效果优于荷茎浸出液的原因之一。这 3 种物质对藻类的抑制效果及机制分析将在后续实验中进行观察分析。

表 1 荷茎叶浸出液 GC-MS 检测结果/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

Table 1 GC-MS analysis of *Nelumbo nucifera* stem and leaf extract/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

浸出液	丙酰胺	棕榈酸乙酯	木蜡酸甲酯
荷茎	0.2	1.28	4.74
荷叶	1.1	3.13	ND

3 讨论

大型水生植物分泌化感物质可抑制叶绿素 a 的合成,破坏藻细胞结构,影响酶活性,从而干扰藻类正常的生理活动,致使其逐渐衰亡,最终遏制藻类的快速繁殖。有研究表明,羟基苯甲酸可能会促使细胞氧自由基产生,间接导致核膜受损,以此来影响细胞的生理活性^[12];凤尾莲根系分泌的物质对栅藻的细胞结构产生严重的破坏,主要表现在细胞膜、叶绿体、线粒体、核膜等均受到不同程度的破坏,间接的导致细胞的生理活动受到破坏,最终影响栅藻细胞的正常生长^[13];邻苯三酚和咖啡酸会导致铜绿微囊藻膜氧化,影响脂类代谢,降低酶体系的活性,破坏细胞膜^[14];菖蒲降低了铜绿微囊藻细胞内的蛋白质含量,使超氧化物歧化酶 SOD 膜脂过氧化产物 MDA 和过氧化氢酶 CAT 等抗氧化系统酶的活性增加,化感物质造成活性氧的过量积累可能是铜绿微囊藻死亡的原因之一^[15]。

本实验中的荷浸出液中经检测含有丙酰胺,该物质已被证实对藻类生长具有抑制作用。且荷不同部分含有该物质的浓度不同,这直接导致了荷茎及叶的浸出液抑制效果的差异性。植物的不同部分产生的化感物质的种类及作用效应不尽相同,不同植物产生的化感克藻化合物的种类和数量都可能不同,在同一植物体内不同组织、器官化感物质的量也会不同,植物产生和分泌化感物质的差异,可能对其抑藻能力产生较大影响^[16]。

GC-MS 检测结果表明,荷叶中含有丙酰胺的浓度是荷浸出液中的 5.5 倍,所以荷叶的抑制效果远远好于荷茎对藻类的抑制效果。当浸出液浓度为 $25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,荷叶对铜绿微囊藻的抑制率是荷茎对其抑制率的 1.43 倍,叶与茎对四尾栅藻的差异为 1.50

倍。在同样情况下,荷叶浸出液对四尾栅藻的抑制率为 78.14%,而对四尾栅藻的抑制为 71.33%,说明化感物质作用具有特异性。这可能与藻类自身结构相关,四尾栅藻及铜绿微囊藻虽同属绿藻门(Chlorophyta),但四尾栅藻定形群体扁平,由 2、4、8、16 个细胞组成,常见的为 4~8 个细胞的群体,群体细胞排列成一直线,而铜绿微囊藻则无此特性。

本课题组长期对白洋淀的监测结果表明,在不同时期荷对水体中的藻类的抑制能力不尽相同,在初夏时期,抑制效果较差,而在 7~8 月,水体中的藻类则较少。因此推测不同时期荷释放化感物质抑制藻类的能力存在很大差异,关于不同时间荷提取液对藻类的化感效应将在后续实验中继续研究。

实验结果表明,荷浸出液对抑制藻化暴发有一定的效果,且荷具有观赏价值,在一定程度上可以净化水体,合理种植还可以调控富营养化,可以作为先锋物种,对于修复水体具有推广价值。

4 结论

(1) 荷叶浸出液的抑制效果优于荷茎浸出液,荷叶浸出液对四尾栅藻的抑制效果最好,当浸出液浓度为 $25 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,对四尾栅藻的抑制率为 78.14%,而对铜绿微囊藻的抑制率为 71.33%。

(2) 荷叶浸出对铜绿微囊藻及四尾栅藻的 EC_{50} 值分别为 $3.98 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $5.21 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$; 荷茎浸出液对两种藻类的 EC_{50} 值分别为 $8.79 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $5.21 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

(3) 荷提取液中含有丙酰胺,当提取液浓度为 $25 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,初步计算该物质在叶浸出液中浓度为 $1.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,茎浸出液中浓度为 $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

参考文献:

- [1] Rice E L. Allelopathy [M]. (2nd ed.) London: Academic Press, 1984.
- [2] 田如男,孙欣欣,魏勇. 不同类型水生植物群落对铜绿微囊藻的化感作用[J]. 生态环境学报, 2010, 19(9): 2149-2154.
- [3] 胡延尖,王雨辰,陈丰刚,等. 凤眼莲对铜绿微囊藻的化感抑制作用研究[J]. 水生态学杂志, 2010, 3(6): 47-50.
- [4] Mulderij G, Mooij W M, Smolders A J P, et al. Allelopathic inhibition of phytoplankton by exudates from *Stratiotes aloides* [J]. Aquatic Botany, 2005, 82(4): 284-296.
- [5] Heisler J, Clibert P M, Burkholder J M, et al. Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus [J]. Harmful Algae, 2008, 8(1): 3-13.
- [6] Rychtecky P, Znachor P. Spatial heterogeneity and seasonal succession of phytoplankton along the longitudinal gradient in a eutrophic reservoir [J]. Hydrobiologia, 2011, 663(1): 175-186.
- [7] 李锋民. 水生植物化感物质抑制有害藻类的研究[D]. 北京: 清华大学, 2005. 35-128.
- [8] Jones A, Reed R, Weyers J. 李玲,张春荣,郭建军,译. 生物学实验技术[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2001. 146-147.
- [9] 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.
- [10] 刘虎威. 气相色谱方法及应用[M]. (第二版). 北京: 化学工业出版社, 2007. 100-113.
- [11] 刘光涛,周长芳,孙利芳,等. 凤眼莲化感物质对铜绿微囊藻、斜生栅藻生长及细胞数相对比例的影响[J]. 环境科学学报, 2011, 31(10): 2303-2311.
- [12] Xian Q M, Chen H D, Liu H L, et al. Isolation and identification of antialgal compounds from the leaves of *Vallisneria spiralis* L. by activity-guided fractionation [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2006, 13(4): 233-237.
- [13] 李小路,潘慧云,徐洁,等. 金鱼藻与铜绿微囊藻共生情况下的化感作用[J]. 环境科学学报, 2008, 28(11): 2243-2249.
- [14] 花铭,陈良燕,尹大强. 邻苯三酚和咖啡酸对铜绿微囊藻的化感作用及其机制[J]. 环境化学, 2008, 27(3): 331-334.
- [15] 张维昊,周连风,吴小刚,等. 菖蒲对铜绿微囊藻的化感作用[J]. 中国环境科学, 2006, 26(3): 355-358.
- [16] Mulderij G, Van Donk E, Roelofs J G M. Differential sensitivity of green algae to allelopathic substances from *Chara* [J]. Hydrobiologia, 2003, 491(1-3): 261-271.

CONTENTS

Observation of Size Distribution of Atmospheric OC/EC in Tangshan, China	GUO Yu-hong, XIN Jin-yuan, WANG Yue-si, et al. (2497)
Changing Characteristics of the Main Air Pollutants of the Dongling Mountain in Beijing	YU Yang-chun, HU Bo, WANG Yue-si (2505)
Characteristic Comparative Study of Particulate Matters in Beijing Before and During the Olympics	ZHANG Ju, OUYANG Zhi-yun, MIAO Hong, et al. (2512)
Characteristics and Impact Factors of O ₃ Concentrations in Mountain Background Region of East China	SU Bin-bin (2519)
Studies on the Size Distribution of Airborne Microbes at Home in Beijing	FANG Zhi-guo, SUN Ping, OUYANG Zhi-yun, et al. (2526)
Emission Factors of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Residential Coal Combustion and Its Influence Factors	HAI Ting-ting, CHEN Ying-jun, WANG Yan, et al. (2533)
Experimental Research on Alcohols, Aldehydes, Aromatic Hydrocarbons and Olefins Emissions from Alcohols Fuelled Vehicles	ZHANG Fan, WANG Jian-hai, WANG Xiao-cheng, et al. (2539)
Combination Process of Microwave Desorption-Catalytic Combustion for Toluene Treatment	CAO Xiao-qiang, ZHANG Hao, HUANG Xue-min (2546)
Removal of BTEX by a Biotrickling Filter and Analysis of Corresponding Bacterial Communities	LI Jian-jun, LIAO Dong-qi, XU Mei-ying, et al. (2552)
Source Profile of Volatile Carbonyl Compounds in Wastewater Treatment Plant of an Oil Refinery	ZHOU Bo-yu, LIU Wang, WANG Bo-guang, et al. (2560)
Distribution and Air-Sea Fluxes of Methane in the Yellow Sea and the East China Sea in the Spring	CAO Xing-peng, ZHANG Gui-ling, MA Xiao, et al. (2565)
Study on Seasonal Characteristics of Thermal Stratification in Lacustrine Zone of Lake Qiandao	DONG Chun-ying, YU Zuo-ming, WU Zhi-xu, et al. (2574)
Effects of Land Use Structure on Water Quality in Xin'anjiang River	CAO Fang-fang, LI Xue, WANG Dong, et al. (2582)
Canonical Correspondence Analysis Between Phytoplankton Community and Environmental Factors in Macrophytic Lakes of the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	MENG Rui, HE Lian-sheng, GUO Long-gen, et al. (2588)
Microbial Bioavailability of Dissolved Nucleic Acids Across the Estuarine Salinity Gradient	YANG Qing-qing, LI Peng-hui, HUANG Qing-hui (2597)
Elementary Quantitative Study on Factors of Phytoplankton Bloom	ZHANG Zhuo, SONG Zhi-yao, HUANG Chang-chun, et al. (2603)
Spatiotemporal Succession of Algae Functional Groups and the Influence of Environment Change in a Deep-water Reservoir	LU Jin-suo, HU Ya-pan (2611)
Hyperspectral Remote Sensing of Total Suspended Matter Concentrations in Lake Taihu Based on Water Optical Classification	ZHOU Xiao-yu, SUN De-yong, LI Yun-mei, et al. (2618)
Application of Subwet Model in the Design of Constructed Wetland	LI Hui-feng, HUANG Jin-hui, LIN Chao (2628)
Allelopathic Effect of <i>Nelumbo nucifera</i> Stem and Leaf Tissue Extract on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i> and <i>Scenedesmus quadricauda</i>	HE Lian-sheng, MENG Fan-li, DIAO Xiao-jun, et al. (2637)
Influence of <i>Vallisneria spiralis</i> on the Physicochemical Properties of Black-odor Sediment in Urban Sluggish River	XU Kuan, LIU Bo, WANG Guo-xiang, et al. (2642)
Removal of Cr(VI) by Iron Filings with Microorganisms to Recover Iron Reactivity	TANG Jie, WANG Zhuo-xing, XU Xin-hua (2650)
Degradation of Phenol with a Fe/Cu-Catalytic Heterogeneous-Fenton Process	YANG Yue-zhu, LI Yu-ping, YANG Dao-wu, et al. (2658)
Effect of Different Forms of Inorganic Nitrogen on the Photodegradation of Antipyrine in Water	ZHAO Qian, CHEN Chao, FENG Li, et al. (2665)
Degradation Mechanisms of Dimethyl Phthalate in the UV-H ₂ O ₂ System	LIU Qing, CHEN Cheng, CHEN Hong-zhe, et al. (2670)
Adsorption of Cd ²⁺ Ions in Aqueous by Diamine-Modified Ordered Mesoporous SBA-15 Particles	ZHANG Meng, YANG Ya-ti, QIN Rui, et al. (2677)
Surface Organic Modification of Acid Vermiculite and Its Adsorption of Hydrophobic Micro Pollutants in Aqueous Solutions	JIANG Zheng-ming, YU Xu-biao, HU Yun, et al. (2686)
Preparation of Porous Ceramics Based on Waste Ceramics and Its Ni ²⁺ Adsorption Characteristics	ZHANG Yong-li, WANG Cheng-zhi, SHI Ce, et al. (2694)
Perchlorate Removal from Underground Water by Anaerobic Biological Reduction with Bark	WANG Rui, LIU Fei, CHEN Nan, et al. (2704)
Experimental Study on the Remediation of Chromium Contaminated Groundwater with PRB Media	ZHU Wen-hui, DONG Liang-fei, WANG Xing-run, et al. (2711)
Removal of Calcium and High-strength Ammonia Nitrogen from the Wastewater of Rare-earth Elements Hydrometallurgical Process by Chemical Precipitation	WANG Hao, CHENG Guan-wen, SONG Xiao-wei, et al. (2718)
Leaching Kinetics of Josephinite Tailings with Sulfuric Acid	CHEN An-an, ZHOU Shao-qi, HUANG Peng-fei (2729)
Effects of HRT on Fate of Typical Polycyclic Musk by A ² O Process	LIU Peng-cheng, HUANG Man-hong, CHEN Dong-hui, et al. (2735)
Kinetic Simulation of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Fermentation Broth as Carbon Source	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (2741)
Effluent Carbon Source Improvement and Sludge Reduction by Hydrolysis Reactor with Enhanced Sludge Utilization	XIONG Ya, WANG Qiang, SONG Ying-hao, et al. (2748)
Optimization of Extracellular Polymeric Substance Extraction Method and Its Role in the Dewaterability of Sludge	ZHOU Jun, ZHOU Li-xiang, WONG Woo-chung (2752)
Effectiveness of Arsenite Adsorption by Ferric and Alum Water Treatment Residuals with Different Grain Sizes	LIN Lu, XU Jia-rui, WU Hao, et al. (2758)
Regional Differences and Development Tendency of Livestock Manure Pollution in China	QIU Huan-guang, LIAO Shao-pan, JING Yue, et al. (2766)
Quantitative Partitioning of Soil Selenium in the Selenium-Rich Area of Northern Zhejiang Plain	XU Ming-xing, PAN Wei-feng, CENG Jing, et al. (2775)
Effects of Land Use on Manganese Distribution and Fractions in Wetland Soil of Sanjiang Plain, Northeast China	ZHANG Zhong-sheng, LU Xian-guo, SONG Xiao-lin (2782)
Research on Vertical Distribution Pattern and Reserve of Organic Carbon in Paddy Field Soil of Qiangou, Jilin	TANG Jie, ZHANG Wen-hui, LI Zhao-yang, et al. (2788)
Soil Organic Carbon Sequestration Rate and Its Influencing Factors in Farmland of Guanzhong Plain; A Case Study in Wugong County, Shanxi Province	ZHANG Xiao-wei, XU Ming-xiang (2793)
Effects of Biological Regulated Measures on Active Organic Carbon and Erosion-Resistance in the Three Gorges Reservoir Region Soil	HUANG Ru, HUANG Lin, HE Bing-hui, et al. (2800)
Quantifying Soil Autotrophic Microbes-Assimilated Carbon Input into Soil Organic Carbon Pools Following Continuous ¹⁴ C Labeling	SHI Ran, CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, et al. (2809)
Analysis of Soil Respiration and Influence Factors in Wheat Farmland Under Conservation Tillage in Southwest Hilly Region	ZHANG Sai, ZHANG Xiao-yu, WANG Long-chang, et al. (2815)
Distribution Characteristics and Risk Evaluation of Organochlorine Pesticides in Soil from Relocation Areas of the Danjiangkou Reservoir	LI Zi-cheng, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, et al. (2821)
Risk Assessment and Countermeasure of BTEX in Pesticide Factory	PANG Bo, WANG Tie-yu, DU Li-yu, et al. (2829)
Accumulation of S, Fe and Cd in Rhizosphere of Rice and Their Uptake in Rice with Different Water Managements	ZHANG Xue-xia, ZHANG Xiao-xia, ZHENG Yu-ji, et al. (2837)
Effects of Nitrate on Organic Removal and Microbial Community Structure in the Sediments	LIU Jin, DENG Dai-yong, SUN Guo-ping, et al. (2847)
Zero-Valent Iron-Enhanced Azoreduction by the <i>Shewanella decolorationis</i> S12	ZHOU Qing, CHEN Xing-juan, GUO Jun, et al. (2855)
Isolation, Identification of Two Aerobic Denitrifiers and Bioaugmentation for Enhancing Denitrification of Biofilm Under Oligotrophic Conditions	QUAN Xiang-chun, CEN Yan, QIAN Yin (2862)
Rapid Enrichment and Cultivation of Denitrifying Phosphate-Removal Bacteria and Its Identification by Fluorescence <i>in situ</i> Hybridization Technology	LIU Li, TANG Bing, HUANG Shao-song, et al. (2869)
Identification of a Denitrifying Polyphosphate-accumulating Organism (DPAO) and Study on Its Denitrifying Functional Genes	ZHANG Qian, WANG Hong-yu, SANG Wen-jiao, et al. (2876)
Isolation and Characterization of a Highly Efficient BBP-degrading Bacterium	CHEN Hu-xing, YANG Xue, ZHANG Kai, et al. (2882)
Degradation of Nicosulfuron by Combination Effects of Microorganisms and Chemical Hydrolysis	ZHANG Xiao-lin, LI Yong-mei, YUAN Zhi-wen (2889)
Isolation, Screening and Identification of Prometryne-Degrading Bacteria and Their Degrading Characteristics	ZHOU Ji-hai, SUN Xiang-wu, HU Feng, et al. (2894)
Preparation of PVA-SA-PHB-AC Composite Carrier and <i>m</i> -Cresol Biodegradation by Immobilized <i>Lysinibacillus cresolivorans</i>	LI Ting, REN Yuan, WEI Chao-hai (2899)
Extraction of Surface Active Substance and Analysis of Demulsifying Characteristics for the Demulsifying Strain <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1	HUANG Xiang-feng, ZHANG Shu-cong, PENG Kai-ming, et al. (2906)
Diversity of Culturable Filamentous Bacteria in the Activated Sludge from A ² O Wastewater Treatment Process	GAO Sha, JIN De-cai, ZHAO Zhi-rui, et al. (2912)
Composition and Transformation of Leachates During Municipal Solid Waste Composting	LI Dan, HE Xiao-song, XI Bei-dou, et al. (2918)

《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7月15日 34卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 7 Jul. 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