

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, 刘芄, 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, 王建海, 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气交换通量	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 (<i>Vallisneria spiralis</i>) 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, 曹勋, 周峰 (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-H ₂ O ₂ 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 Cd ²⁺ 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 Ni ²⁺ 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 A ² O 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直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: ¹⁴ C 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	庞博, 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, 桑穗姣, 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, 孙向武, 胡锋, 李辉信 (2894)
固定化 <i>Lysinibacillus cresolovorans</i> 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 <i>Alcaligenes</i> 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, 彭开彰, 陆丽君, 刘佳 (2906)
A ² O 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, 彭霞薇, 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)	

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, 陆丽君, 刘佳*

(同济大学环境科学与工程学院, 污染控制与资源化国家重点实验室, 上海 200092)

摘要: 对胞壁结合型生物破乳菌 *Alcaligenes* sp. S-XJ-1 的表面破乳活性物质进行提取和初步鉴定, 并探讨了菌体和表面活性物质的破乳过程, 以揭示生物破乳菌的破乳特性. 采用碱液提取破乳菌表面活性物质, 并通过单因素试验和正交试验得到最优提取条件: 温度 35℃、碱液浓度 0.08 mol·L⁻¹、料液比 12 g·L⁻¹、提取时间 4 h, 在此条件下提取率为 36.1%, 500 mg·L⁻¹ 破乳菌表面活性物质 48 h 破乳率为 77%; 采用凝胶过滤色谱和红外光谱对破乳菌表面活性物质的分子量和表面基团进行分析, 发现其相对分子质量分布于 55~61 256, 表面存在糖脂类、脂类和蛋白类物质的特征基团; 成分分析表明破乳菌表面活性物质含糖类、脂类和蛋白类分别为 22.2%、7.5% 和 13.4%. 胰蛋白酶处理破乳菌表面活性物质几乎使其完全丧失破乳活性, 表明蛋白类物质是其破乳活性的关键因素. 使用稳定性分析仪对破乳菌菌体和表面活性物质的破乳过程进行分析, 发现二者破乳过程有较大差异, 菌体表面活性物质是菌体破乳活性的主要来源, 菌体表面结构在破乳过程中起辅助作用, 菌体的破乳性能是破乳活性物质和菌体形态共同作用的结果.

关键词: *Alcaligenes* sp.; 生物破乳菌; 破乳菌表面活性物质; 破乳特性

中图分类号: X172 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)07-2906-06

Extraction of Surface Active Substance and Analysis of Demulsifying Characteristics for the Demulsifying Strain *Alcaligenes* sp. S-XJ-1

HUANG Xiang-feng, ZHANG Shu-cong, PENG Kai-ming, LU Li-jun, LIU Jia

(State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Extraction and identification of surface active substance of *Alcaligenes* sp. S-XJ-1, as well as description of its emulsion breaking process were conducted to reveal the demulsifying characteristics of this demulsifying strain. Alkali solvent was adopted in the extraction process with conditions optimized as 35℃, 0.08 mol·L⁻¹ of alkali concentration, 12 g·L⁻¹ of sample to solution ratio, and 4 h of extraction time by launching both single-factor and orthogonal tests. Under this optimal condition, the extracted surface active substance (the extraction ratio was 36.1%) achieved 77% emulsion breaking ratio for 500 mg·L⁻¹ within 48 h. FT-IR showed the existence of glycolipids, lipids and proteins in the surface active substance, the molecular weight of which mainly scattered between 55 and 61 256. Saccharides, lipids and proteins were identified as the three chief components in surface active substance with the content of 22.2%, 7.5% and 13.4%, respectively. The proteins were further proved to take the most responsibility for the emulsion breaking ability. Moreover, obvious difference in the emulsion breaking process was demonstrated between the original demulsifying strain S-XJ-1 and the extracted surface active substance by real time observation of Turbiscan Lab® Expert. The results suggested that the demulsifying efficiency of the strain was jointly contributed by its surface active substance and demulsifying cell morphology, and the former possessed higher functional priority than the latter.

Key words: *Alcaligenes* sp.; demulsifying strain; surface active substance of demulsifying strain; demulsifying characteristic

石油开采中会形成大量的油水乳状液和含油污泥等, 目前多以投加化学破乳剂进行油水分离. 生物破乳剂是由微生物代谢产生的一类表面活性物质^[1], 与化学破乳剂相比, 生物破乳剂具有低毒、可生物降解、高效稳定等优点^[2]. 目前已发现的生物破乳剂主要分为两类: 一类是胞壁结合型破乳剂, 即认为破乳性能是来源于微生物细胞或其胞壁的物质^[3,4]; 另一类主要是胞外型破乳剂, 即破乳活性物质是微生物的胞外代谢产物^[5]. 目前的研究主要集中于前一类, 认为其破乳活性是细胞表面的一种性

质^[4,6], 与细胞的表面结构及其生物化学组成有关, 也有研究认为细胞完整性和细胞形态对破乳性能影响巨大^[7,8]. 以上结论多将微生物细胞看作一个整体进行研究而得出, 未能深入考虑破乳效果是来自细胞表面物质的独立作用还是细胞形态的作用, 亦或是二者的共同作用.

收稿日期: 2012-12-19; 修订日期: 2013-02-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(51108333)

作者简介: 黄翔峰(1974~), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为水污染控制及环境生物技术, E-mail: hxf@tongji.edu.cn

* 通讯联系人, E-mail: liujia@tongji.edu.cn

对胞壁结合型生物破乳菌的菌体表面物质与其菌体细胞分别进行研究是阐述其破乳机制的新思路. 然而, 由于生物破乳菌表面物质和性质较为复杂, 目前对其表面有效物质的提取尚没有较好的方法. 本课题组前期研究中, 发现水提可以提取到生物破乳菌 *Alcaligenes* sp. S-XJ-1 表面的部分破乳活性物质^[9], 但残余菌体仍具有一定的破乳活性, 说明此方法并不能实现完全提取. 考虑到碱液提取法被广泛应用于酵母菌胞壁结合的多糖、蛋白等物质的提取^[10,11], 亦常用于植物中多糖、蛋白质的分离^[12,13], 可能是提取破乳菌胞壁表面活性物质更有效的方法.

本研究以胞壁结合型生物破乳菌 *Alcaligenes* sp. S-XJ-1 为对象^[14], 采用碱液提取菌体表面破乳活性物质, 在对最优提取条件下得到的提取物进行物质组成分析的基础上, 比较了破乳菌菌体和破乳菌表面活性物质的破乳过程, 以期初步揭示生物破乳菌表面活性物质对生物破乳菌破乳性能的贡献.

1 材料与方法

1.1 破乳菌菌体培养与收集

发酵培养基成分参见文献[15], 其中额外添加 NaCl 25 g·L⁻¹, pH=9. 碳源为液体石蜡 4% (体积比). 35℃ 摇床培养 (130 r·min⁻¹) 7 d. 破乳菌菌体的分离方法参见文献[9].

1.2 破乳能力评价

W/O 模型乳状液制备参照相关研究方法^[16], 乳状液类型鉴定采用油红显色法^[17]. 破乳试验采用瓶试法进行, 具体配置和操作过程见文献[14]. 破乳率的计算公式如下:

破乳率 =
$$\frac{(\text{脱出油体积} + \text{脱出水体积})}{(\text{乳状液体积} + \text{破乳剂溶液体积})} \times 100\%$$

1.3 破乳菌表面活性物质提取

单因素试验分别考察温度 (25 ~ 65℃)、碱液浓度 (0.05 ~ 0.25 mol·L⁻¹)、料液比 (5 ~ 25 g·L⁻¹) 和提取时间 (1 ~ 8 h) 对破乳菌表面破乳活性物质提取效果的影响.

碱液提取方法为: 将 2 g 生物破乳菌 *Alcaligenes* sp. S-XJ-1 菌体加入 50 mL CH₂Cl₂ 中磁力搅拌 1 h, 去除菌体表面残留的烷烃类物质, 过滤, 晾干. 将一定量 CH₂Cl₂ 预处理后的菌体和 50 mL NaOH 溶液加入锥形瓶中, 在一定温度, 转速 900 r·min⁻¹ 的条

件下水浴磁力搅拌若干小时, 对所得混合液进行离心 (12 000 r·min⁻¹, 15℃, 10 min), 得到清液和残菌, 用 001 × 7 强酸性苯乙烯系阳离子交换树脂调节清液 pH 至 6.8 ~ 7.2, 50℃ 减压旋转蒸发浓缩至约 5 mL, 在 -50℃ 下冷冻干燥 24 h, 得到提取的破乳菌表面活性物质, 离心后残余菌体直接冷冻干燥.

提取率 =
$$\frac{\text{破乳菌表面活性物质干重}}{\text{提取用菌体重量}} \times 100\%$$

根据单因素试验结果, 拟定温度 (A)、碱液浓度 (B)、料液比 (C)、提取时间 (D) 这 4 个因素各 3 个水平. 设计 L₉ (3⁴) 正交试验表, 因素及水平值见表 1. 进行正交试验确定最优处理条件, 并对最优条件进行验证.

表 1 正交试验水平设计
Table 1 Orthogonal experiment scheme

水平	因素			
	A 温度 /℃	B 碱液浓度 /mol·L ⁻¹	C 料液比 /g·L ⁻¹	D 提取时间 /h
1	30	0.08	8	3
2	35	0.1	10	4
3	40	0.12	12	5

1.4 破乳菌表面活性物质鉴定

采用配有 TSK G4000SW 凝胶柱的凝胶过滤色谱仪 (GFC, SHIMADZU, Japan) 测定其相对分子量分布, 采用傅里叶变换红外光谱仪 (FT-IR, Thermo Fisher, USA) 测定其表面基团; 采用苯酚-硫酸法^[18]、索氏提取法^[19] 和福林-酚法^[20] 测定其糖类、脂类和蛋白类的含量.

1.5 稳定性分析

破乳过程分析的仪器为 Turbiscan Lab® Expert (Formulation, France)^[21]. 采用多次扫描模式进行测量, 设定每个样品的扫描时间为 48 h. 乳状液配制方法同 1.2 节, 破乳菌干粉投加浓度为 1 000 mg·L⁻¹, 破乳菌表面活性物质投加浓度为还原 1 000 mg·L⁻¹ (提取率 × 1 000 mg·L⁻¹), 样品室温度为 35℃.

2 结果与讨论

2.1 破乳菌表面活性物质提取条件优化

单因素试验结果表明破乳菌表面活性物质的破乳率随温度、碱液浓度、料液比和提取时间增大, 均表现为先上升后下降的趋势, 破乳率最高值分别出现在温度 35℃ (提取率 39.3%, 产量 0.197 g)、碱液浓度 0.1 mol·L⁻¹ (提取率 35.6%, 产量 0.178 g)、料液比 10 g·L⁻¹ (提取率 37.1%, 产量 0.186

g)、提取时间 4 h(提取率 38.5%,产量 0.193 g),因此,选取以上条件为单因素最适提取条件.

正交试验方案及结果见表 2. 综合考察破乳菌表面活性物质的破乳率和提取率,采用二者的乘积

综合指数对提取效果进行评价,得到影响提取效果的 4 个因素的顺序为 $A > D > B > C$,最优条件为 $A_2B_1C_3D_2$,即温度 35℃、碱液浓度 $0.08\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、料液比 $12\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、提取时间 4 h.

表 2 $L_9(3^4)$ 正交试验直观分析

Table 2 Results of $L_9(3^4)$ orthogonal experiment intuitive analysis

编号	因素				破乳率 ¹⁾ /%	提取率 /%	综合评定 ²⁾
	A 温度 /℃	B 碱液浓度 / $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	C 料液比 / $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	D 提取时间 /h			
1	30	0.08	8	3	75.3	35.1	0.264 3
2	30	0.1	10	4	71.8	35.4	0.254 2
3	30	0.12	12	5	71	36.1	0.256 3
4	35	0.08	10	5	73.5	35.9	0.263 9
5	35	0.1	12	3	76.3	34.7	0.264 8
6	35	0.12	8	4	76	36.7	0.278 9
7	40	0.08	12	4	70.2	36.3	0.254 8
8	40	0.1	8	5	47.7	42.8	0.204 2
9	40	0.12	10	3	50.7	40.1	0.203 3
综合评定							
k_1	0.258	0.261	0.249	0.244			
k_2	0.269	0.241	0.240	0.263			
k_3	0.221	0.246	0.259	0.241			
R	0.048	0.020	0.019	0.022			

1) 破乳率均采用 $500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 破乳菌表面活性物质 48 h 破乳结果; 2) 综合评定数值为每行破乳率 $\times$ 提取率所得数值

对上述最优组合进行验证试验,在最优提取条件下,破乳菌表面活性物质提取率为 36.1%, $500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 破乳菌表面活性物质 48 h 破乳率为 77%,说明提取到的表面活性物质具有较强的破乳作用. $1\,000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 残菌破乳率为 10.5%,基本丧失破乳活性,破乳菌有效物质的碱提较为完全. 破乳率高于正交试验各组结果,破乳率-提取率综合指数为 0.278 0,与正交试验最高结果基本持平,证明优化所得结果可靠,将采用这一最优提取条件得到生物破乳菌表面活性物质进行后续研究.

2.2 破乳菌表面活性物质破乳性能

破乳菌表面活性物质(提取率 $\times 1\,000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)与生物破乳菌($1\,000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的破乳率随时间变化结果见图 1. 从中可知,前 4 h 内,菌体破乳速率很快,达 60% 以上,而破乳菌表面活性物质的破乳速率相对较慢,48 h 破乳达 73.5%. 说明破乳菌表面活性物质在破乳过程中起主要作用,但破乳菌菌体形态的存在对破乳过程同样会产生较大影响.

2.3 破乳菌表面活性物质的性质

破乳菌表面活性物质的 GFC 图谱主要由 3 个峰组成,相对分子量分别为 61 256、433、55,所占破乳菌表面活性物质比例分别为 8.04%、59.50%、32.46%. 整体来看,图谱的出峰时间段较长且峰之

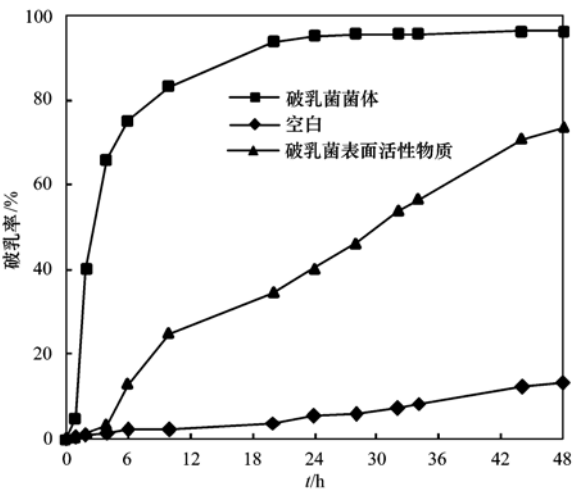


图 1 破乳菌菌体和表面活性物质破乳能力比较

Fig. 1 Evaluation of the demulsification efficiency of the biodemulsifier and its surface active substances

间互有叠加,这主要是因为破乳菌表面活性物质成分较为复杂,分子量分布区间很广.

对破乳菌菌体、破乳菌表面活性物质和残菌表面官能团进行分析,可知三者的红外光谱图吸收峰位置较为一致, $3\,304\text{ cm}^{-1}$ 的 $-\text{OH}$ 键、 $1\,081\text{ cm}^{-1}$ 的 $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ 键表明糖脂类物质的存在, $2\,926\text{ cm}^{-1}$ 和 $2\,855\text{ cm}^{-1}$ 的吸收峰为 $-\text{CH}_3$ 和 $-\text{CH}_2-$,表明含有脂类物质, $1\,656\text{ cm}^{-1}$ 和 $1\,546\text{ cm}^{-1}$ 分别为 $\text{C}=\text{O}$

键和—NH—键,是酰胺类物质的特征谱带,表征蛋白类物质的存在。

破乳菌表面活性物质的物质组成分析发现其含有 22.2% 的糖类、7.5% 的脂类和 13.4% 的蛋白类物质。为进一步验证以上 3 种物质的破乳效果,采用索氏提取得到脂类物质,配制成质量浓度 $1\ 000\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 进行破乳,48 h 破乳率小于 20%,说明提取出的脂类物质不具有破乳效果。采用胰蛋白酶($0.5\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)对 $10\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的提取产物处理 1 h,结果发现处理后其 48 h 破乳率仅为 18.8%,几乎无破乳活性,说明提取到的活性物质中蛋白类是生物破乳菌 S-XJ-1 破乳活性的关键。侯宁等^[22]采用胰蛋白酶对破乳菌 XH-1 所产破乳活性物质进行处理,发现处理后破乳活性丧失,并推断破乳活性成分为蛋白类物质,与本研究结果一致。综合以上试验结果,破乳菌 S-XJ-1 的表面活性物质主要含有糖类、脂类和蛋白类等多种物质,其中蛋白类物质在破乳中发挥了重要作用。

2.4 破乳菌表面活性物质的破乳过程

图 2 为投加生物破乳菌菌体和破乳菌表面活性

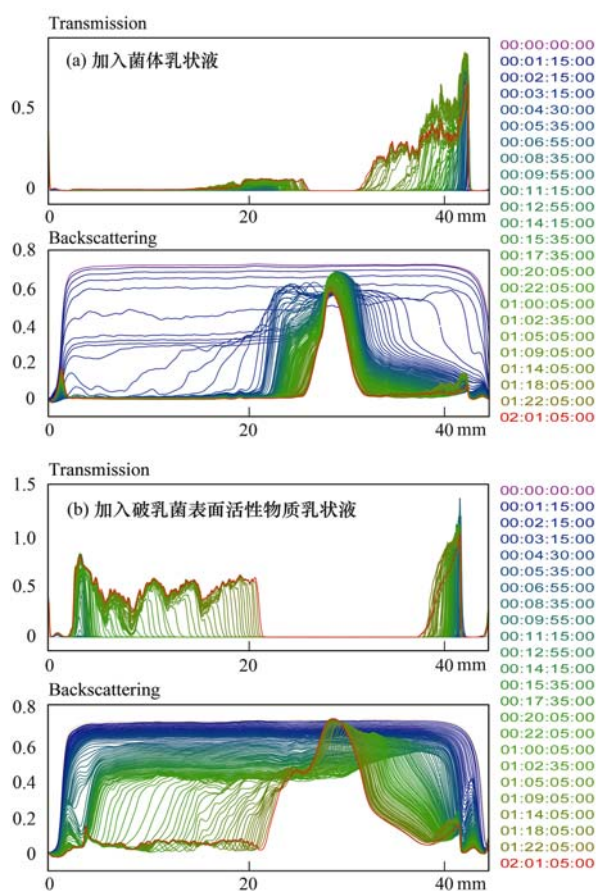


图 2 乳状液透射光和背散射光强度图(0~45 mm)

Fig. 2 Transmission and backscattering intensity profiles of a W/O emulsion(0-45 mm)

物质的乳状液透射光强度和背散射光强度变化规律。横坐标为乳状液样品自底部的高度,纵坐标为透射光强度和背散射光强度,图线的不同颜色代表了不同时间。由透射光图可知,在体系上部区域,加入菌体和破乳菌表面活性物质的乳状液均出现较高的透射光峰,这说明两者都产生了乳析现象^[23]。对于背散射光图,两者在中层各有一段背散射光很高,这一区域为未破乳段。对于这两种乳状液,中层背散射光强度较开始阶段略有下降,说明发生了液滴的聚集和聚并。而对于脱水部分,底部的背散射光最终趋于 0,说明发生了澄清现象^[23],聚集的水滴沉降,形成破乳。Burton 等^[24]认为,乳状液的失稳伴随着两个现象:一是液滴的聚集和聚并,二是液滴的乳析和澄清,本研究中同样观察到了这两种现象。

对比破乳菌菌体和表面活性物质的破乳过程,两者的破乳过程存在较大差异,破乳菌表面活性物质具有一定破乳效能,但是其破乳速率明显慢于生物破乳菌菌体,说明菌体结构的存在对破乳过程和破乳率产生一定影响。

图 3 和图 4 分别为加入菌体和破乳菌表面活性物质的乳状液上层油相的透射光平均值和下层水相背散射光平均值随时间变化规律。由图 3 可知,两者的透射光强度均随时间增加不断提高,破乳活性物质油相脱出慢但清澈,菌体则相反。由图 4 可知,菌体乳状液的背散射光强度随时间延长迅速降低,3 h 即下降到 10% 左右,之后趋于平缓,而破乳菌表面活性物质乳状液下层背散射光则是近似呈线性不断下降,最终降至 10% 左右,这与图 1 中破乳率随时间的变化规律相符。

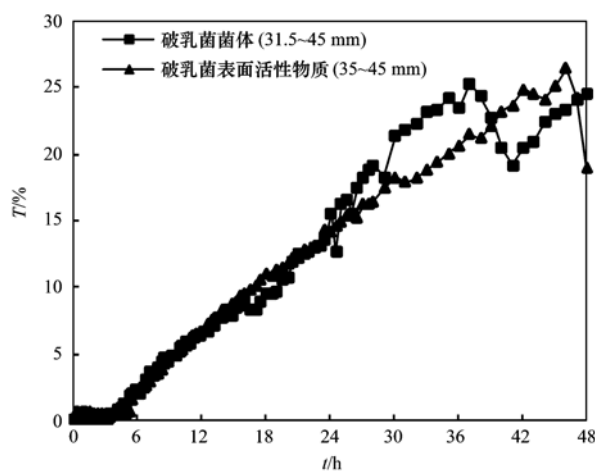


图 3 上层脱出油相平均透射光强度

Fig. 3 Mean transmission intensity of the upper oil phase separated by biodeulsifier and its surface active substances

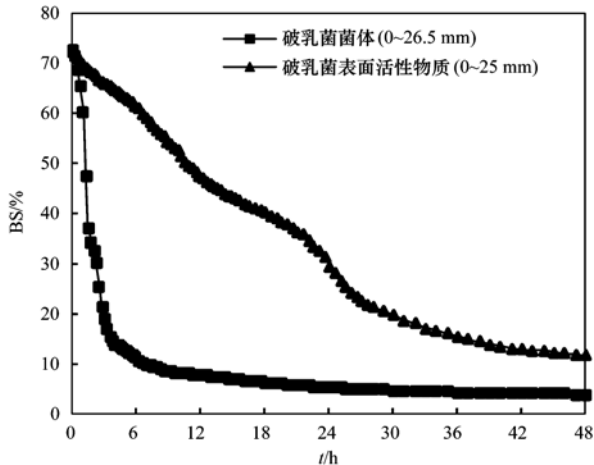


图4 下层脱出水相平均背散射光强度

Fig. 4 Mean backscattering intensity of the lower water phase separated by biodemulsifier and its surface active substances

通过计算中层未破乳部分的背散射光可得中层水滴粒径变化规律,见图5。可见加入菌体和破乳菌表面活性物质的乳状液粒径总体都呈上升趋势。菌体乳状液中层粒径先上升后下降然后再不断上升,3 h后粒径下降与菌体扩散至脱出的水中、且破乳速率变慢有关,而破乳菌表面活性物质乳状液粒径则是缓慢上升后趋于平稳。菌体体系粒径最高点出现在前3 h,破乳菌表面活性物质体系粒径最高点出现在24 h左右。

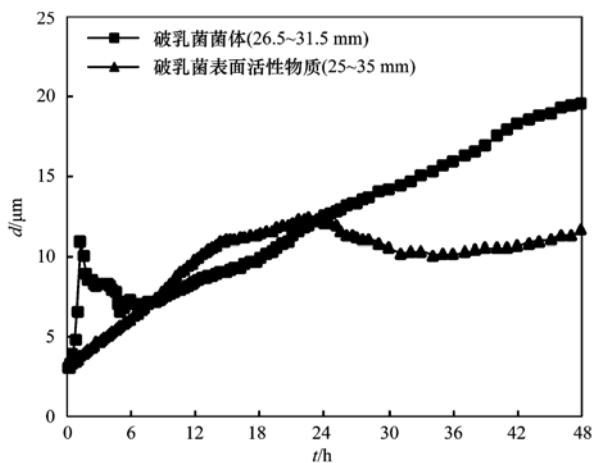


图5 加入菌体和破乳菌表面活性物质中层剩余乳状液平均粒径

Fig. 5 Mean droplet size in the middle residual emulsion with biodemulsifier and its surface active substances

2.5 生物破乳菌的破乳特性分析

上述研究表明,破乳菌表面活性物质是破乳菌破乳活性的主要来源,破乳菌菌体和破乳菌表面活性物质破乳过程相近,即首先作用于油水界面,降低其界面张力,破坏界面膜,使水滴产生絮集和聚并,形成大颗粒,从而使油滴不断上浮,水滴不断沉降,

完成破乳。

从破乳过程和效率来看,破乳菌表面活性物质和菌体存在一定差异,菌体破乳速率和最终破乳率均高于破乳菌表面活性物质,菌体相比破乳菌表面活性物质,可以更快地提高液滴絮集和聚并的速率,显著增大粒径,根据 Stokes 公式,液滴的粒径越大,油和水的迁移速度越大^[25],因此菌体破乳效率更高,这可能与菌体形态的存在有较大关系。对于破乳菌表面活性物质来说,其作为溶解态破乳,主要依靠所含物质的表面活性作用于油水界面,从而降低界面张力,破坏界面膜,完成破乳,但没有菌体形态的依托,失去了迅速破乳的特点,效率也有所降低。冯志强等^[7]以细胞破乳模型为基础对破乳机制进行了分析,发现微生物破乳起主要作用的是菌体细胞的润湿作用,生物破乳剂的胞体呈椭圆形,并且比一般粗乳状液的液滴尺寸($0.2\ \mu\text{m}$)要大许多,这有利于非连续相液滴在其表面的润湿、铺展及凝聚,因而利于破乳。马挺等^[8]通过超声破碎红球菌 PR-1,发现菌体细胞破乳能力的关键在于菌体的完整性,破乳活性与菌体形状有关。对于生物破乳菌 S-XJ-1,其表面破乳活性物质依托于菌体的有利形态,更易于对油水界面产生破坏,从而更快地完成破乳。因此,生物破乳菌 S-XJ-1 的菌体形态在破乳过程中起到辅助破乳的作用,菌体良好的破乳性能是破乳活性物质和菌体形态共同作用的结果。

3 结论

(1) 通过单因素试验和正交试验,确定提取生物破乳菌表面活性物质的最优条件为温度 35°C 、碱液浓度 $0.08\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、料液比 $12\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、提取时间 4 h。在此条件下,破乳菌表面活性物质提取率为 36.1%, $500\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 破乳菌表面活性物质 48 h 破乳率为 77%。

(2) 菌体表面的活性物质在菌体破乳过程中起主要作用。对破乳菌表面活性物质的初步鉴定,其糖类、脂类和蛋白类含量分别为 22.2%、7.5% 和 13.4%,推测菌体表面的蛋白质是影响其破乳活性的关键因素。

(3) 生物破乳菌体和破乳菌表面活性物质破乳过程存在差异。生物破乳菌的菌体结构在破乳过程中起到辅助破乳的作用,菌体良好的破乳性能是破乳活性物质和菌体形态共同作用的结果。

参考文献:

[1] 刘佳,黄翔峰,陆丽君,等. *Alcaligenes* sp. XJ-T-1 利用废弃

- 油脂生产破乳剂研究[J]. 环境科学, 2009, **30**(6): 1779-1784.
- [2] Kosaric N. Biosurfactants in industry [J]. Pure and Applied Chemistry, 1992, **64**(11): 1731-1737.
- [3] Cairns W L, Cooper D G, Zajic J E, *et al.* Characterization of *Nocardia amarae* as a potent biological coalescing agent of water-oil emulsions [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1982, **43**(2): 362-366.
- [4] Stewart A L, Gray N C C, Cairns W L, *et al.* Bacteria-induced de-emulsification of water-in-oil petroleum emulsions [J]. Biotechnology Letters, 1983, **5**(11): 725-730.
- [5] Satpute S K, Banpurkar A G, Dhakephalkar P K, *et al.* Methods for investigating biosurfactants and bioemulsifiers: a review [J]. Critical Reviews in Biotechnology, 2010, **30**(2): 127-144.
- [6] Gray N C C, Stewart A L, Cairns W L, *et al.* Bacteria-induced de-emulsification of oil-in-water petroleum emulsions [J]. Biotechnology Letters, 1984, **6**(7): 419-424.
- [7] 冯志强, 杨永军, 朱成君, 等. 原油生物破乳剂的研究与应用[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2004, **28**(3): 93-95, 99.
- [8] 马挺, 梁凤来, 奚艳伟, 等. 红球菌 PR-1 菌株破乳性能研究[J]. 环境科学, 2006, **27**(6): 1191-1196.
- [9] Huang X F, Peng K M, Lu L J, *et al.* Separation and Purification of *Alcaligenes* biodemulsifier by dichloromethane-water extraction and silica gel column chromatograph [J]. Applied Mechanics and Materials, 2011, **108**: 152-158.
- [10] Akemi N, Takako S, Yoshimura F. Immunochemical determinant and serological specificity of *Candida krusei* [J]. Molecular Immunology, 1982, **19**(3): 367-373.
- [11] Del Vasallo M C, Puppo M C, Palazolo G G, *et al.* Cell wall proteins of *Kluyveromyces fragilis*: Surface and emulsifying properties [J]. LWT-Food Science and Technology, 2006, **39**(7): 729-739.
- [12] Lazaridou A, Chornick T, Biliaderis C G, *et al.* Composition and molecular structure of polysaccharides released from barley endosperm cell walls by sequential extraction with water, malt enzymes, and alkali [J]. Journal of Cereal Science, 2008, **48**(2): 304-318.
- [13] Wani A A, Sogi D S, Grover L, *et al.* Effect of temperature, alkali concentration, mixing time and meal/solvent ratio on the extraction of watermelon seed proteins-a response surface approach [J]. Biosystems Engineering, 2006, **94**(1): 67-73.
- [14] Huang X F, Liu J, Lu L J, *et al.* Evaluation of screening methods for demulsifying bacteria and characterization of lipopeptide bio-demulsifier produced by *Alcaligenes* sp. [J]. Bioresource Technology, 2009, **100**(3): 1358-1365.
- [15] 杨娜, 冯贵颖, 陆丽君, 等. *Alcaligenes* sp. S-XJ-1 利用废弃柴油合成生物破乳剂的研究 [J]. 环境科学, 2010, **31**(9): 1271-1277.
- [16] Nadarajah N, Singh A, Ward O P. De-emulsification of petroleum oil emulsion by a mixed bacterial culture [J]. Process Biochemistry, 2002, **37**(10): 1135-1141.
- [17] Lee J C, Lee K Y. Emulsification using environmental compatible emulsifiers and de-emulsification using D. C. field and immobilized *Nocardia amarae* [J]. Biotechnology Letters, 2000, **22**(14): 1157-1163.
- [18] Gerchakov S M, Hatcher P G. Improved technique for analysis of carbohydrates in sediments [J]. Limnology and Oceanography, 1972, **17**(6): 938-943.
- [19] Xiao L P, Mjøs S A, Haugsgjerd B O. Efficiencies of three common lipid extraction methods evaluated by calculating mass balances of the fatty acids [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2012, **25**(2): 198-207.
- [20] Frølund B, Griebel T, Nielsen P H. Enzymatic activity in the activated-sludge floc matrix [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 1995, **43**(4): 755-761.
- [21] Mengual O, Meunier G, Cayré I, *et al.* TURBISCAN MA 2000: multiple light scattering measurement for concentrated emulsion and suspension instability analysis [J]. Talanta, 1999, **50**(2): 445-456.
- [22] 侯宁, 马放, 李大鹏, 等. 高效破乳菌的破乳效能及活性成分 [J]. 石油学报(石油加工), 2009, **25**(3): 435-441.
- [23] Wen Y, Cheng H, Lu L J, *et al.* Analysis of biological demulsification process of water-in-oil emulsion by *Alcaligenes* sp. S-XJ-1 [J]. Bioresource Technology, 2010, **101**(21): 8315-8322.
- [24] Buron H, Mengual O, Meunier G, *et al.* Optical characterization of concentrated dispersions: applications to laboratory analyses and on-line process monitoring and control [J]. Polymer International, 2004, **53**(9): 1205-1209.
- [25] Eow J S, Ghadiri M, Sharif A O, *et al.* Electrostatic enhancement of coalescence of water droplets in oil: a review of the current understanding [J]. Chemical Engineering Journal, 2001, **84**(3): 173-192.

CONTENTS

Observation of Size Distribution of Atmospheric OC/EC in Tangshan, China	GUO Yu-hong, XIN Jin-yuan, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (2526)
Emission Factors of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Residential Coal Combustion and Its Influence Factors	HAI Ting-ting, CHEN Ying-jun, WANG Yan, <i>et al.</i> (2533)
Experimental Research on Alcohols, Aldehydes, Aromatic Hydrocarbons and Olefins Emissions from Alcohols Fuelled Vehicles	ZHANG Fan, WANG Jian-hai, WANG Xiao-cheng, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (2552)
Source Profile of Volatile Carbonyl Compounds in Wastewater Treatment Plant of an Oil Refinery	ZHOU Bo-yu, LIU Wang, WANG Bo-guang, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (2565)
Study on Seasonal Characteristics of Thermal Stratification in Lacustrine Zone of Lake Qiandao	DONG Chun-ying, YU Zuo-ming, WU Zhi-xu, <i>et al.</i> (2574)
Effects of Land Use Structure on Water Quality in Xin'anjiang River	CAO Fang-fang, LI Xue, WANG Dong, <i>et al.</i> (2582)
Canonical Correspondence Analysis Between Phytoplankton Community and Environmental Factors in Macrophtic Lakes of the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	MENG Rui, HE Lian-sheng, GUO Long-gen, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (2658)
Effect of Different Forms of Inorganic Nitrogen on the Photodegradation of Antipyrine in Water	ZHAO Qian, CHEN Chao, FENG Li, <i>et al.</i> (2665)
Degradation Mechanisms of Dimethyl Phthalate in the UV-H ₂ O ₂ System	LIU Qing, CHEN Cheng, CHEN Hong-zhe, <i>et al.</i> (2670)
Adsorption of Cd ²⁺ Ions in Aqueous by Diamine-Modified Ordered Mesoporous SBA-15 Particles	ZHANG Meng, YANG Ya-ti, QIN Rui, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (2686)
Preparation of Porous Ceramics Based on Waste Ceramics and Its Ni ²⁺ Adsorption Characteristics	ZHANG Yong-li, WANG Cheng-zhi, SHI Ce, <i>et al.</i> (2694)
Perchlorate Removal from Underground Water by Anaerobic Biological Reduction with Bark	WANG Rui, LIU Fei, CHEN Nan, <i>et al.</i> (2704)
Experimental Study on the Remediation of Chromium Contaminated Groundwater with PRB Media	ZHU Wen-hui, DONG Liang-fei, WANG Xing-run, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (2758)
Regional Differences and Development Tendency of Livestock Manure Pollution in China	QIU Huan-guang, LIAO Shao-pan, JING Yue, <i>et al.</i> (2766)
Quantitative Partitioning of Soil Selenium in the Selenium-Rich Area of Northern Zhejiang Plain	XU Ming-xing, PAN Wei-feng, CENG Jing, <i>et al.</i> (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 Qianguo, Jilin	TANG Jie, ZHANG Wen-hui, LI Zhao-yang, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (2821)
Risk Assessment and Countermeasure of BTEX in Pesticide Factory	PANG Bo, WANG Tie-yu, DU Li-yu, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (2837)
Effects of Nitrate on Organic Removal and Microbial Community Structure in the Sediments	LIU Jin, DENG Dai-yong, SUN Guo-ping, <i>et al.</i> (2847)
Zero-Valent Iron-Enhanced Azoreduction by the <i>Shewanella decolorationis</i> S12	ZHOU Qing, CHEN Xing-juan, GUO Jun, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (2869)
Identification of a Denitrifying Polyphosphate-accumulating Organism (DPAO) and Study on Its Denitrifying Functional Genes	ZHANG Qian, WANG Hong-yu, SANG Wen-jiao, <i>et al.</i> (2876)
Isolation and Characterization of a Highly Efficient BBP-degrading Bacterium	CHEN Hu-xing, YANG Xue, ZHANG Kai, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (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, <i>et al.</i> (2912)
Composition and Transformation of Leachates During Municipal Solid Waste Composting	LI Dan, HE Xiao-song, XI Bei-dou, <i>et al.</i> (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