

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第4期

Vol.34 No.4

**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

唐山大气颗粒物中水溶性无机盐的观测研究 ..... 苗红妍,温天雪,王丽,李杏茹,王跃思(1225)

鼎湖山 PM<sub>2.5</sub> 中水溶性离子浓度特征分析 ..... 赵亚南,王跃思,温天雪,刘全(1232)

北京夏冬季霾天气下气溶胶水溶性离子粒径分布特征 ..... 黄怡民,刘子锐,陈宏,王跃思(1236)

深圳市 PM<sub>2.5</sub> 化学组成与时空分布特征 ..... 云慧,何凌燕,黄晓峰,兰紫娟,李响,曾立武(1245)

福州城市及郊区冬、夏两季大气中多环芳烃特征研究 ..... 易志刚,黄幸然,毕峻奇,郭萍萍,郑丽丽(1252)

河西走廊及兰州地区典型有机氯农药的大气残留及时空分布特征 ..... 丁中原,毛潇萱,马子龙,田慧,郭强,黄韬,高宏,李军,张干(1258)

淄博市大气污染特征模型模拟及环境容量估算 ..... 薛文博,王金南,杨金田,雷宇,燕丽,贺晋瑜,韩宝平(1264)

香溪河秋季水-气界面温室气体通量日变化观测及影响因素分析 ..... 黄文敏,朱孔贤,赵玮,余博识,袁希功,冯瑞杰,毕永红,胡征宇(1270)

变异系数法评价人类活动对地下水环境的影响 ..... 赵微,林健,王树芳,刘记来,陈忠荣,寇文杰(1277)

基于 ArcSWAT 模型的长乐江流域非点源氮素污染源识别和分析 ..... 邓欧平,孙嗣咏,吕军(1284)

西安周边河流溶解无机碳浓度及同位素组成初探 ..... 郭威,李祥忠,刘卫国(1291)

滇池流域宝象河暴雨径流初始冲刷效应 ..... 郭怀成,向男,周丰,王永华,李发荣,朱翔,毛国柱,于书霞,李娜,盛虎,杨永辉,何成杰,王翠榆(1298)

三峡库区沉积物秋冬初的磷释放通量估算 ..... 牛凤霞,肖尚斌,王雨春,刘德富,黎国育,王亮,纪道斌,杨正健(1308)

海南东部河流、河口及近岸水域颗粒态重金属的分布及污染状况 ..... 辛成林,任景玲,张桂玲,郭亚平,张国玲,刘素美(1315)

黄河口表层沉积物中重金属的环境地球化学特征 ..... 吴斌,宋金明,李学刚(1324)

扎龙湿地沉积物重金属空间分布特征及其潜在生态风险评价 ..... 叶华香,臧淑英,张丽娟,张玉红(1333)

上海市典型疏浚泥重金属生态风险评价 ..... 唐庆丽,程金平,高昊旻,姚磊,蒋真毅,吴旻,谢翠松,梁海,王鹤,皮帅帅,余朝毅(1340)

我国沿海地区城镇污水处理厂污泥重金属污染状况及其处置分析 ..... 张灿,陈虹,余忆玄,王立军,韩建波,陶平(1345)

江苏某地长江、太湖水源水及出厂水中有机物雌激素活性的比较 ..... 金涛,吕学敏,曾一凡,张冰冰,马鲲鹏,姜朴,唐非(1351)

北京市污水处理厂中邻苯二甲酸酯污染水平及其归趋 ..... 周益奇,刘云霞(1357)

降解 DMF 引起污泥毒性及其毒性空间分布特性研究 ..... 胡园园,杨娜,丁毅,徐文璐,陈秀荣,艾奇峰,陈善佳,王利鹏,黄华(1363)

渤海湾有机锡污染对野生脉红螺的生态风险 ..... 安立会,张燕强,宋双双,刘玥,高俊敏,陈浩,赵兴茹,雷坤,郑丙辉(1369)

巨牡蛎(*Crassostrea* sp.)对燃煤电厂脱硫海水中汞的生物累积 ..... 刘锡尧,袁东星,陈耀瑾(1374)

咪唑氯盐离子液体对蚯蚓急性毒性及体重影响研究 ..... 黄若男,范军杰,涂宏志,谭凌燕,刘惠君,徐冬梅(1380)

铝盐混凝除磷影响因素及机制研究 ..... 陈桂霞,胡承志,朱灵峰,童华卿(1386)

混凝和活性炭吸附去除微污染源水中 DON 的研究 ..... 刘冰,余国忠,古励,赵承美,李清飞,翟慧敏(1392)

活性炭催化臭氧氧化扑热息痛的机制研究 ..... 王佳裕,戴启洲,鱼杰,颜亦舟,陈建孟(1402)

氯酚溶液的  $\gamma$  辐照还原降解研究 ..... 彭云霞,何仕均,龚文琪,王建龙(1411)

C/N 比对反硝化过程中亚硝酸盐积累的影响分析 ..... 袁怡,黄勇,邓慧萍,盛学敏,潘杨,李祥(1416)

以甲醇为碳源生物反硝化过程释放一氧化二氮的试验研究 ..... 翟晓峰,蒋成爱,吴光学,曾运涛(1421)

固体纤维素类废物作为反硝化碳源滤料的比选 ..... 李斌,郝瑞霞(1428)

基于能源回收的城市污水厌氧氨氧化生物脱氮新工艺 ..... 卢健聪,高大文,孙学影(1435)

多模式厌氧/缺氧/好氧污水处理工艺的稳态与动态模拟 ..... 周振,吴志超,王志伟,杜兴庄,蒋玲燕,邢灿(1442)

高氨氮废水与城市生活污水短程硝化系统菌群比较 ..... 赵志瑞,马斌,张树军,李滨,白志辉,王晓辉,庄国强,张洪勋(1448)

活性污泥絮体的分形结构分析 ..... 阮晓东,刘俊新(1457)

负荷交替法快速培养好氧硝化颗粒污泥的研究 ..... 沈娜,杨昌柱,濮文虹,罗应东(1464)

预加不同比例不同粒径好氧颗粒对 SBR 中好氧颗粒污泥形成的影响 ..... 熊光城,濮文虹,杨昌柱(1472)

同时回收氮磷提高碱性发酵污泥脱水性能的机制研究 ..... 张超,陈银广,顾国维(1479)

利用流式细胞仪分选技术研究湖泊真核超微藻的遗传多样性 ..... 谢薇薇,袁伊,王志伟,孔繁翔,史小丽(1485)

阿魏酸和香豆素对铜绿微囊藻的化感作用 ..... 郭亚丽,傅海燕,黄国和,高攀峰,柴天,严滨,廖欢(1492)

象山港国华电厂强增温海域浮游动物群落结构和多样性的时空特征 ..... 朱艺峰,黄简易,林霞,杨莹,邢超,严小军(1498)

环氧树脂降解嗜盐菌的筛选及其处理高盐环氧树脂废水的特性研究 ..... 王进,徐真,彭书传,夏明山,岳正波,陈天虎(1510)

铜绿假单胞菌胞内酶粗提液对十溴联苯醚的降解 ..... 史广宇,尹华,叶锦韶,彭辉,张娜,何宝燕(1517)

酵母提取物对葡萄糖发酵生产生物破乳菌 *Alcaligenes* sp. S-XJ-1 的影响 ..... 黄翔峰,王凯,黎明霞,王彩林,陆丽君,刘佳(1524)

玉米秸秆厌氧降解复合菌系的微生物群落结构 ..... 乔江涛,郭荣波,袁宪正,师晓爽,许晓晖,范晓蕾,邱艳玲(1531)

红霉素对产甲烷菌的抑制及其驯化 ..... 刘子旭,孙力平,李玉友,邱春生(1540)

4 种 NAPLs 污染物在二维砂箱中的指进锋面形态特征研究 ..... 杨宾,李慧颖,伍斌,杜晓明,李发生(1545)

污灌区土壤中多环芳烃的垂直分布及可能来源 ..... 姚林林,张彩香,李佳乐,廖小平,王焰新(1553)

呼和浩特市不同功能区土壤重金属污染特征及评价 ..... 郭伟,孙文惠,赵仁鑫,赵文静,付瑞英,张君(1561)

水稻光合同化碳在土壤不同粒径、密度分组中的分配特征 ..... 李苗苗,聂三安,陈晓娟,罗璐,朱捍华,石辉,葛体达,童成立,吴金水(1568)

亚热带不同稻田土壤微生物生物量碳的剖面分布特征 ..... 盛浩,周萍,袁红,廖超林,黄运湘,周清,张杨珠(1576)

施用堆腐有机肥对水稻土中六氯苯脱氯降解影响 ..... 刘翠英,蒋新(1583)

螯合剂和生物表面活性剂对 Cu、Pb 污染壤土的淋洗修复 ..... 刘霞,王建涛,张萌,王力,杨亚提(1590)

不同温度下烧制的秸秆炭对可变电荷土壤吸附 Pb(II) 的影响 ..... 蒋田雨,姜军,徐仁扣,周立祥,王世梅(1598)

绿色木霉改性玉米秸秆溢油吸附剂的制备及其性能研究 ..... 蓝舟琳,彭丹,郭楚玲,朱超飞,薛秀玲,党志(1605)

改性与成型层状氢氧化镁铝对不同水体中 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 的脱除性能 ..... 邢坤,王海增(1611)

羧基化碳纳米管载铂催化剂对微生物燃料电池阴极氧还原性能的影响 ..... 涂丽杏,朱能武,吴平霄,李平,吴锦华(1617)

新型生物质活性炭烟气脱硫研究 ..... 刘洁岭,汤争光,陈杰,蒋文举,江霞(1623)

城市工业行业能源消费强度等级划分方法及应用 ..... 毛建素,马兰(1628)

厦门城市化进程中的居民食物碳消费及其环境负荷 ..... 闫祯,崔胜辉,李桂林,任引,徐礼来(1636)

《环境科学》征订启事(1283) 《环境科学》征稿简则(1332) 信息(1350,1509,1582,1644) 专辑征稿通知(1523)

# 酵母提取物对葡萄糖发酵生产生物破乳菌 *Alcaligenes* sp. S-XJ-1 的影响

黄翔峰, 王凯, 黎明霞, 王彩林, 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:** 以从石油污染的土壤中筛选出 1 株生物破乳菌 *Alcaligenes* sp. S-XJ-1 为对象, 考察了以葡萄糖为碳源时添加酵母提取物对生物破乳菌菌体性质、破乳性能以及菌体元素组成的影响。结果表明, 酵母提取物的投加能够有效提高生物破乳菌产量, 在酵母提取物浓度为  $5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  时, 生物破乳菌产量达到  $3.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ , 此时葡萄糖利用率亦达到最大的 58%。随着酵母提取物的投加浓度的增大, 培养得到的菌体破乳性能提高, 在投加浓度为  $10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  时, 破乳率达到 76%; 而培养得到的菌体 C/N 有所降低, 对其菌体表面蛋白进行提取测定发现菌体总蛋白含量升高, 这与 FTIR 分析破乳菌菌体表面蛋白质类物质提高的结论一致。推测该生物破乳菌菌体蛋白含量的提高增强了菌体的破乳性能, 菌体蛋白类物质是影响其破乳性能的关键组分之一。

**关键词:** 酵母提取物; *Alcaligenes* sp.; 生物破乳菌; 碳氮比; 菌体蛋白

中图分类号: X172 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)04-1524-07

## Influence of Yeast Extract on the Fermentation of Glucose by the Demulsifying Strain *Alcaligenes* sp. S-XJ-1

HUANG Xiang-feng, WANG Kai, LI Ming-xia, WANG Cai-lin, 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:** The demulsifying strain *Alcaligenes* sp. S-XJ-1, isolated from oil contaminated soil, was cultivated with glucose as the carbon source. The influences of yeast extract on the growth, demulsifying ability and the element composition of the strain were investigated. The results showed that the yeast extract could increase the biomass and enhance the glucose utilization of *Alcaligenes* sp. S-XJ-1. When the concentration of the yeast extract was  $5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ , the biomass was increased up to  $3.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ , and the glucose utilization achieved 58%. The demulsifying ability of the strain was improved with increasing yeast extract concentration. When the concentration of the yeast extract was  $10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ , the demulsification ratio of the obtained cell was 76%. While the C/N ratio of the cells decreased with the increasing concentration of yeast extract. The proteins of cells were extracted and measured. The results showed that the proteins of the obtained cell increased with the increasing concentration of yeast extract, in accordance with the increased concentrations of proteins on the surface of the cells as measured by FTIR. It is estimated that the increase of the proteins leads to the improvement of the demulsifying ability of the demulsifying strain and these proteins play essential roles in the demulsifying process.

**Key words:** yeast extract; *Alcaligenes* sp.; demulsifying strain; C/N ratio; proteins

原油开采过程中会形成大量的乳状液, 处理不当不仅增加了原油的运输成本, 而且还会对环境带来危害。为解决乳状液的破乳问题, 需向乳状液中投加破乳剂。相比目前常用的化学破乳剂, 生物破乳剂具有高效低毒、易降解、环境友好等特点<sup>[1]</sup>, 根据破乳物质所在位置, 生物破乳剂可分为胞外型与胞壁结合型两类<sup>[2]</sup>, 其中胞壁结合型生物破乳剂由于有效物质提取复杂, 研究者多采用生物破乳菌菌体为研究对象<sup>[3]</sup>。

目前, 生物破乳剂生产成本高限制了生物破乳剂的大规模应用, 其中生物破乳剂的原料成本较高是重要原因之一。因此, 开发廉价碳源是降低

生物破乳剂成本的重要途径之一<sup>[4, 5]</sup>。糖蜜废水、淀粉废水等含有大量的有机物, 可以作为碳源来培养微生物以及生产各种微生物饲料, 既可降低废水的有机物含量, 还可产生客观的经济效益<sup>[6]</sup>。前期研究发现 *Corynebacterium petrophilum*、*Bacillus subtilis* 等菌株以葡萄糖为碳源可有效合成表面活性剂或者生物破乳剂<sup>[7, 8]</sup>。本研究以葡萄糖为碳源培养生物破乳菌, 以期能为糖蜜废水等含有亲水

收稿日期: 2012-07-21; 修订日期: 2012-10-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(51108333, 50908166)

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

性碳源为主的废弃物来生产生物破乳剂提供理论基础。

酵母提取物作为一种培养基中常见的添加物质,含有丰富的氨基酸、肽、核苷酸、碳水化合物、生长因子和微量元素,被广泛用于培养微生物<sup>[9]</sup>。Cooper 等<sup>[10]</sup>发现酵母提取物能够有效促进 *Torulopsis bombicola* 生物量和酯脂类表面活性剂的增加; Amézcuca-Vega 等<sup>[11]</sup>在培养 *Candida ingens* 生产表面活性剂时发现,在培养基中投加酵母提取物在促进产量的同时能够改变表面活性剂的物理化学性质,从而得到表面活性更强的代谢产物。因此,通过向培养基中投加酵母提取物可以提高生物表面活性剂的产量、改善性质。

本研究以前期研究中筛选得到的 1 株胞壁结合型生物破乳菌 *Alcaligenes* sp. S-XJ-1 为对象<sup>[12]</sup>,在以葡萄糖为碳源的培养体系内,考察酵母提取物对生物破乳菌生物量、菌体表面性质、菌体元素组成、菌体蛋白含量以及破乳性能的影响,分析生物破乳菌菌体组成与其破乳性能的关系,初步揭示生物破乳菌的破乳活性组分。

## 1 材料与方法

### 1.1 菌体培养

本实验室前期从受石油污染的土壤中筛选得到 1 株具有高效破乳能力的菌株 *Alcaligenes* sp. S-XJ-1,于 4℃ 斜面保藏。本研究以此菌为对象,将斜面保藏的菌株活化后接种至 100 mL 肉汤培养基,摇瓶培养 72 h,再将 10 mL 肉汤培养液转接至 100 mL 发酵培养基中,培养 7 d。摇瓶发酵培养条件为:温度 35℃,转速 130 r·min<sup>-1</sup>。

肉汤培养基(L<sup>-1</sup>):牛肉膏 3.0 g,蛋白胨 10.0 g,NaCl 5.0 g,pH 7.0~7.2。发酵培养基(L<sup>-1</sup>):葡萄糖 10.0 g,胰蛋白胨 10.0 g,K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 1.0 g,NaCl 30.0 g,MgSO<sub>4</sub> 0.2 g,pH 7.0~7.2,酵母提取物浓度分别为 0、1.25、2.5、5、10 g。

### 1.2 生长特性及表面性质测定

#### 1.2.1 生物量

采用干重法表示,将培养 7 d 后的全培养液在 12 000 r·min<sup>-1</sup>,4℃ 下离心 10 min,采用冷冻干燥机(Scientz-10N,中国宁波新芝公司)-50℃ 冷冻干燥 24 h,称重。

#### 1.2.2 葡萄糖测定

葡萄糖含量的测定采用 3,5-二硝基水杨酸法<sup>[13]</sup>。

#### 1.2.3 表面张力

采用环法(DT-102,中国淄博华坤电子仪器有限公司)测定全培养液的表面张力<sup>[14]</sup>。

#### 1.2.4 细胞表面疏水性

本实验中采用微生物粘着碳烃化合物法(Microbial Adhesion to Hydrocarbons, MATH)测定细胞表面疏水性。将全培养液 50 mL 以 12 000 r·min<sup>-1</sup>,15℃ 离心 10 min,得到下层 S-XJ-1 细胞菌体。将得到的菌体用 PBS 缓冲液(pH = 7.0)洗涤 2 次,并用缓冲液将此菌体配置成菌悬液,悬液浓度调为紫外分光光度计(UV-2100,尤尼柯上海仪器有限公司)580 nm 处检测得的  $D_{580}$  值在 0.8~1.0 之间(计为  $D_1$ )。取 5 mL 菌体稀释液于 10 mL 带塞磨口玻璃试管中,再加入 1 mL 煤油,于多管漩涡混合仪(MTV-100,杭州奥盛仪器有限公司)2100 r·min<sup>-1</sup> 转速下振荡 3 min,然后静置 20 min。用注射器针管抽取下层水相,再次在 580 nm 处测量其  $D$  值(计为  $D_2$ )。细胞表面疏水性以 MATH 值表示,值越大表示疏水性越强,计算公式如下:

$$\text{MATH} = \left(1 - \frac{D_2}{D_1}\right) \times 100\%$$

### 1.3 破乳能力

#### 1.3.1 模型乳状液的制备

W/O 模型乳状液制备参照相关研究方法<sup>[15]</sup>,采用航空煤油和蒸馏水(油水体积比为 2:3),以 Span 80 和 Tween 80(上海申宇医药化工有限公司)复配乳化剂,投加量分别为煤油的 19 g·L<sup>-1</sup> 和 1.1 g·L<sup>-1</sup>,在 10 000 r·min<sup>-1</sup> 下高速搅拌 3.5 min;乳状液类型鉴定采用油红显色法<sup>[16]</sup>,不加破乳剂的乳状液 24 h 乳状液破除率小于 10%。

#### 1.3.2 菌悬液制备

称取 1.2.1 节中所得菌体干粉,加入一定体积的灭菌蒸馏水,混合均匀,分别配置成不同浓度的菌悬液。本研究中用于破乳实验的菌悬液浓度为 10 g·L<sup>-1</sup>。

#### 1.3.3 破乳实验

破乳实验采用瓶试法<sup>[17]</sup>:在 20 mL 带刻度的具塞试管中加入 18 mL 已制备好的 W/O 模型乳状液,再加入 2 mL 菌悬液,加塞后用力振荡 120 次使菌体与乳状液充分混合,后放置于 35℃ 水浴恒温,定时读取上层脱出油、下层脱出水以及中层剩余乳状液的体积。脱油率、脱水率及破乳率的计算公式如下:

$$\text{脱油率} = \frac{\text{上层油脱出体积}}{\text{乳状液中煤油体积}} \times 100\%$$

$$\text{脱水率} = \frac{\text{底层水脱出体积}}{\text{乳状液中蒸馏水体积} + \text{菌株培养液投加体积}} \times 100\%$$

$$\text{破乳率} = \left( 1 - \frac{\text{剩余乳状液体积}}{\text{乳状液体积} + \text{菌株培养液投加体积}} \right) \times 100\%$$

#### 1.4 元素组成分析

采用有机元素分析仪 Vario EL (Vario EL, Elementar Analyser systeme. GmbH, Hanau, Germany) 在 CHN 测试模式下测定生物破乳菌菌体的元素组成。

#### 1.5 红外光谱分析

生物破乳菌菌体的傅里叶红外分析参考文献 [18] 中的方法。

#### 1.6 菌体总蛋白提取与测定

采用超声法提取生物破乳菌菌体总蛋白, 具体方法参考文献 [19] 中的方法, 菌体总蛋白的测定参考改良的 Lowry 法 [20]。

## 2 结果与讨论

### 2.1 酵母提取物对生物破乳菌 S-XJ-1 培养体系的影响

在培养基中添加不同浓度的酵母提取物对生物破乳菌进行培养, 生物破乳菌 S-XJ-1 的生物量变化及对葡萄糖的利用情况如图 1 所示。从中可知, 随着酵母提取物投加浓度的提高, 菌体的生物量也逐渐增大, 在投加量为  $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时获得最大生物量, 为  $3.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 但投加量再增大时, 菌体的生物量反而开始减少, 说明低浓度酵母提取物添加能够有效促进生物破乳菌 S-XJ-1 的生长, 浓度过高反而不利于菌体生长。Hommel 等 [21] 在培养 *T. apicola* IMET 43747 发现, 投加酵母提取物能够提高菌体的生长速率, 从而提高了菌体的生物量。Cooper 等 [22] 在培养 *Corynebacterium fascians* CF15 时同样发现, 在培养基中添加酵母提取物能够有效的提高菌体的生物量。由此说明酵母提取物的添加能够促进菌体的生长。

图 1 的结果还表明, 随着酵母提取物浓度的提高, 菌体对葡萄糖的利用逐渐升高, 在投加浓度为  $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时达到最大, 为 58%。此结论与 Guerra-Santos 等 [23] 采用葡萄糖、酵母提取物培养 *Pseudomonas aeruginosa* 生产表面活性剂时的结论一致。投加量大于  $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 葡萄糖利用率开始降低, 在酵母提取物投加浓度为  $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时甚至略低于不添加酵母提取物时的水平, 相应菌体的生长受到抑制, 生物量下降。菌体对葡萄糖的利用率与生物量的变化趋势

一致 ( $R^2 = 0.81$ ), 推测在微生物发酵体系中, 当氮源为限制因素时, 一定量的酵母提取物的加入能够促进菌体对碳源的吸收利用, 从而促进生物量的提高。

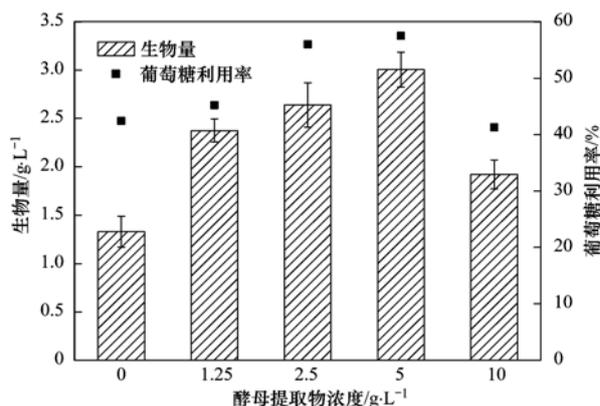


图 1 酵母提取物对生物破乳菌生物量和葡萄糖利用率的影响

Fig. 1 Influence of yeast extract on the biomass and glucose utilization ratio of the demulsifying strain

### 2.2 酵母提取物对生物破乳菌 S-XJ-1 表面性质的影响

微生物细胞表面疏水性 (cell surface hydrophobicity, CSH) 是决定细菌非特异性黏附到各种生物和非生物表面及界面的最重要因素之一, 菌体细胞表面的蛋白质、脂多糖及脂肪酸等成分均会影响疏水性的强弱 [24~26]。由图 2 可知, 酵母提取物的加入显著提高了菌体的细胞表面疏水性, 提高幅度达 20%; 并且在投加量较低的时候, 疏水性的提高效果较明显, 随着酵母提取物投加浓度的增大, 菌体细胞表面疏水性比较稳定, 维持在 60% 左右。由以上结果推测, 酵母提取物的加入, 会改变生物破乳菌菌体表面性质, 使疏水性物质的比例提高, 从而导致菌体细胞表面疏水性的增强。

随着酵母提取物投加浓度的增大, 细胞全培养液的表面张力变化不大, 为  $40 \sim 45 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$ , 比不加酵母提取物时稍低。De Gusmão 等 [27] 在培养 *Candida glabrata* UCP1002 时发现, 酵母提取物的加入促进了表面活性剂的产生, 导致菌体全培养液表面张力的降低, 与本研究结果一致。

### 2.3 酵母提取物对生物破乳菌 S-XJ-1 破乳活性的影响

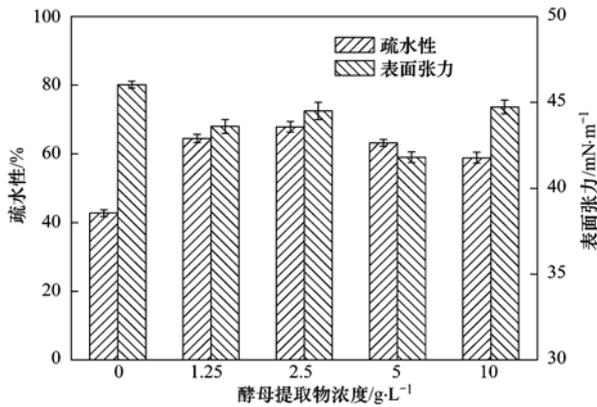


图2 酵母提取物对生物破乳菌疏水性以及全培养液表面张力的影响

Fig. 2 Influence of yeast extract on the MATH and the surface tension of the demulsifying strain

由图3可得,随着酵母提取物投加浓度的增加,培养所得生物破乳菌菌体 S-XJ-1 对 W/O 型模型乳状液的破乳率随之上升. 在未投加酵母提取物时,菌体的破乳率仅为 63%; 当培养基中投加酵母提取物浓度为  $10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  时,破乳率提高到了 76%. 并且,后者在 0 ~ 12 h 期间破乳率上升较快,12 h 已达到接近 70% 的破乳率,高于其它投加酵母提取物投加浓度得到菌体的破乳率.

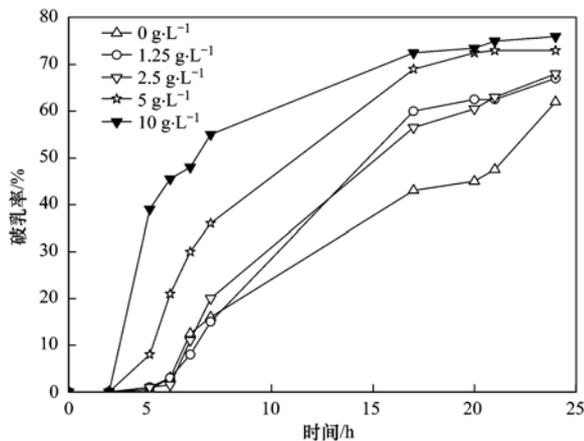


图3 酵母提取物对生物破乳菌破乳过程的影响

Fig. 3 Influence of yeast extract on the demulsification process of the demulsifying strain

进一步分析生物破乳菌对 W/O 型模型乳状液的脱水率和脱油率(见图4),发现酵母提取物的加入提高了菌体对乳状液的脱水效果,但是酵母提取物投加浓度的高低对脱油率的影响不大;脱水率则随着酵母提取物投加浓度的增加而持续提高. 由以上结果可知,在生物破乳菌 S-XJ-1 发酵培养体系中投加酵母提取物会影响其生物破乳菌的破乳活性,且此影响主要以提高脱水效果为主.

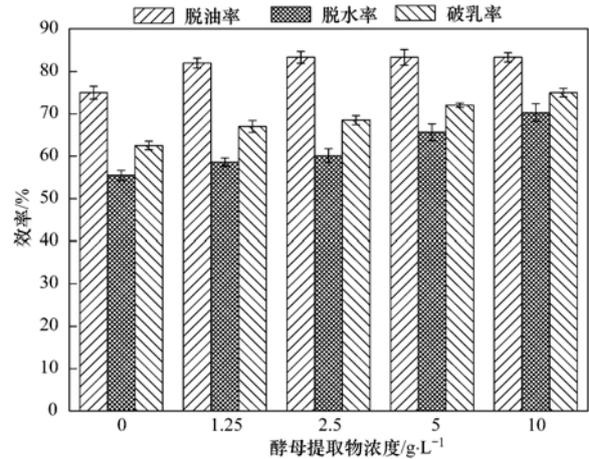


图4 酵母提取物对生物破乳菌破乳性能的影响

Fig. 4 Influence of yeast extract on the demulsification performance of the demulsifying strain

## 2.4 酵母提取物对生物破乳菌 S-XJ-1 元素组成的影响

利用有机元素分析仪测定生物破乳菌 S-XJ-1 菌体元素组成以研究酵母提取物对生物破乳菌菌体组成的影响,结果如图5所示. 随着酵母提取物投加浓度的增大,菌体 C/N 呈现下降趋势. 不投加酵母提取物时,培养得到的菌体 C/N 最高,为 5.8; 当投加量为  $10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  时,菌体 C/N 降至 4.9,这说明菌体含氮比例随着酵母提取物投加量的提高而增大. 酵母提取物在此发酵体系中可能起到提供氮源的作用,或是促进生物破乳菌 S-XJ-1 对其他氮源的摄取、转化. Vrede 等<sup>[28]</sup> 在培养海水中的细菌群发现,增加氮源的投加量,菌体的 C/N 降低. Liu 等<sup>[29]</sup> 在研究基质 C/N 对颗粒污泥的影响时发现,基质的 C/N 升高,颗粒污泥中菌体细胞的 C/N 亦升高. 发

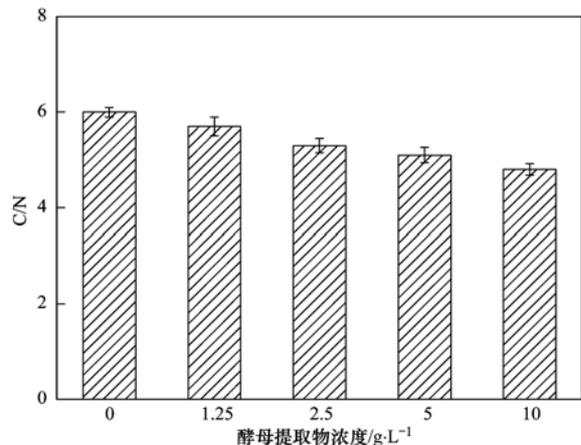


图5 酵母提取物对生物破乳菌菌体 C/N 的影响

Fig. 5 Influence of yeast extract on the C/N of the demulsifying strain

酵体系的碳源、氮源含量会相应影响微生物菌体的碳氮含量。蛋白质是菌体组成中含氮量较高的物质,推测菌体氮含量的变化主要与蛋白类物质有关。

Liu 等<sup>[30]</sup>采用光电子能谱仪(XPS)测定生物破乳菌菌体的表面元素组成时发现,生物破乳菌体表面的 C/N 与其破乳性能有很好的相关性。本研究中发现(见图 6),生物破乳菌菌体 S-XJ-1 的整体 C/N 与其破乳性能也有良好的相关性( $R^2 = 0.95$ ),随着菌体整体 C/N 的升高,菌体的破乳性能提高,说明生物破乳菌菌体 S-XJ-1 的破乳活性不只与其表面的含氮物质有关,菌体含氮总量的提高也会增强其破乳活性。

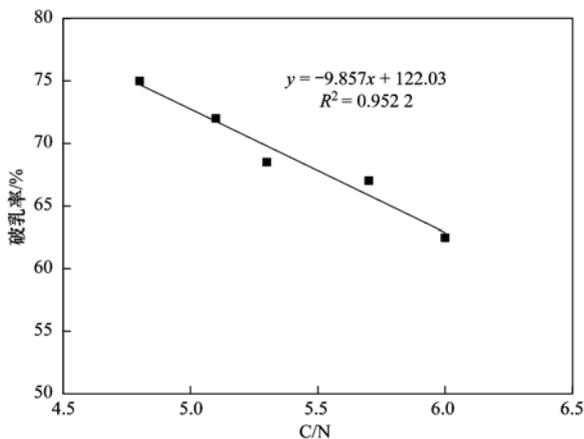


图 6 破乳率与生物破乳菌菌体 C/N 的关系

Fig. 6 Relation between the demulsification and C/N of the demulsifying strain

## 2.5 酵母提取物对生物破乳菌 S-XJ-1 总蛋白的影响

为了验证 2.4 节中有关菌体蛋白含量变化的推测,对菌体的总蛋白进行提取并检测。结果如图 7 所示,随着酵母提取物投加浓度的提高,生物破乳菌

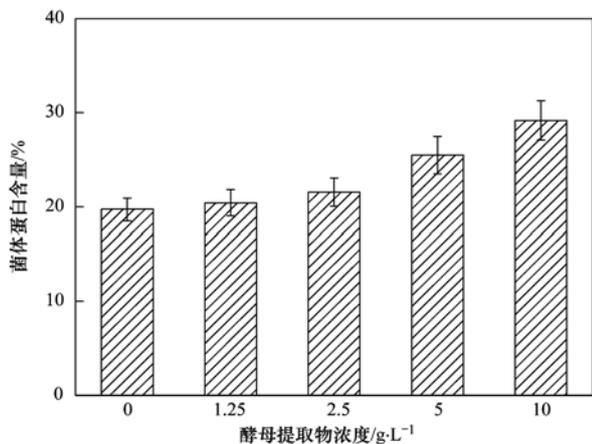


图 7 酵母提取物对生物破乳菌菌体总蛋白含量的影响

Fig. 7 Influence of yeast extract on the proteins of the demulsifying strain

菌体的总蛋白含量提高,与 2.4 节中 C/N 的变化相对应,菌体含氮量的提高与蛋白质含量提高有关,这说明投加酵母提取物能够诱导菌体合成蛋白,提高菌体蛋白质的含量。张妹等<sup>[31]</sup>在研究重组大肠杆菌合成 HrpNEcc 蛋白时发现,往培养基中投加酵母提取物能够诱导大肠杆菌合成此蛋白,并且该蛋白产量在一定范围内随着酵母提取物含量的增加而递增,并推测酵母提取物中含有某种诱导因子,促使此类蛋白的合成产量。此结果与本研究的结论一致。同时菌体蛋白的这一变化规律与生物破乳菌破乳性能的变化趋势一致。说明生物破乳菌菌体蛋白质含量的提高增强了菌体的破乳性能,推测影响菌体破乳活性的关键物质是与蛋白质相关的组分。

## 2.6 FT-IR 分析生物破乳菌菌体组成

Ese 等<sup>[32]</sup>研究表明菌体细胞表面的醇、蛋白质和胺类物质对 W/O 型模型乳液破乳速度有较大影响。采用 FT-IR 测定不同浓度酵母提取物培养所得的生物破乳菌的基团的差异,选择差异最大的不投加酵母提取物和投加浓度为  $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  培养得到的菌体。由图 7 可知,酵母提取物的投加并没有改变菌体官能团的组成,两种图谱的吸收峰位置相似,但是吸收峰的强度不同,表明这两种破乳菌官能团种类相差不大,但是各官能团的相对含量有一定差异。位于  $1650 \sim 1660 \text{ cm}^{-1}$  和  $1540 \sim 1550 \text{ cm}^{-1}$  的吸收峰为酰胺类物质的特征谱带,分别为酰胺谱带 I 和 II,可表征蛋白类物质的存在<sup>[33]</sup>。经分析计算,样品 I 中蛋白质相对含量低于样品 II 中的蛋白质相对含量。此结果表明,投加酵母提取物后,菌体的蛋白质的含量升高。结合 2.4 节中菌体 C/N 的变化,说明酵母提取物的投加,主要提高菌体中蛋白质类物质的含量。结合破乳实验数据可得,推测菌体中蛋白质类物质是影响菌体破乳性能的关键组分。

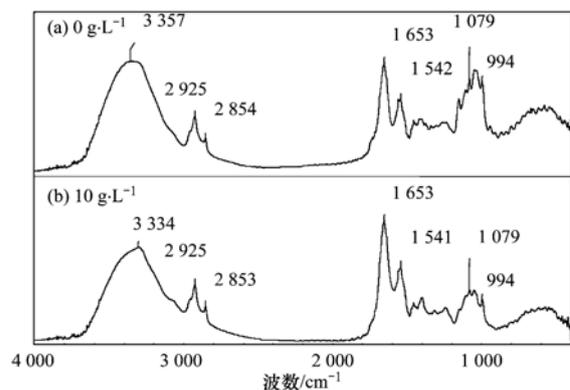


图 8 生物破乳菌 S-XJ-1 的红外分析图谱

Fig. 8 FTIR of the demulsifying strain

### 3 结论

(1) 酵母提取物的投加会提高生物破乳菌菌体 S-XJ-1 对葡萄糖的利用率, 从而提高生物破乳菌产量, 在投加量为  $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时生物破乳菌产量达到最大为  $3.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(2) 酵母提取物的加入降低了菌体全培养液的表面张力, 提高了菌体的疏水性, 同时菌体的破乳活性随着酵母提取物投加浓度的增大而提高。

(3) 对生物破乳菌进行元素分析, 表明酵母提取物投加量的增大会提高生物破乳菌菌体含氮比例, 采用超声提取菌体蛋白证实菌体蛋白质含量随着酵母提取物投加浓度的提高而增大。

(4) 对生物破乳菌进行 FT-IR 分析, 表明酵母提取物的投加提高了菌体表面蛋白类物质的含量, 推测蛋白质含量的提高增强了菌体的破乳性能。

#### 参考文献:

- [1] Banat I M. Characterization of biosurfactants and their use in pollution removal-State of the Art. (review) [J]. Acta Biotechnologica, 1995, **15**(3): 251-267.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Felizardo P, Neiva Correia M J, Raposo I, et al. Production of biodiesel from waste frying oils [J]. Waste Management, 2006, **26**(5): 487-494.
- [5] Mukherjee S, Das P, Sen R. Towards commercial production of microbial surfactants [J]. Trends in Biotechnology, 2006, **24**(11): 509-515.
- [6] 王园园, 王向东, 陈希. 利用淀粉废水培养复合型絮凝剂产生菌研究 [J]. 中国给水排水, 2007, **23**(9): 19-23.
- [7] 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.
- [8] Janiyani K L, Purohit H J, Shanker R, et al. De-emulsification of oil-in-water emulsions by *Bacillus subtilis* [J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 1994, **10**(4): 452-456.
- [9] Zhang J Y, Reddy J, Buckland B, et al. Toward consistent and productive complex media for industrial fermentations: Studies on yeast extract for a recombinant yeast fermentation process [J]. Biotechnology and Bioengineering, 2003, **82**(6): 640-652.
- [10] Cooper D G, Paddock D A. Production of a biosurfactant from *Torulopsis bombicola* [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1984, **47**(1): 173-176.
- [11] Amézcuca-Vega C, Poggi-Varaldo H M, Esparza-García F, et al. Effect of culture conditions on fatty acids composition of a biosurfactant produced by *Candida ingens* and changes of surface tension of culture media [J]. Bioresource Technology, 2007, **98**(1): 237-240.
- [12] Huang X F, Guan W, Liu J, et al. Characterization and phylogenetic analysis of biodemulsifier-producing bacteria [J]. Bioresource Technology, 2010, **101**(1): 317-323.
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. 199.
- [14] Bodour A A, Miller-Maier R M. Application of a modified drop-collapse technique for surfactant quantitation and screening of biosurfactant-producing microorganisms [J]. Journal of Microbiological Methods, 1998, **32**(3): 273-280.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] Akit J, Cooper D G, Manninen K I, et al. Investigation of potential biosurfactant production among phytopathogenic *Corynebacteria* and related soil microbes [J]. Current Microbiology, 1981, **6**(3): 145-150.
- [18] 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): 2171-2177.
- [19] 饶伟丽, 张德权, 李淑荣, 等. 超临界  $\text{CO}_2$  杀灭大肠杆菌过程中菌体蛋白的变化 [J]. 核农学报, 2009, **23**(3): 471-476.
- [20] Lowry O H, Rosebrough N J, Farr A L, et al. Protein measurement with the Folin phenol reagent [J]. Journal of Biological Chemistry, 1951, **193**(1): 265-275.
- [21] Hommel R, Stiiwer O, Stuber W, et al. Production of water-soluble surface-active exolipids by *Torulopsis apicola* [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 1987, **26**(3): 199-205.
- [22] Cooper D G, Paddock D A. *Torulopsis petrophilum* and surface activity [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1983, **46**(6): 1426-1429.
- [23] Guerra-Santos L, Käppeli O, Fiechter A. Pseudomonas aeruginosa biosurfactant production in continuous culture with glucose as carbon source [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1984, **48**(2): 301-305.
- [24] Iwabuchi N, Sunairi M, Anzai H, et al. Relationships among colony morphotypes, cell-surface properties and bacterial adhesion to substrata in *Rhodococcus* [J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2003, **30**(1-2): 51-60.
- [25] Coimbra C D, Rufino R D, Luna J M, et al. Studies of the cell surface properties of *Candida* species and relation to the production of biosurfactants for environmental applications [J]. Current Microbiology, 2009, **58**(3): 245-251.
- [26] Chang W N, Liu C W, Liu H S. Hydrophobic cell surface and

- biofloculation behavior of *Rhodococcus erythropolis* [J]. *Process Biochemistry*, 2009, **44**(9): 955-962.
- [27] De Gusmão C A B, Rufino R D, Sarubbo L A. Laboratory production and characterization of a new biosurfactant from *Candida glabrata* UCP1002 cultivated in vegetable fat waste applied to the removal of hydrophobic contaminant [J]. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2010, **26**(9): 1683-1692.
- [28] Vrede K, Heldal M, Norland S, *et al.* Elemental composition (C, N, P) and cell volume of exponentially growing and nutrient-limited bacterioplankton [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2002, **68**(6): 2965-2971.
- [29] Liu Y, Yang S F, Tay J H. Elemental compositions and characteristics of aerobic granules cultivated at different substrate N/C ratios [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2003, **61**(5-6): 556-561.
- [30] Liu J, Lu L J, Huang X F, *et al.* Relationship between surface physicochemical properties and its demulsifying ability of an alkaliphilic strain of *Alcaligenes* sp. S-XJ-1 [J]. *Process Biochemistry*, 2011, **46**(7): 1456-1461.
- [31] 张姝, 王敏, 韩梅琳, 等. 酵母提取物诱导重组大肠杆菌合成 HrpNEcc 蛋白的研究 [J]. *中国农业科学*, 2009, **42**(11): 3880-3887.
- [32] Ese M H, Galet L, Clause D, *et al.* Properties of Langmuir surface and interfacial films built up by asphaltenes and resins: influence of chemical demulsifiers [J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1999, **220**(2): 293-301.
- [33] Schmitt J, Flemming H C. FTIR-spectroscopy in microbial and material analysis [J]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 1998, **41**(1): 1-11.

## CONTENTS

Water-soluble Inorganic Salts in Ambient Aerosol Particles in Tangshan .....	MIAO Hong-yan, WEN Tian-xue, WANG Li, <i>et al.</i> (1225)
Characterization of Water-soluble ions in PM <sub>2.5</sub> at Dinghu Mount .....	ZHAO Ya-nan, WANG Yue-si, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (1232)
Characteristics of Mass Size Distributions of Water-Soluble Inorganic Ions During Summer and Winter Haze Days of Beijing .....	HUANG Yi-min, LIU Zi-ru, CHEN Hong, <i>et al.</i> (1236)
Characterising Seasonal Variation and Spatial Distribution of PM <sub>2.5</sub> Species in Shenzhen .....	YUN Hui, HE Ling-yan, HUANG Xiao-feng, <i>et al.</i> (1245)
Characteristics of PAHs in the Atmosphere in Winter and Summer in the Urban and Suburban of Fuzhou .....	YI Zhi-gang, HUANG Xing-ran, BI Jun-qi, <i>et al.</i> (1252)
Seasonal Variation and Spatial Distribution of Typical Organochlorine Pesticides in the Atmosphere of Hexi Corridor and Lanzhou, Northwest China .....	DING Zhong-yuan, MAO Xiao-xuan, MA Zi-long, <i>et al.</i> (1258)
Simulation of Air Pollution Characteristics and Estimates of Environmental Capacity in Zibo City .....	XUE Wen-bo, WANG Jin-nan, YANG Jin-tian, <i>et al.</i> (1264)
Diurnal Changes in Greenhouse Gases at Water-Air Interface of Xiangxi River in Autumn and Their Influencing Factors .....	HUANG Wen-min, ZHU Kong-xian, ZHAO Wei, <i>et al.</i> (1270)
Influence of Human Activities on Groundwater Environment Based on Coefficient Variation Method .....	ZHAO Wei, LIN Jian, WANG Shu-fang, <i>et al.</i> (1277)
Nitrogen Non-Point Source Pollution Identification Based on ArcSWAT in Changde River .....	DENG Ou-ping, SUN Si-yang, LÜ Jun (1284)
Study on the Content and Carbon Isotopic Composition of Water Dissolved Inorganic Carbon from Rivers Around Xi'an City .....	GUO Wei, LI Xiang-zhong, LIU Wei-guo (1291)
First Flush Effects of Storm Events of Baoxiang River in Lake Dianchi Watershed .....	GUO Huai-cheng, XIANG Nan, ZHOU Feng, <i>et al.</i> (1298)
Estimation of Releasing Fluxes of Sediment Phosphorus in the Three Gorges Reservoir During Late Autumn and Early Winter .....	NIU Feng-xia, XIAO Shang-bin, WANG Yu-chun, <i>et al.</i> (1308)
Distributions and Pollution Status of Heavy Metals in the Suspended Particles of the Estuaries and Coastal Area of Eastern Hainan .....	XIN Cheng-lin, REN Jing-ling, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (1315)
Environmental Characteristics of Heavy Metals in Surface Sediments from the Huanghe Estuary .....	WU Bin, SONG Jin-ming, LI Xue-gang (1324)
Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of Zhalong Wetland .....	YE Hua-xiang, ZANG Shu-ying, ZHANG Li-juan, <i>et al.</i> (1333)
Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals of the Typical Dredged Mud in Shanghai .....	TANG Qing-li, CHENG Jin-ping, GAO Hao-min, <i>et al.</i> (1340)
Pollution Characteristics of Heavy Metals in Sludge from Wastewater Treatment Plants and Sludge Disposal in Chinese Coastal Areas .....	ZHANG Can, CHEN Hong, YU Yi-xuan, <i>et al.</i> (1345)
Comparison of the Estrogenic Activity of Organic Compounds in Source Water and Finished Water from the Yangtze River and Taihu Lake in Certain Areas of Jiangsu Province .....	JIN Tao, LÜ Xue-min, ZENG Yi-fan, <i>et al.</i> (1351)
Occurrence and Fate of Phthalates in Wastewater Treatment Plants in Beijing, China .....	ZHOU Yi-qi, LIU Yun-xia (1357)
Research on Sludge Toxicity Caused by DMF Biodegradation and Toxicity Spatial Distribution in Sludge Floes .....	HU Yuan-yuan, YANG Na, DING Yi, <i>et al.</i> (1363)
Study on the Ecological Risk of Wild Veined Rapa Whelk ( <i>Rapana venosa</i> ) Exposed to Organotin Compounds in Bohai Bay, China .....	AN Li-hui, ZHANG Yan-qiang, SONG Shuang-shuang, <i>et al.</i> (1369)
Bioaccumulation of Mercury in <i>Crassostrea</i> sp. Exposed to Waste Seawater Discharged from a Coal-fired Power Plant Equipped with a Seawater Flue-gas Desulfurization System .....	LIU Xi-yao, YUAN Dong-xing, CHEN Yao-jin (1374)
Effects of Imidazolium Chloride Ionic Liquids on the Acute Toxicity and Weight of Earthworm .....	HUANG Ruo-nan, FAN Jun-jie, TU Hong-zhi, <i>et al.</i> (1380)
Influencing Factors and Mechanism of Arsenic Removal During the Aluminum Coagulation Process .....	CHEN Gui-xia, HU Cheng-zhi, ZHU Ling-feng, <i>et al.</i> (1386)
Removal of DON in Micro-polluted Raw Water by Coagulation and Adsorption Using Activated Carbon .....	LIU Bing, YU Guo-zhong, GU Li, <i>et al.</i> (1392)
Mechanism of Catalytic Ozonation for the Degradation of Paracetamol by Activated Carbon .....	WANG Jia-yu, DAI Qi-zhou, YU Jie, <i>et al.</i> (1402)
Reductive Degradation of Chlorophenols in Aqueous Solution by Gamma Irradiation .....	PENG Yun-xia, HE Shi-jun, GONG Wen-qi, <i>et al.</i> (1411)
Effect of C/N Ratio on Nitrite Accumulation During Denitrification Process .....	YUAN Yi, HUANG Yong, DENG Hui-ping, <i>et al.</i> (1416)
Nitrous Oxide Emission During Denitrification for Activated Sludge Acclimated with Methanol as the Organic Carbon .....	ZHAI Xiao-feng, JIANG Cheng-ai, WU Guang-xue, <i>et al.</i> (1421)
Comparison and Optimization of Cellulose Carbon Source for Denitrification Filter .....	LI Bin, HAO Rui-xia (1428)
A Novel Municipal Wastewater Treating Process for Energy Production and Autotrophic Nitrogen Removal Based on ANAMMOX .....	LU Jian-cong, GAO Da-wen, SUN Xue-ying (1435)
Modeling and Dynamic Simulation of the Multimode Anaerobic/Anoxic/Aerobic Wastewater Treatment Process .....	ZHOU Zhen, WU Zhi-chao, WANG Zhi-wei, <i>et al.</i> (1442)
Comparing Microbial Community of High Ammonia Wastewater and Municipal Sewage in a Partial Nitrification System .....	ZHAO Zhi-rui, MA Bin, ZHANG Shu-jun, <i>et al.</i> (1448)
Analysis of the Fractal Structure of Activated Sludge Floes .....	RUAN Xiao-dong, LIU Jun-xin (1457)
Rapid Cultivation of Aerobic Nitrifying Granular Sludge with Alternate Loading Method .....	SHEN Na, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> (1464)
Acceleration of the Formation of Aerobic Granules in SBR by Inoculating Different Proportions and Different Diameters of Mature Aerobic Granules .....	XIONG Guang-cheng, PU Wen-hong, YANG Chang-zhu (1472)
Mechanisms of the Improvement in Dewaterability of Alkaline Fermented Sludge by Simultaneous Ammonium and Phosphate Recovery .....	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang, GU Guo-wei (1479)
Use of Flow Cytometric Sorting to Assess the Diversity of Eukaryotic Picophytoplankton of Lakes .....	XIE Wei-wei, GONG Yi, WANG Zhi-wei, <i>et al.</i> (1485)
Allelopathy Effects of Ferulic Acid and Coumarin on <i>Microcystis aeruginosa</i> .....	GUO Ya-li, FU Hai-yan, HUANG Guo-he, <i>et al.</i> (1492)
Spatiotemporal Characteristics of Zooplankton Community Structure and Diversity in the Strong Temperature Increment Seawaters near Guohua Power Plant in Xiangshan Bay .....	ZHU Yi-feng, HUANG Jian-yi, LIN Xia, <i>et al.</i> (1498)
Screening of Epoxy-degrading Halophiles and Their Application in High-salt Wastewater Treatment .....	WANG Jin, XU Zhen, PENG Shu-chuan, <i>et al.</i> (1510)
Biodegradation of Decabromodiphenyl Ether by Intracellular Enzyme Obtained from <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .....	SHI Guang-yu, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (1517)
Influence of Yeast Extract on the Fermentation of Glucose by the Demulsifying Strain <i>Alcaligenes</i> sp. S-XJ-1 .....	HUANG Xiang-feng, WANG Kai, LI Ming-xia, <i>et al.</i> (1524)
Phylogenetic Analysis of Methanogenic Corn Stalk Degrading Microbial Communities .....	QIAO Jiang-tao, GUO Rong-bo, YUAN Xian-zheng, <i>et al.</i> (1531)
Inhibition of Methanogenium by Erythromycin and Its Domestation .....	LIU Zi-xu, SUN Li-ping, LI Yu-you, <i>et al.</i> (1540)
Sand Box Study on Fingering Front Morphology for NAPLs Infiltrated in Homogeneous Porous Media .....	YANG Bin, LI Hui-ying, WU Bin, <i>et al.</i> (1545)
Vertical Distribution and Possible Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Sewage Area Soil .....	YAO Lin-lin, ZHANG Cai-xiang, LI Jia-le, <i>et al.</i> (1553)
Characteristic and Evaluation of Soil Pollution by Heavy Metal in Different Functional Zones of Hohhot .....	GUO Wei, SUN Wen-hui, ZHAO Ren-xin, <i>et al.</i> (1561)
Distribution Characteristics of Rice Photosynthesized Carbon in Soil Aggregates of Different Size and Density .....	LI Miao-miao, NIE San-an, CHEN Xiao-juan, <i>et al.</i> (1568)
Profile of Soil Microbial Biomass Carbon in Different Types of Subtropical Paddy Soils .....	SHENG Hao, ZHOU Ping, YUAN Hong, <i>et al.</i> (1576)
Effect of Composting Organic Fertilizer Supplies on Hexachlorobenzene Dechlorination in Paddy Soils .....	LIU Cui-ying, JIANG Xin (1583)
Remediation of Cu-Pb-Contaminated Loess Soil by Leaching with Chelating Agent and Biosurfactant .....	LIU Xia, WANG Jian-tao, ZHANG Meng, <i>et al.</i> (1590)
Effects of Different Temperatures Biochar on Adsorption of Pb(II) on Variable Charge Soils .....	JIANG Tian-yu, JIANG Jun, XU Ren-kou, <i>et al.</i> (1598)
Preparation and Performance Investigation of <i>Trichoderma viride</i> -Modified Corn Stalk as Sorbent Materials for Oil Spills .....	LAN Zhou-lin, PENG Dan, GUO Chu-ling, <i>et al.</i> (1605)
Removal of PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> from Solution, Wastewater and Seawater by Modification and Granulation Magnesium and Aluminium Layered Double Hydroxide .....	XING Kun, WANG Hai-zeng (1611)
Influence of Carboxylic Carbon Nanotube Supported Platinum Catalyst on Cathode Oxygen Reduction Performance of MFC .....	TU Li-xing, ZHU Neng-wu, WU Ping-xiao, <i>et al.</i> (1617)
Flue Gas Desulfurization by a Novel Biomass Activated Carbon .....	LIU Jie-ling, TANG Zheng-guang, CHEN Jie, <i>et al.</i> (1623)
Method for Grading Industrial Sectors in Energy Consumption and Its Application .....	MAO Jian-su, MA Lan (1628)
Dynamics and Environmental Load of Food Carbon Consumption During Urbanization: A Case Study of Xiamen City, China .....	YAN Zhen, CUI Sheng-hui, LI Gui-lin, <i>et al.</i> (1636)

# 《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4月15日 34卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 4 Apr. 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