

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 ₁₀ 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 ₁₀ 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 (<i>Crassostrea</i> 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)
铝盐混凝除砷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 γ 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, 杜兴治, 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, 张洪助 (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, 龚伊, 王张伟, 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 <i>Alcaligenes</i> 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	蓝丹琳, 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 ₄ ³⁻ 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)	

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

(合肥工业大学资源与环境工程学院, 合肥 230009)

摘要: 从环氧树脂废水生化处理系统的活性污泥中分离筛选得到2株嗜盐菌, 并对其进行分子生物学鉴定, 考察了生长和降解特性。结果表明, 通过菌株的形态观察及16S rDNA序列比对分析, 菌株J1归属于芽孢杆菌属(*Bacillus* sp.), 菌株J2属于枝芽孢杆菌属(*Virgibacillus* sp.)。菌株J1和J2在高盐CM培养基中的适宜生长条件为: 温度30℃, pH为7.0, NaCl的浓度范围为5~50 g·L⁻¹。对环氧树脂废水中有机物的最佳降解条件为: 温度30℃, pH为7.0, NaCl浓度30 g·L⁻¹。将菌悬液J1和J2按2:1的体积比例混合后, 在复合菌种的接入量为10%时, 对环氧树脂废水中COD的去除率最高。

关键词: 嗜盐菌; 筛选; 环氧树脂; 高盐废水; 鉴定

中图分类号: X173 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)04-1510-07

Screening of Epoxy-degrading Halophiles and Their Application in High-salt Wastewater Treatment

WANG Jin, XU Zhen, PENG Shu-chuan, XIA Ming-shan, YUE Zheng-bo, CHEN Tian-hu

(School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: In this study, two halophilic bacteria were isolated from activated sludge in the epoxy wastewater treatment system. The strains were identified, and the growth and degradation characteristics were investigated. Strain J1 and J2 was identified respectively by morphological observation and 16S rDNA sequence alignment analysis. It was found that both strains belong to the *Bacillus* genus (*Bacillus* sp.) and branch *Bacillus* (*Virgibacillus* sp.). The optimized growth condition of strain J1 and J2 in the high salt CM culture medium was as follows: solution temperature 30℃, pH 7.0 and 5-50 g·L⁻¹ of NaCl. Furthermore, the best degradation condition of the organic epoxy wastewater was: temperature 30℃, pH 7.0 and NaCl concentration 30 g·L⁻¹. When the volume ratio of bacterial suspension mixture of J1 and J2 was 2:1 and the inoculum size of the composite strains was 10%, the highest COD removal efficiency was achieved in the epoxy wastewater treatment.

Key words: halophiles; screening; epoxy; high-salt wastewater; identification

环氧树脂是一类重要的热固性树脂品种, 用途广泛。环氧树脂生产废水是一种高盐分高浓度的有机废水, 含难生物降解的有机氯化物, 处理难度大, 处理成本高^[1]。目前, 环氧树脂高浓度含盐废水的处理技术可大致分为两类: 一类为简单的处理工艺, 不考虑盐或甲苯等有用资源的回收再利用; 如焚烧法、吸附法、普通的生化处理技术、膜生物反应器等^[2~5]。另一类以回收可利用资源为主要工艺的处理技术^[6~8]; 如闭路循环工艺回收盐和甲苯、多级蒸发回收工艺、喷雾干燥析盐等。普通膜分离析盐技术路线可行, 但膜易被有机物污染, 运行费用太高; 转鼓蒸发析盐和喷雾干燥析盐工艺方案为化工分离方法, 技术成熟、但耗能大; 多效蒸发浓缩工艺方案, 目前基本上用在其它高浓度有机废水的降解处理, 仍需要二次生化处理, 由于盐分没有去除, 既浪费资源, 又使生化处理难度增加; 催化氧化处理+生化处理多效蒸发析盐技术在国内环氧树脂企

业已有工程化实例, 运转良好, 但由于盐中含有大量有机物, 盐的质量差, 无法再利用。膜生物反应器处理成本较低, 但是嗜盐菌培养比较困难, 国内应用较少^[9]。

生物处理是目前污水处理最常用的方法之一, 它具有经济、高效、无害、适应性强等特点。无机盐类在微生物生长过程中起着促进酶反应、维持膜平衡和调节渗透压的重要作用, 但盐度过高, 会对微生物的生长产生抑制作用。一些研究认为驯化后的活性污泥能够耐受的盐度范围为10~30 g·L⁻¹; 且盐度变化对驯化效果影响很大, 盐度在0.5%~2%变化通常会对处理系统产生严重的干扰, 致使系统对有机物去除率降低、微生物呼吸速率降低、污泥

收稿日期: 2012-07-12; 修订日期: 2012-08-31

基金项目: 安徽省科技攻关计划项目(12010402100)

作者简介: 王进(1978~), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为环境生物技术, E-mail: wjwang0000@gmail.com

* 通讯联系人, E-mail: scpeng@vip.sina.com

体积指数(sludge volume index, SVI)增大、出水的生化需氧量(biochemical oxygen demand, BOD₅)、悬浮性固体(suspended solid, SS)升高,而且从高盐变为无盐产生的影响要比从低盐环境变为高盐环境产生的影响更大^[10~13]。在含盐废水生物处理中嗜盐微生物占据着重要的地位,它们的生长依赖于一定的盐浓度。在自然界高盐环境如盐湖、盐碱地、海水、晒盐池和盐渍食物中,广泛生存着耐极高盐度的嗜盐菌和耐盐菌^[14]。这些嗜盐菌或耐盐菌的存在为高盐废水的生物处理提供了保证。因此通过一定的选择培养可以筛选出某些特定的嗜盐菌,它们可能具有很高的专性降解能力,大大提高生物处理效果;而且与普通生物处理法相比,筛选得到的嗜盐菌对盐度的变化有很好的适应性,减少盐度冲击给生物处理系统带来的影响^[15~17]。因此,如何对高盐废水进行有效生物处理的关键和难点就在于能否筛选出对特定有机物具有一定降解效果的嗜盐菌。而目前为止,有关降解环氧树脂的嗜盐菌的报道非常有限。

本研究从环氧树脂废水生化处理系统的活性污泥中分离筛选出嗜盐菌,并对其进行菌种鉴定及生长和降解性能研究,同时通过物化结合生化处理工艺,将筛选出的嗜盐菌投加到生化处理系统中,进行生物强化处理。

1 材料与方法

1.1 污泥来源

黄山市安徽恒远化工有限公司污水处理工艺二沉池。

1.2 培养基

1.2.1 富集培养基

用于富集污泥里的微生物,采用牛肉膏蛋白胨液体培养基:牛肉膏 5 g·L⁻¹,蛋白胨 10 g·L⁻¹,氯化钠 1.3 g·L⁻¹,pH 值 6.8~7.2。

1.2.2 菌株筛选培养基

高盐 CM 液体培养基:蛋白胨 7.5 g·L⁻¹,酵母膏 10 g·L⁻¹,柠檬酸三钠 3 g·L⁻¹,MgSO₄·7H₂O 20 g·L⁻¹,KCl 2 g·L⁻¹,FeSO₄·7H₂O 0.05 g·L⁻¹,NaCl 根据需要投加,pH 7.0。用 NaOH 和 H₂SO₄ 调节培养基 pH 为 7.0 左右;固体培养基加琼脂粉 2 g·L⁻¹;在 121.5℃,灭菌 20 min 后备用。

1.2.3 菌株 J1 和 J2 生长培养基

高盐 CM 培养基:蛋白胨 7.5 g·L⁻¹,酵母膏 10 g·L⁻¹,柠檬酸三钠 3 g·L⁻¹,MgSO₄·7H₂O 20 g·L⁻¹,

KCl 2 g,FeSO₄·7H₂O 0.05 g·L⁻¹,NaCl 50 g·L⁻¹,pH 7.0。

无机盐 MS 培养基:NH₄Cl 0.5 g·L⁻¹,K₂HPO₄ 0.5 g·L⁻¹,KH₂PO₄ 0.5 g·L⁻¹,MgSO₄·7H₂O 0.2 g·L⁻¹,CaCl₂ 0.1 g·L⁻¹,NaCl 30 g·L⁻¹,微量元素(mg·L⁻¹) 1 mL:FeCl₃·6H₂O;CuSO₄·5H₂O;H₃BO₃;MnCl₂·4H₂O;ZnSO₄·7H₂O;NiSO₄·COD 为 1 g·L⁻¹的环氧树脂废水 1 000 mL。pH 7.0。

以上培养基分别于 121℃ 高压灭菌 30 min 后备用。

1.3 嗜盐菌的分离与纯化

取活性污泥样品 1 mL,加至 100 mL 富集培养基中,于 30℃,140 r·min⁻¹ 摇床培养 2 d;从中取 5 mL 菌悬液于 100 mL 高盐 CM 液体培养基中,每 3 d 按 5% 接种量转移至新鲜的高盐 CM 液体培养基中,并逐步提高培养基中的 NaCl 浓度至 7.5%,最后取培养液按照 10⁻¹、10⁻²、10⁻³、10⁻⁴、10⁻⁵、10⁻⁶ 逐级梯度稀释菌液,无菌操作下分别吸取 0.2 mL 不同梯度的稀释菌液涂布于 7.5% 高盐 CM 培养基平板上,倒置培养于 37℃ 恒温培养箱,培养至平板长出肉眼可见的菌落。

选取平板上生长的典型单一菌落,进一步对菌落划线分离,挑取单一菌落,接种于斜面培养基,镜检视野中菌体形态是否均一,直到镜检菌体形态均一后,停止划线分离。通过观察菌落颜色、大小与干湿等典型形态并作记录,将获得的纯菌落接种于斜面培养基,作为菌种保藏于 4℃ 冰箱备用。

1.4 菌株鉴定

1.4.1 细胞观察

样品经过固定化处理和革兰氏染色后进行油镜观察^[18]。用戊二醛固定乙醇脱水,表面喷金处理后,用美国 Sirion 200 FE-SEM 做形态观察。

1.4.2 细菌 16S rDNA 测序和构建系统发育树

对生长在液体中对数后期的纯株,采用 UNIQ-10 柱式细菌基因组 DNA 抽提试剂盒(上海生工)对基因进行抽提,验证所得 DNA 的纯度及含量。并用细菌 16S rDNA 的通用引物 F27 (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3') 和 R1492 (5'-ACGTTACCTTGTACGACTT-3') 进行 PCR 扩增。PCR 采用 50 μL 体系:DNA 模板 1 μL,引物各为 1 μL,d NTP mix 1 μL,10×PCR buffer 2.5 μL,Taq 酶 0.25 μL,加 dd H₂O 到 50 μL。扩增程序:98℃ 5 min;95℃ 35 s;55℃ 35 s;72℃ 1 min 30 s,进行 35 个循环;72℃ 8 min。扩增产物用 1% 的琼脂糖凝胶

电泳观察(图1),然后采用柱式胶回收试剂盒(上海生工)进行回收,测序.将测得的16S rDNA序列输入NCBI GenBank数据库,进行BLAST比对.利用Bootstrap法(重复值为1000)进行检验,用MEGA 4.1软件中Kimura 2-parameter模型邻接法建立系统发育树^[19].

1.5 实验设计

1.5.1 溶液温度、pH、NaCl浓度对菌株生长量的影响

温度影响:向各CM液体培养基(NaCl浓度50 g·L⁻¹)中分别接入5%新鲜的菌悬液J1和J2,于20、25、30、35、40和45℃下160 r·min⁻¹水浴恒温振荡培养24 h后,以未投菌的培养基作为参比测定各组培养液的 D_{600} .

pH影响:将两组CM液体培养基的pH分别调节为4.5、5.5、6.5、7.5、8.5和9.5,然后向每组中各移取5%新鲜的菌液J1和J2,30℃下160 r·min⁻¹水浴恒温振荡培养24 h,取样以未投菌的培养基作为参比测定培养液的 D_{600} .

NaCl浓度影响:分别配制两组不同盐度的CM液体培养基,调节pH为7.5,向其中各移取5%的菌悬液J1和J2,在30℃下160 r·min⁻¹水浴振荡培养24 h,以未投菌的培养基作为参比测菌悬液的 D_{600} .

1.5.2 溶液温度、pH、NaCl浓度对菌株处理废水效率的影响

分别取5 mL在高盐CM培养基中培养24 h的菌悬液J1和J2,无菌操作加入到100 mL COD浓度为1 g·L⁻¹的环氧树脂废水中,①调节溶液pH值为7.5,NaCl浓度为30 g·L⁻¹,于不同温度下,160 r·min⁻¹水浴恒温振荡培养48 h后,离心测定上清液COD值^[20]并计算COD去除率;②分别调节溶液pH值为4.5、5.5、6.5、7.5、8.5、9.5和10.5,其它同温度影响实验;③分别调节溶液NaCl浓度为5~60 g·L⁻¹,其它同温度影响实验.

1.5.3 菌株J1和J2不同投加比例对COD去除率的影响

将菌悬液J1和J2按不同的质量比(1:0、3:1、2:1、1:1、1:2、1:3和0:1)混合后,按5%的投加量加入到新鲜MS液体培养基中(NaCl浓度为30 g·L⁻¹),其他同温度影响实验.

1.5.4 混合菌种投加量对COD去除率的影响

以普通菌为参照,将混合菌液按不同投加量加入到新鲜MS液体培养基中(NaCl浓度为30

g·L⁻¹),其它同温度影响实验.

2 结果与讨论

2.1 嗜盐菌株的驯化分离

通过富集培养与分离,挑取单菌落,共得到5株嗜盐菌.以普通非耐盐菌作为对照,对它们进行环氧树脂废水降解特性的测定,水样的COD为1 g·L⁻¹,氯化钠浓度为35 g·L⁻¹.结果如表1所示.最后选取耐盐能力强且降解性能最好的2株菌作为实验菌种.

表1 不同菌株对环氧树脂废水降解能力

Table 1 Degradation ability of the epoxy resin wastewater by different strains

项目	J1	J2	J3	J4	J5	对照菌
COD去除率/%	48.8	44.2	38.8	39.5	19.1	17.4

2.2 嗜盐菌株的形态及特性

嗜盐菌J1的菌落形态为圆形,黄褐色,半透明,湿润,边缘整齐,菌落大小为1~2 mm;菌株J2外观圆形,乳白色,湿润,菌落大小为2~3 mm.

高倍显微镜检测得到菌株J1和J2都呈透明的颗粒杆状.革兰氏染色后,镜检观察得到J1和J2菌细胞的颜色为红色,即菌株J1和J2为革兰氏阳性菌.菌株J1和J2的放大20 000倍的扫描电镜照片分别如图1(a)和图1(b)所示.

2.3 菌株的PCR扩增结果

PCR扩增产物的检测结果如图2所示(M: Marker, 1:扩增样品I, 2:扩增样品II, 3:扩增样品III).其中样品I为菌株J1的16S rDNA的扩增产物,样品II和样品III为菌株的J2的16S rDNA的扩增产物.由图2可知扩增产物的长度约为1 500 bp左右.

采用细菌通用引物经PCR反应后可扩增出嗜盐菌J1和J2的16S rRNA基因,回收PCR扩增产物后进行测序,通过人工检测测序结果,分别得出嗜盐菌J1和J2的16S rRNA基因可靠序列为1 426 bp和1 448 bp,将菌株J1和J2的16S rDNA序列在GenBank中作BLAST比对(菌株J1和J2在GenBank中的QueryID分别为:lc1121285和lc1126883).分别选取与菌株J1和J2的16S rDNA序列同源性达到99%以上的全序列16S rDNA构建系统发育树,如图3所示.

从图3(a)和图3(b)分别可以看出,菌株J1与*Bacillus megaterium* (B217; DQ289999)在同一个分

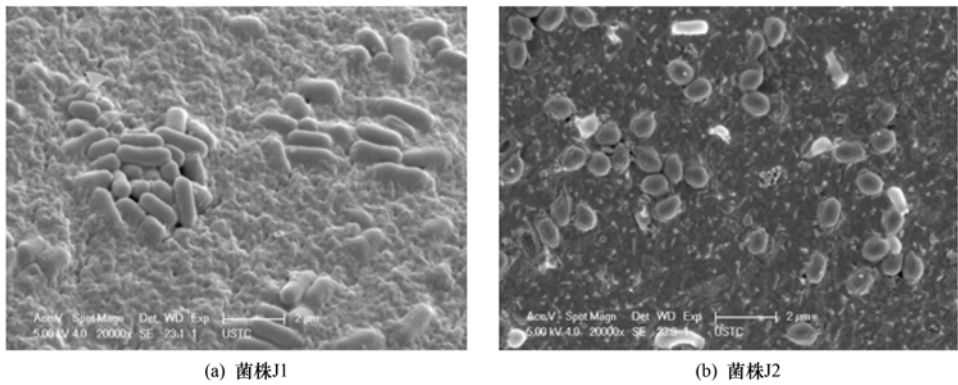


图 1 菌株 J1 和菌株 J2 的扫描电镜照片

Fig. 1 Scanning electron microscope (SEM) images of strain J1 and strain J2

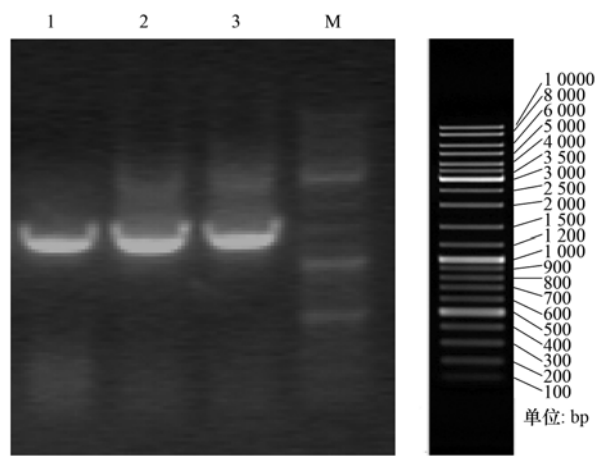


图 2 PCR 扩增产物凝胶电泳图像

Fig. 2 Agarosegel electrophoresis of PCR amplified 16S rDNA

支上,鉴定菌株 J1 为 1 株芽孢杆菌属细菌 (*Bacillus* sp.); 菌株 J2 与枝芽孢杆菌属 (*Virgibacillus* sp.) 多个菌株的同源性高达 99% 以上,综合菌株的生理生化以及分子鉴定结果,菌株 J2 属于枝芽孢杆菌属 (*Virgibacillus* sp.).

2.4 嗜盐菌的生长与降解环氧树脂废水特性研究

2.4.1 溶液温度的影响

微生物对外界温度的适应有一定范围,这是因为微生物体内的酶在不同温度下的活性不同,温度

过低,酶的活性大大降低,其体内的生理生化反应受抑制;温度过高,也会使酶的活性大大降低,甚至变性,导致菌体死亡. 如图 4(a) 所示,温度对菌株 J1 和 J2 生长量的影响基本一致,两株菌的最适生长温度都在 30 ~ 35℃; 当温度高于 35℃ 后,它们生长量都急剧下降. 因此,后续实验选取 30℃ 作为嗜盐菌 J1 和 J2 适宜的生长温度.

分别开展在不同温度下菌株 J1 和 J2 降解环氧树脂废水的实验,如图 4(b) 所示,当温度 < 25℃ 时,两株菌降解 COD 的性能都不高,只有 24.2% 和 23.6%; 而随温度的升高降解能力显著提高,在 30 ~ 35℃ 范围内,两株菌对 COD 的去除率均达到 40% 以上,且在 30℃ 时具有最好的降解效果,分别为 49.6% 和 44.2%; 当温度达到 40℃ 后,COD 的去除率急剧下降,这是因为菌株在超过 40℃ 时已活性很低甚至不能生长.

2.4.2 溶液 pH 的影响

如图 5(a) 所示,菌株 J1 和 J2 的生长量都随 pH 值的上升先增加后下降,在 pH 为 7.0 ~ 9.5 范围内生长良好,且都在 pH 为 7.5 时生长量最大; 而在 pH ≤ 6.5 时菌株的生长受到严重影响,这说明菌株 J1 和 J2 适宜在中性或偏碱性条件下生存,而酸性条

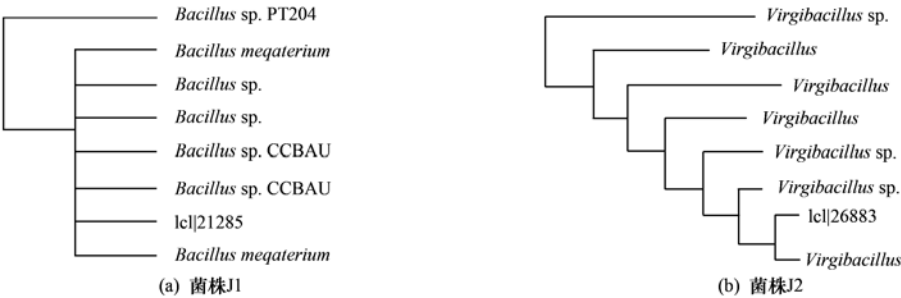


图 3 菌株 J1 和菌株 J2 的系统发育树

Fig. 3 Phylogenetic tree of strain J1 and strain J2

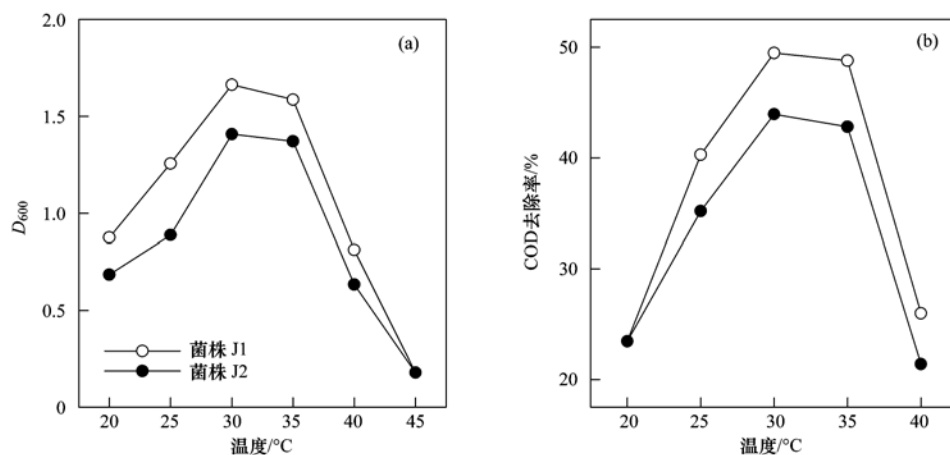


图4 溶液温度对菌株 J1 和 J2 生长量和降解环氧树脂废水的影响

Fig. 4 Effects of solution temperature on the growth of strain J1 and J2 and degradation of epoxy resin wastewater

件不利于它们的生长。

菌株 J1 和 J2 对 COD 的去除率都随 pH 值的增加先增加后下降[图 5(b)]。两株菌在 pH 值为 7.5 时均具有最高的 COD 去除率,分别为 49.3% 和 44.6%; 在 pH 值由 7.5 上升到 10.5 时,COD 的去

除率分别降为 38.2% 和 31.5%; 而 pH 值为 4.5 时,两株菌的 COD 去除率分别只有 18.3% 和 20.1%。这进一步说明菌株适宜在中性或偏碱性的环境中生存,在中性或偏碱性的环境中对有机物的降解效率要高于酸性环境。

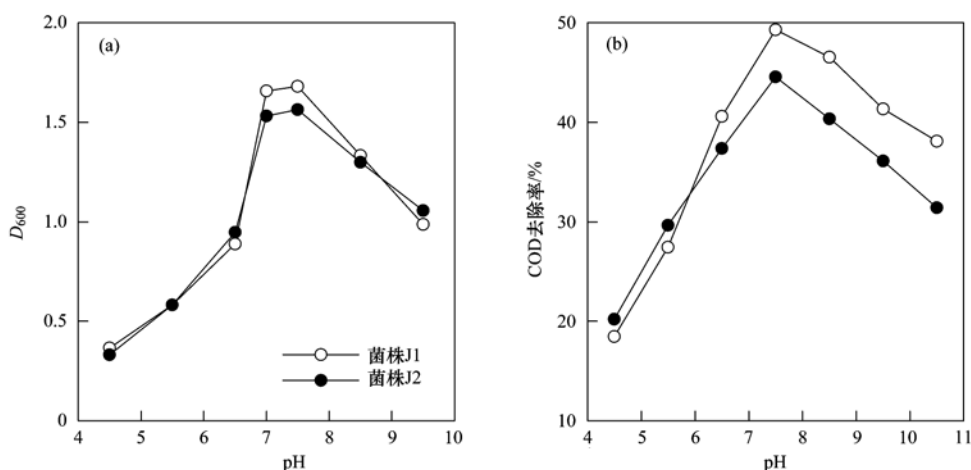


图5 溶液 pH 对菌株 J1 和 J2 生长量和降解环氧树脂废水的影响

Fig. 5 Effects of pH on the growth of strain J1 and J2 and degradation of epoxy resin wastewater

2.4.3 NaCl 浓度的影响

由图 6(a)可知,菌株 J1 和 J2 能在 $0 \sim 100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 浓度范围内生长,具有很强的耐盐和适应盐浓度变化的能力。菌株 J1 和 J2 的菌体浓度随着 NaCl 浓度的逐渐升高呈先增加后降低的趋势,当 NaCl 浓度低于 $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,提高盐度有助于嗜盐菌 J1 和 J2 的生长,最适生长的 NaCl 浓度为 $30 \sim 50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$; 而在此之上进一步提高溶液的盐度则对菌体生长产生抑制作用,当 NaCl 浓度高于 $70 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,菌株 J1 和 J2 的菌体浓度均迅速降低; 当 NaCl 浓度为 $100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,各菌株的菌体浓度均维持在初始

菌体浓度水平,即嗜盐菌 J1 和 J2 基本不生长。如图 6(b)所示,盐度对菌株 J1 和 J2 降解环氧树脂废水影响的实验结果表明,随着 NaCl 浓度由 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 提高到 $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,菌株 J1 和 J2 对 COD 的去除率均略有增加,当废水中 NaCl 浓度达到 $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,菌株 J1 和 J2 对 COD 的去除率分别可达 50.3% 和 45.2%,随后随着 NaCl 浓度的提高大于 $40 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,菌株对 COD 的去除率则显著降低,在 NaCl 浓度为 $60 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, COD 的去除率分别仅为 19.6% 和 17.3%。

嗜盐菌,特别是极端嗜盐菌,对高盐环境有很好的适应性。这主要是由于嗜盐菌的细胞内具有相当

高的离子浓度,可以抵抗胞外高盐溶液对细胞的脱水作用.嗜盐菌的细胞壁成分特殊,不含肽聚糖,而以蛋白质为主,这种细胞壁结构的完整由离子键维

持,高 Na^+ 浓度对其保持细胞结构的完整是必要的.嗜盐菌只有在高盐环境中才能保持细胞结构和显示生理活性,使其能很好地生存^[21,22].

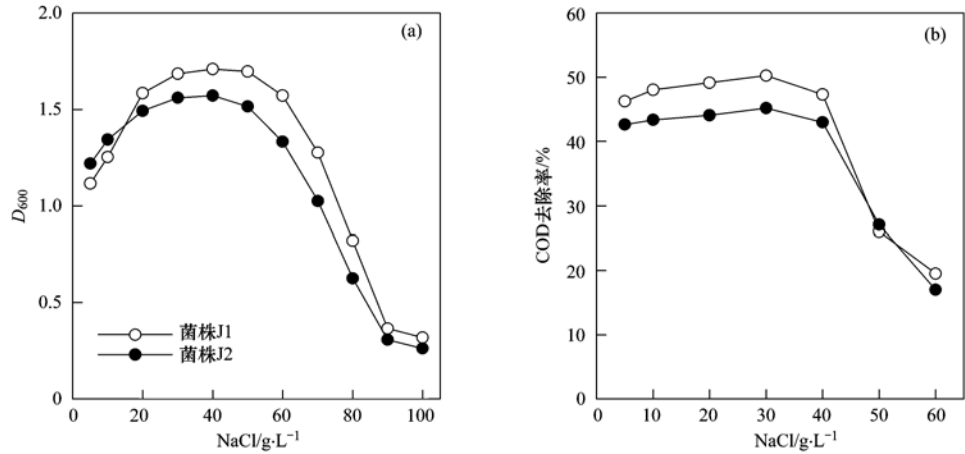


图6 盐度对菌株 J1 和 J2 生长量和降解环氧树脂废水的影响
Fig. 6 Effects of salinity on the growth of strain J1 and J2 and degradation of epoxy resin wastewater

2.5 菌株 J1 和 J2 不同投加比例对 COD 去除率的影响

由图 7 可以看出,混合菌种中 J1 菌所占的比例高于 J2 菌时,微生物对有机物的降解率也较高,在 2:1 时,混合菌种的 COD 去除率最高,达到 51.3%;在 0:1 时,混合菌种的 COD 去除率最低,为 44.7%。这是因为 J1 菌对有机物的降解率要高于 J2 菌,另外将 2 株菌按一定比例混合后,可能起到一定的微生物协同作用,从而使 COD 的去除率有所提高。

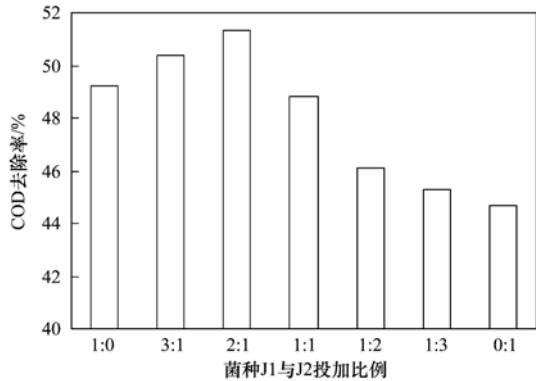


图7 菌种 J1 和 J2 不同投加比例对 COD 去除率的影响
Fig. 7 Effect of different dosage ratio of J1 and J2 on the COD removal efficiency

2.6 复合菌种投加量对 COD 去除率的影响

以单菌为参照,将 J1 和 J2 为 2:1 比例的混合菌液按不同投加量加入到新鲜无机盐 MS 液体培养基中,其对 COD 的去除率如图 8 所示.在复合菌种的投加量为 0~10% 时,随着菌种投加量的增加,COD

的去除率也逐渐提高.与对照组相比,仅投加 1% 的混合嗜盐菌则可以将 COD 的去除率提高约一倍.另一方面,在对数生长期,反应器中的细胞数量与接种量成指数关系,因而此时接种量对 COD 去除率影响也最大,故在一定范围内微生物接种量越多其对 COD 的降解率也越高。

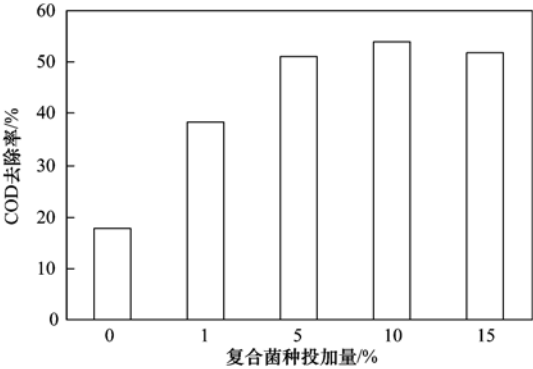


图8 复合菌种投加量对 COD 去除率的影响
Fig. 8 Effect of the dosage of composite strains on the COD removal efficiency

3 结论

(1)菌株 J1 的菌落形态为圆形,黄褐色,半透明,湿润,边缘整齐,菌落大小为 1~2 mm,革兰氏染色为阳性,通过 16S rDNA 序列比对分析,菌株 J1 归属于芽孢杆菌属(*Bacillus* sp.);菌株 J2 外观圆形,乳白色,湿润,菌落大小为 2~3 mm,革兰氏染色为阳性,通过 16S rDNA 序列比对分析,菌株 J2 属于枝芽孢杆菌属(*Virgibacillus* sp.).

(2)菌株 J1 和 J2 在高盐 CM 培养基中的适宜生长条件为:溶液温度 30℃,pH 为 7.0,NaCl 的浓度范围为 30~50 g·L⁻¹. 当菌株 J1 和 J2 生长于 MS 培养基时,对环氧树脂废水中有机物的最佳降解条件为:溶液温度 30℃,pH 为 7.0,NaCl 浓度 30 g·L⁻¹. 将菌悬液 J1 和 J2 按 2:1 的体积比例混合后,在复合菌种的接入量为 10% 时,对环氧树脂废水中 COD 的去除率最高.

参考文献:

- [1] 唐玉萍. 环氧树脂生产废水特点及其处理方法[J]. 广东化工, 2008, **35**(11): 75-77.
- [2] 唐受印. 废水处理工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.
- [3] 周利锋, 时志华. C-20 环氧树脂固化剂生产中的废水处理[J]. 河北化工, 1995, **3**(3): 31.
- [4] 左红影, 甘文杰, 程汉林. 氧化混凝-生物铁法-二段生物接触氧化法处理环氧树脂废水的研究[J]. 广州化工, 2004, **32**(3): 20-23.
- [5] 魏凤玉, 韦洪屹, 程志红. 活性碳纤维吸附法处理环氧树脂生产废水[J]. 合肥工业大学学报, 2003, **26**(3): 432-435.
- [6] Rndnenko E V. Recovery of chloride from wastewaters form epoxy resin manfactue[J]. Lakokr Smater Ikh Primen, 1998, **4**: 67-71.
- [7] Fridan R A. Utilization of sodium chloride from wastewater from epoxy resin production[J]. Plast Massy, 1982, **3**: 56-57.
- [8] 陈建新, 张建华, 毛忠贵. 清洁生产中的闭路循环技术[J]. 无锡轻工大学学报, 1999, **18**(4): 27-32.
- [9] 王宏, 周旭. 一体式膜-生物活性炭法处理高盐度有机废水[J]. 环境污染与防治, 2001, **23**(5): 232-234.
- [10] Woolard C R, Irvine R L. Biological treatment of hypersaline wastewater by a biofilm of halophilic bacteria [J]. Water Environment Research, 1994, **66**(3): 230-234.
- [11] An L, Gu G W. The treatment of saline wastewater using a two-stage contact oxidation method [J]. Water Science & Technology, 1993, **28**(7): 31-37.
- [12] 刘洁. A-B 二段法处理高含盐量皂化废水的研究[J]. 工业用水与废水, 1999, **30**(1): 19-22.
- [13] Arjen R, Van Lier J, Lettinga G. Sodium inhibition of acetoclastic methanogens in granular sludge from a UASB reactor [J]. Enzyme and Microbial Technology, 1988, **10**(1): 24-32.
- [14] Belkin S, Brenner A, Abeliovich A. Biological treatment of a high salinity chemical industrial wastewater[J]. Water Science & Technology, 1993, **27**(7-8): 105-112.
- [15] Woolard C R, Irvine R L. Response of a periodically operated halophilic biofilm reactor to changes in salt concentration [J]. Water Science & Technology, 1995, **31**(1): 41-50.
- [16] Woolard C R, Irvine R L. Treatment of hypersaline wastewater in the sequencing Batch reactor[J]. Water Research, 1995, **29**(4): 1159-1168.
- [17] Peyton B M, Wilson T, Yonge D R. Kinetics of phenol biodegradation in high salt solutions[J]. Water Research, 2002, **36**(19): 4811-4820.
- [18] 周群英, 高廷耀. 环境工程微生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. 327-327.
- [19] Tamura K, Dudley J, Nei M, *et al.* MEGA4: molecular evolutionary genetics analysis (MEGA) software version 4.0[J]. Molecular Biology and Evolution, 2007, **24**(8): 1596-1599.
- [20] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [21] 宁卓, 张波. 嗜盐菌的研究进展及应用[J]. 苏盐科技, 2007, (1): 31-32.
- [22] 陶卫平. 嗜盐菌的嗜盐机制[J]. 生物学通报, 1996, **31**(1): 23-24.

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 _{2.5} 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-rui, CHEN Hong, <i>et al.</i> (1236)
Characterising Seasonal Variation and Spatial Distribution of PM _{2.5} 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 Changhe 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 Phosphorous 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 Flocs	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 Flocs	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-xue, <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 ₄ ³⁻ 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