

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第2期

Vol.34 No.2

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

16 届亚运会期间广州城区 PM _{2.5} 化学组分特征及其对霾天气的影响	陶俊, 柴发合, 高健, 曹军骥, 刘随心, 张仁健 (409)
北京地区秋季雾霾天 PM _{2.5} 污染与气溶胶光学特征分析	赵秀娟, 蒲维维, 孟伟, 马志强, 董璠, 何迪 (416)
上海市秋季大气 VOCs 对二次有机气溶胶的生成贡献及来源研究	王倩, 陈长虹, 王红丽, 周敏, 楼晟荣, 乔利平, 黄成, 李莉, 苏雷燕, 牟莹莹, 陈宜然, 陈明华 (424)
杭州市大气超细颗粒物浓度谱季节性特征	谢小芳, 孙在, 付志民, 杨文俊, 林建忠 (434)
保定市大气气溶胶中正构烷烃的污染水平及来源识别	李杏茹, 杜熙强, 王英锋, 王跃思 (441)
春节期间西安城区碳气溶胶污染特征研究	周变红, 张承中, 王格慧 (448)
华东区域高山背景点 PM ₁₀ 和 PM _{2.5} 背景值及污染特征	苏彬彬, 刘心东, 陶俊 (455)
基于电子鼻土壤与地下水污染修复现场 TVOC 和恶臭的评估	田秀英, 蔡强, 刘锐, 张永明 (462)
积融雪控制下土壤大气间汞交换通量特征	张刚, 王宁, 艾建超, 张蕾, 杨净, 刘子琪 (468)
靖海湾重金属污染及铅稳定同位素溯源研究	徐林波, 高勤峰, 董双林, 刘佳, 傅秀娟 (476)
正构烷烃及单体碳同位素记录的石臼湖生态环境演变研究	欧杰, 王延华, 杨浩, 胡建芳, 陈霞, 邹军, 谢云 (484)
干旱区城市昌吉降雪及积雪中 PGEs 含量分布及其影响因素	刘玉燕, 刘浩峰, 张兰 (494)
降尘收集方法对降尘效率的影响	张正偲, 董治宝 (499)
海河流域水生生态功能一级二级分区	孙然好, 汲玉河, 尚林源, 张海萍, 陈利顶 (509)
长江中下游浅水湖泊水下辐照度漫射衰减特征研究	时志强, 张运林, 王明珠, 刘笑茵 (517)
内陆水体叶绿素反演模型普适性及其影响因素研究	黄昌春, 李云梅, 徐良将, 杨浩, 吕恒, 陈霞, 王延华 (525)
溶氧对富集培养的河口湿地表层沉积物氨氧化菌多样性及氨氧化速率的影响	邱昭政, 罗专溪, 赵艳玲, 颜昌宙 (532)
自然条件下盐城海滨湿地土壤水分/盐度空间分异及其与植被关系研究	张华兵, 刘红玉, 李玉凤, 安静, 薛星宇, 侯明行 (540)
淮河流域农业非点源污染空间特征解析及分类控制	周亮, 徐建刚, 孙东琪, 倪天华 (547)
高岚河不同降雨径流类型磷素输出特征	崔玉洁, 刘德富, 宋林旭, 陈玲, 肖尚斌, 向坤, 张涛 (555)
城市雨水径流水质演变过程监测与分析	董雯, 李怀恩, 李家科 (561)
复合人工湿地系统强化处理单元的运行特性与效果	任峰, 陆忆夏, 刘琴, 汤杨杨, 王世和, 高海鹰, 乔红杰, 王为进 (570)
给水管网中耐氯分枝杆菌的灭活特性及机制研究	郑琦, 陈超, 张晓健, 陆品品, 刘源源, 陈雨乔 (576)
1 株溶藻菌的部分生物学特性及溶鱼腥藻作用	李三华, 张奇亚 (583)
水生植物热解生物油中对肋骨藻抗氧化酶活性的影响	姚远, 李锋民, 李媛媛, 单时, 李杰, 王震宇 (589)
TiO ₂ 光催化联合技术降解苯酚机制及动力学	张轶, 黄若男, 王晓敏, 王齐, 丛燕青 (596)
皮革废水有机污染物生物降解特性研究	王勇, 李伟光, 杨力, 宿程远 (604)
链霉菌 FX645 对偶氮染料红 AR30 的降解机制研究	谢练武, 方继前, 郭亚平 (611)
一种负载型生物载体的制备及性能研究	杨基先, 曾红云, 周义, 邱珊, 马放, 王蕾, 肖大伟 (616)
基于污泥资源化利用的蛋白核小球藻 (<i>Chlorella pyrenoidosa</i>) 培养研究	嵇雯雯, 夏会龙, 方治国, 刘惠君 (622)
温和热处理对低有机质污泥厌氧消化性能的影响	陈汉龙, 严媛媛, 何群彪, 戴晓虎, 周琪 (629)
天然和水热合成针铁矿对有机物厌氧分解释放 CH ₄ 的影响	姚敦璠, 陈天虎, 王进, 周飞跃, 岳正波 (635)
蚀刻废液及其回收后生产的铜盐产品中 PCDD/Fs 含量水平及分布特征	青宪, 韩静磊, 温炎桑 (642)
基于特定场地污染概念模型的健康风险评估案例研究	钟茂生, 姜林, 姚珏君, 夏天翔, 朱笑盈, 韩丹, 张丽娜 (647)
区域地下水污染风险评价方法研究	杨彦, 于云江, 王宗庆, 李定龙, 孙宏伟 (653)
地下水有机污染源识别技术体系研究与示范	王晓红, 魏加华, 成志能, 刘培斌, 纪轶群, 张干 (662)
祁连山不同海拔土壤有机碳库及分解特征研究	朱凌宇, 潘剑君, 张威 (668)
黑土有机碳、氮及其活性对长期施肥的响应	骆坤, 胡荣桂, 张文菊, 周宝库, 徐明岗, 张敬业, 夏平 (676)
根茬连续还田对镉污染农田土壤中镉赋存形态和生物有效性的影响	张晶, 于玲玲, 辛木贞, 苏德纯 (685)
长期施肥措施下稻田土壤有机质稳定性研究	罗璐, 周萍, 童成立, 石辉, 吴金水, 黄铁平 (692)
外源 Cr(Ⅲ) 在我国 22 种典型土壤中的老化特征及关键影响因子研究	郑顺安, 郑向群, 李晓辰, 刘书田, 姚秀荣 (698)
某林丹生产企业搬迁遗留场地土壤中六六六的残留特征	潘峰, 王利利, 赵浩, 尤奇中, 刘林 (705)
大型炼锌厂周边土壤及蔬菜的汞污染评价及来源分析	刘芳, 王书肖, 吴清茹, 林海 (712)
天津成人头发指甲中有机氟污染物的残留特征	姚丹, 张鸿, 柴之芳, 沈金灿, 杨波, 王艳萍, 刘国卿 (718)
沉积物中雌激素及壬基酚、辛基酚、双酚 A 的测定	吴唯, 史江红, 陈庆彩, 张晖, 刘晓薇 (724)
动物饲料中砷、铜和锌调查及分析	姚丽贤, 黄连喜, 蒋宗勇, 何兆桓, 周昌敏, 李国良 (732)
氟虫双酰胺在水稻和稻田中的残留动态研究	王点点, 宋宁慧, 吴文铸, 由宗政, 何健, 石利利 (740)
2 株降解菲的植物内生细菌筛选及其降解特性	倪雪, 刘娟, 高彦征, 朱雪竹, 孙凯 (746)
嗜盐拟香味菌 Y6 降解硝基苯的特性研究	厉阗, 钱坤, 肖伟, 王进军, 邓新平 (753)
固定化条件对苯系物细胞传感器检测效果的影响	唐阔, 马安周, 于清, 邓雪梅, 吕迪, 庄国强 (760)
16S rDNA 克隆文库分析高含盐生物脱硫系统细菌多样性	刘卫国, 梁存珍, 杨金生, 王桂萍, 刘苗苗 (767)
氨氮浓度对 CANON 工艺功能微生物丰度和群落结构的影响	刘涛, 李冬, 曾辉平, 畅晓燕, 张杰 (773)
筒青霉 (<i>Penicillium simplicissimum</i>) 对木质纤维素的降解及相关酶活性特征	沈莹, 胡天觉, 曾光明, 黄丹莲, 尹璐, 刘杨, 吴娟娟, 刘晖 (781)
石油污染土壤微生物群落结构与分布特性研究	杨萌青, 李立明, 李川, 李广贺 (789)
土霉素在鸡粪好氧堆肥过程中的降解及其对相关参数的影响	王桂珍, 李兆君, 张树清, 马晓彤, 梁永超 (795)
生活垃圾填埋过程含水率变化研究	李睿, 刘建国, 薛玉伟, 张媛媛, 岳东北, 聂永丰 (804)
动物消化机制用于木质纤维素的厌氧消化	吴昊, 张盼月, 郭建斌, 吴永杰 (810)
《环境科学》征订启事 (447)	《环境科学》征稿简则 (493)
信息 (508, 588, 610, 731)	专辑征稿通知 (788)

嗜盐拟香味菌 Y6 降解硝基苯的特性研究

厉闾, 钱坤, 肖伟, 王进军, 邓新平*

(西南大学植物保护学院, 重庆 400715)

摘要: 研究拟香味菌 Y6 (*Myroides odoratimimus* strain) 高盐条件下降解硝基苯的特性, 拟解决高盐工业废水中硝基苯难降解问题. 利用高效液相色谱测定硝基苯含量, 分析高盐条件下温度、pH、硝基苯初始浓度、接种量、共代谢物等因素对菌 Y6 降解硝基苯特性的影响. 结果表明, 降解最佳条件为: pH 值 6, 温度 28℃, 接种量 $D_{600} = 1$, NaCl 质量分数 7%. 在最佳降解条件下, 菌株 168 h 内对 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硝基苯降解率分别达到 97.5% 和 65.7%. 添加葡萄糖、淀粉和丙三醇对硝基苯降解均有促进作用, 加入 $800 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖, 其降解率达到 93.3% (168 h, $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硝基苯). 菌株 Y6 可用于硝基苯高盐工业废水的生物修复, 这是首次报道耐盐拟香味菌降解硝基苯.

关键词: 硝基苯; 高盐; 动力学; 降解; 共代谢; 拟香味菌

中图分类号: X172 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)02-0753-07

Biodegradation of Nitrobenzene by a Halophilic *Myroides odoratimimus* Strain Y6

LI Tian, QIAN Kun, XIAO Wei, WANG Jin-jun, DENG Xin-ping

(College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: Aimed at efficient remediation of nitrobenzene-contaminated saline wastewater, the nitrobenzene-degrading characteristics of a *Myroides odoratimimus* strain Y6 were studied and analyzed. The effects of temperature, pH, initial concentration of nitrobenzene, inoculum concentration and culture type on the biodegradation of nitrobenzene by strain Y6 under saline conditions were studied. Strain Y6 showed the highest efficiency of nitrobenzene degradation in 7% NaCl (mass fraction). The optimal conditions for the biodegradation of nitrobenzene by strain Y6 were at pH 6.0, 28℃ and $D_{600} = 1$. With initial concentrations of 100 and $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 97.5% and 65.7% of nitrobenzene were transformed after 168 h in 7% NaCl, respectively. Three kinds of additional compounds, glucose, starch and glycerin were tested to choose a favorite carbon source for the co-metabolism of strain Y6. The results showed that all these three compounds could promote nitrobenzene biodegradation and cell growth. And the rate of degradation could increase to 93.3%, with $800 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ glucose as the primary substrate. These results suggest that strain Y6 could be a potential candidate for treating nitrobenzene-contaminated saline wastewater. To date, this is the only study on the degradation of nitrobenzene by *M. odoratimimus*.

Key words: nitrobenzene; salinity; kinetic; degradation; cometabolism; *Myroides odoratimimus*

硝基苯(nitrobenzene, NB)是制造业的一种重要原材料,广泛应用于制取苯胺、润滑油、染料、医药、农药和合成橡胶等,每年大约有9 000 t 硝基苯通过工业废水等方式进入环境,造成水体、土壤和空气等环境介质均不同程度地受到污染^[1, 2]. 因其对哺乳动物和人类具有较强的致毒性,硝基苯被很多国家列为重要污染物.

硝基苯工业废水的处理方法主要有物理化学和微生物修复等方法^[3~6]. 微生物修复相比物理化学方法更加环保且成本低廉,从而获得更广泛的应用. 硝基苯工业废水中常常含有高盐(特别是 NaCl),研究表明,高盐工业废水可造成微生物胞浆分离和细胞酶失活,一般认为常规条件下获得的微生物并不适合于该类高于 3% NaCl 废水的处理^[7]. 目前,国内外文献仅报道了 4 株耐盐硝基苯降解菌(*Streptomyces*、*Mucilaginosa*、*M. luteus*、*Klebsiella*)^[8~11],且主要集中在低盐条件下的菌株降

解特性研究,在盐含量 > 5% NaCl 时,其降解硝基苯的效率很低;未见高盐条件下温度、pH 值、硝基苯浓度、菌浓度和共代谢物等因素对硝基苯降解影响的研究. 已有文献表明盐含量的变化会影响降解率^[12, 13],但对其规律研究较少,动力学方程未见报道. 本文针对实验室获得的 3,4-二氯苯胺降解耐盐菌 Y6 (*Myroides odoratimimus* strain)^[14] 进一步研究发现,其为新的硝基苯降解菌,具有更强的耐盐能力. 据此,对该菌株降解硝基苯的特性和盐浓度影响硝基苯降解的动力学方程进行了研究.

1 材料与方法

1.1 实验试剂

硝基苯(nitrobenzene)购自德国 Merck 有限公

收稿日期: 2012-05-19; 修订日期: 2012-08-07

作者简介: 厉闾(1970~),男,博士研究生,讲师,主要研究方向为环境毒理学, E-mail: lihwang@swu.edu.cn

* 通讯联系人, E-mail: denggood@126.com

司,纯度>98%。甲醇为 HPLC 级,购自天津市四有精细化学品有限公司,色谱用水为自备双蒸水。其余试剂均为分析纯,购自成都市科龙化工试剂厂。

1.2 菌种及培养基

实验菌株来自西南大学环境毒理实验室保藏的 3,4-二氯苯胺降解菌株 (*Myroides odoratimimus* strain), GenBank 登录号为 GU570427。

LB 液体培养基 (per liter): 胰蛋白胍 (Tryptone) 10 g, 酵母提取物 (Yeast extract) 5 g, 氯化钠 (NaCl) 10 g。

LBS 固体培养基 (per liter): 胰蛋白胍 (Tryptone) 10 g, 酵母提取物 (Yeast extract) 5 g, 氯化钠 (NaCl) 10 g, 琼脂 (agar) 15 g。

MSM 基础无机盐培养基 (per liter): 氯化钠 (NaCl) 1 g, 磷酸氢二钾 (K_2HPO_4) 1 g, 硫酸二氢铵 [$(NH_4)_2SO_4$] 1 g, 硫酸镁 ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) 0.2 g, 氯化钙 ($CaCl_2$) 0.02 g, 二水钼酸钠 ($Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$) 0.002 4 g, 氯化铁 ($FeCl_3$) 0.001 8 g, 氯化锰 ($MnCl_2 \cdot 2H_2O$) 0.001 5 g, pH = 6.0。

1.3 菌株 Y6 的降解特性研究

用接种环从 4℃ 保存的斜面上挑取一环细菌 Y6, 接到无菌的装有 50 mL 的 LB 培养基的三角瓶中, 于 28℃, 180 r·min⁻¹ 摇床培养至对数生长期。然后 4 000 r·min⁻¹ 离心 10 min, 倒去上清液, 加入无菌水 (MSM) 洗涤, 再 4 000 r·min⁻¹ 离心 10 min, 倒去上清液, 反复洗涤 3 次。将洗涤后的菌用无菌水 (MSM) 稀释至 600 nm, 吸光度为 1.0, 制成菌悬液, 取 1 mL 转接到 250 mL 容量, 设定硝基苯初始浓度为 200 mg·L⁻¹, 设定含量为 2%、5%、7%、10%、15% NaCl 的 MSM 溶液, 分别定容到 50 mL。在 180 r·min⁻¹ 的摇床恒温 (28℃) 培养, 定期取样检测硝基苯的浓度。确定降解动力方程, 同时以不接菌株的溶液对照。

pH 5~9 (温度 28℃, 180 r·min⁻¹) 和温度 15~33℃ (pH 6.0, 180 r·min⁻¹) 对菌株 Y6 降解硝基苯的影响。初始条件: MSM 溶液中硝基苯初始浓度 200 mg·L⁻¹, NaCl 浓度为 7%。168 h 后检测硝基苯的浓度, 同时以不接菌株的溶液对照。

测量硝基苯 (28℃, pH 6.0, 180 r·min⁻¹) 浓度分别为 100、200、300、400 和 500 mg·L⁻¹ 对菌株 Y6 降解硝基苯的影响。在 NaCl 浓度为 7% 的 MSM 系统, 定期检测硝基苯的浓度。同时以不接菌株的溶液对照。

测量菌浓度 (设定 D_{600} 1、0.5、0.3、0.2、0.1,

28℃, pH 6.0, 180 r·min⁻¹) 对菌株 Y6 降解硝基苯的影响。在硝基苯初始浓度为 200 mg·L⁻¹ 和 NaCl 浓度为 7% 条件下, 168 h 后测定硝基苯浓度。同时以不接菌株的溶液对照。

测量共代谢的葡萄糖、丙三酮、可溶性淀粉 (0、100、200、500、800 和 1 000 mg·L⁻¹, pH 6.0, 180 r·min⁻¹) 对菌株 Y6 降解硝基苯的影响。MSM 溶液中硝基苯浓度为 200 mg·L⁻¹, NaCl 浓度为 7%, 168 h 后检测硝基苯的浓度。同时以不接菌株的溶液对照。

以上实验重复 4 次, 数据分析取平均值。

1.4 分析方法

采用高效液相色谱仪 (HITACHI L-2000, Japan) 测定硝基苯的含量, 色谱柱 XDB-C18 column (150 mm, 4.6 mm id, 5 μm), 柱温 40℃, 流动相甲醇: 水 (0.1% H_3PO_4) = 70: 30, 流速为 0.8 mL·min⁻¹, 检测器波长为 210 nm。细菌生长以 D 处的浊度 D_{600} 表示。氨和亚硝酸盐浓度按照标准方法测量^[15]。

2 结果与讨论

2.1 菌株 Y6 的生长特性与鉴定

菌株 Y6 (拟香味类香味菌, GenBank 登录号为 GU570427) 是本实验室从长期使用农药的农用土壤环境中采集样品, 以高盐和 3,4-二氯苯胺的驯化培养后筛选获得。进一步研究发现, Y6 具有降解硝基苯的能力。在固体培养基上培养 3~4 d, 菌 Y6 的菌落形态为圆形, 淡黄色, 不透明, 湿润, 边缘整齐, 菌落大小为 2~3 mm, 菌体形态为杆状, 单个或排列成对 (图 1)。

目前, 已有大量关于硝基苯降解菌的报道。

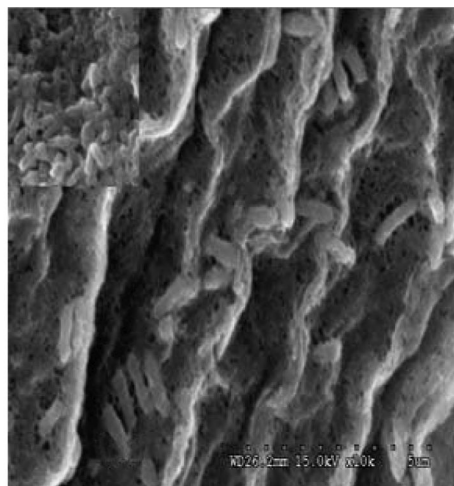


图 1 菌株 Y6 的扫描电镜照片

Fig. 1 Scan electron micrograph of strain Y6

Comamonas、*Alcaligenes*、*Acinetobacter*、*White rot fungi* 和 *Flavobacterium*^[16~18] 等菌株均具有降解硝基苯的能力. 拟香味菌可降解 3,4-二氯苯胺、乳化原油、胆汁酸等化合物^[14, 19, 20], 其对硝基苯降解的研究尚未见报道.

2.2 菌株 Y6 的降解特性研究

2.2.1 盐含量对硝基苯降解率的影响

不同盐含量对菌株 Y6 生长和硝基苯降解的影响如图 2 和图 3 所示. 从图 2 可知, NaCl 含量为 2% ~ 15% 时, 菌体减少的趋势相同, D_{600} 值分别为 0.009、0.021、0.031、0.017 和 0.015. 结果表明 Y6 在高盐条件下具有较强的降解硝基苯的能力, 但不能以硝基苯为单一碳源和氮源进行生长, 且随着时间的增加, 细菌的数量逐渐减少. 从图 3 可知, NaCl 含量为 2% 时, 菌体降解硝基苯效率分别为 40.5% (120 h) 和 46.5% (168 h). NaCl 含量为 2% ~ 7% 时, 随着盐含量的增加, 菌株 Y6 降解硝基苯效率逐渐增大. NaCl 含量为 7% 时, 硝基苯降解率达到 59.5% (120 h) 和 65.7% (168 h). 当 NaCl 含量 > 7% 时, 随着盐含量的增加, 菌株 Y6 降解硝基苯的效率逐渐降低. NaCl 含量为 10%, 硝基苯的降解率分别为 53% (120 h) 和 61.3% (168 h). NaCl 含量达到 15% 时, 降解率分别为 44% (120 h) 和 52% (168 h).

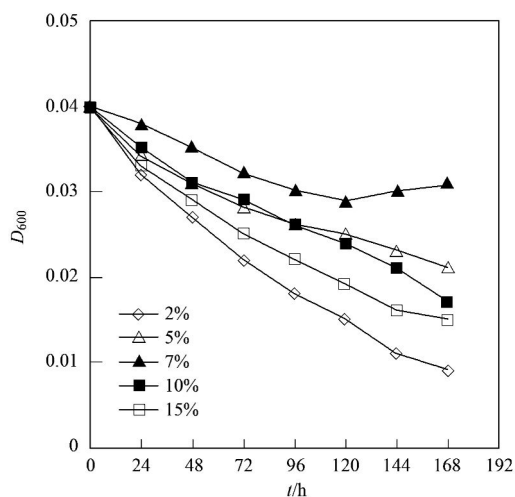


图 2 盐含量对菌株生长曲线的影响

Fig. 2 Effect of salinity on the cell growth of strain Y6

已报道的 4 株耐盐硝基苯降解菌 (*mucilaginosa* Z1、*Streptomyces* Z2、*M. luteus* Z3、*Klebsiella ornithinolytica* NB1)^[8~11] 在 NaCl 含量为 0% ~ 2% 时均可完全降解初始含量 $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硝基苯 (120 h). 随盐含量的升高, 降解效率逐渐下降. 在 NaCl

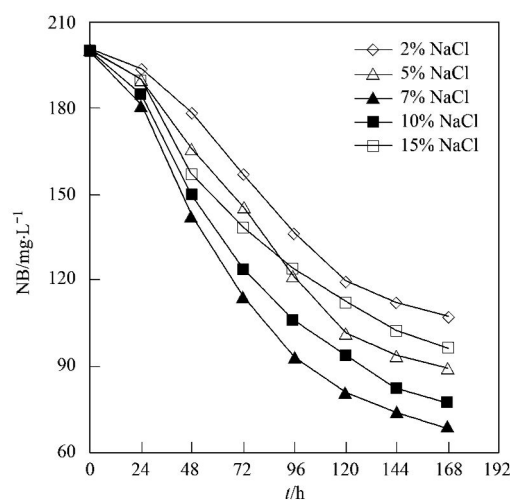


图 3 盐含量对菌株降解 NB 的影响

Fig. 3 Effect of salinity on NB degradation by strain Y6

含量为 7%, 降解初始含量为 $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 耐盐较强的 Z1、Z2、Z3 菌株的降解率分别小于 20%、30%、40% (120 h).

菌株 Y6 在 7% NaCl 条件下, 降解率达到 59.5% (120 h). 盐含量高达 10% 和 15% 时, 降解率分别为 53% 和 44% (120 h). 这表明该菌株具有更强的耐盐能力.

2.2.2 盐含量对硝基苯降解影响动力学模型

工业废水中不仅含有高盐, 而且盐含量常常产生波动. 目前未见有关于盐含量引起化合物降解的动力学研究.

关于盐含量引起菌株 Y6 降解率变化和动力学模拟方程如图 4 和表 1. 图 4 可见, 随盐含量变化 (2% ~ 7% NaCl), 降解率升高, 随着盐含量进一步的升高 (7% ~ 15% NaCl), 降解能力逐渐减弱, 降解

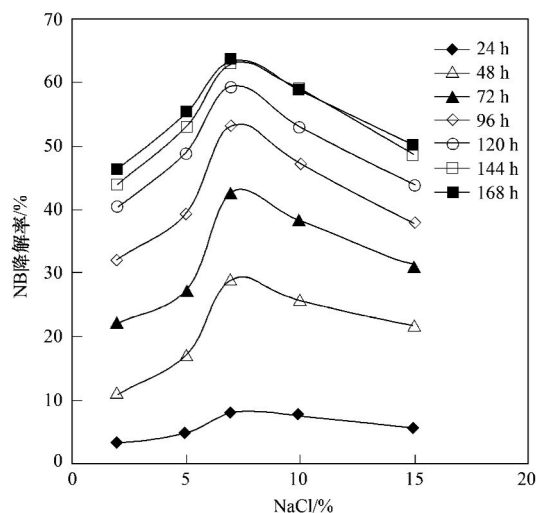


图 4 盐含量对 NB 降解率的影响

Fig. 4 Effect of salinity on the percentage of NB removal

率降低,同样规律出现菌株 Y6 降解 3,4-二氯苯胺的研究中^[14]. 针对此现象模拟动力学方程(表 1), R^2 判定系数表明,其动力学方程具有一定的研究意义,初步确立为:

$$Y = A_i X^2 + B_i X + C_i \quad (A_i \approx 0.3, B_i \approx 6)$$

式中, A_i 由菌株的种类和化合物确定, B_i 由菌株的种类和化合物确定, C_i 由菌株的种类、化合物和降解时间确定, Y 为菌株降解硝基苯的降解率, X 为降解时间.

表 1 盐含量对硝基苯降解影响动力学方程

时间/h	动力学模拟方程	R^2
24	$Y = -0.0791X^2 + 1.5421X + 0.108$	0.8505
48	$Y = -0.2517X^2 + 5.1418X + 1.005$	0.8378
72	$Y = -0.3176X^2 + 6.1973X + 9.438$	0.7831
96	$Y = -0.3549X^2 + 6.5246X + 19.671$	0.8164
120	$Y = -0.3389X^2 + 6.0072X + 29.617$	0.8564
144	$Y = -0.3524X^2 + 6.3681X + 32.190$	0.9163
168	$Y = -0.3156X^2 + 5.6054X + 36.372$	0.9053

关于盐含量对好氧降解化合物的影响研究中, 大多数结果表明随着盐含量的升高, 菌株降解能力降低. 只有少数的研究和本实验结果揭示的规律是一致的, 主要原因是外界环境压力如盐影响微生物自身的遗传调控, 从而影响微生物某些蛋白质的合成, 以适应外界环境^[21, 22].

因此, 可以通过此方程进一步完善, 揭示某些菌株因盐含量变化引起降解率变化的规律, 为高盐降解菌株应用的生物强化技术提供理论基础.

2.2.3 温度和 pH 对硝基苯降解率的影响

温度对硝基苯降解和菌株生长的影响如图 5. 从中可以看出在 15~38℃ 范围内(7% NaCl), 温度对降解率和菌株生长的影响规律类似. 在温度为 23~33℃ 时, 降解菌数减少较慢, Y6 对硝基苯的去除率均在 50% 以上. 在 28℃ 时菌对硝基苯的降解效率最高, 达到了 65.7%, 这说明该菌在 28℃ 时硝基苯降解效果最好.

pH 是影响微生物代谢的重要因子, 只有在适宜的 pH 范围内, 微生物的代谢才不被外界条件抑制, 污染物得到有效去除. pH 值为 5~9(7% NaCl) 时, 168 h 后硝基苯的降解率和 D 值结果如图 6. pH 在 5~9 范围内对菌株的生长和降解作用影响规律一致, 在 pH 为 5~7 时, 降解率均大于 55%, 细菌生长抑制相对较小. 最佳 pH 值为 6, 降解率高达 65.7%.

2.2.4 初始硝基苯含量对降解率的影响

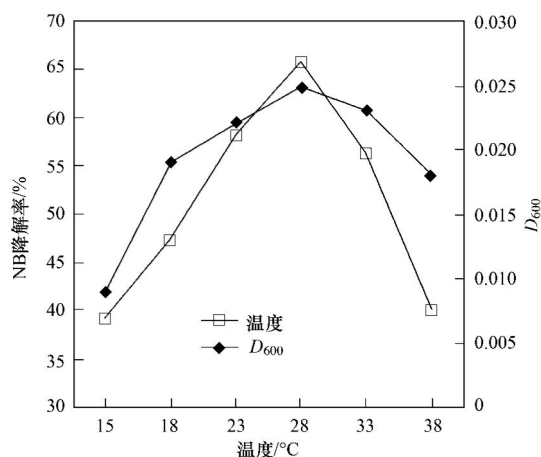


图 5 在 7% NaCl 条件下, 温度对 NB 降解和菌株生长的影响

Fig. 5 Effect of temperature on cell growth and NB degradation by strain Y6

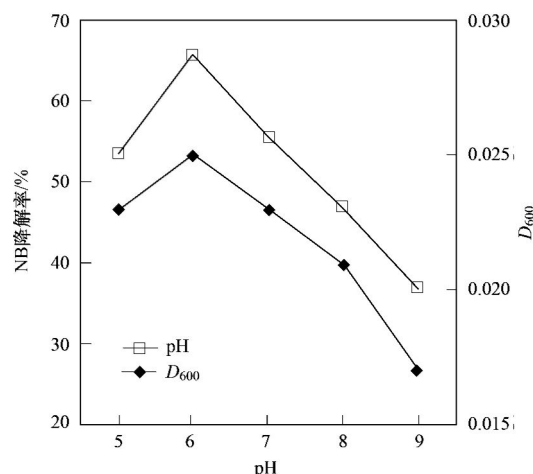


图 6 在 7% NaCl 条件下, pH 对 NB 降解和菌株生长的影响

Fig. 6 Effect of pH on cell growth and NB degradation by strain Y6

初始硝基苯含量对降解率的影响如图 7. 从中可知, 菌株 168 h 内对 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硝基苯降解率分别达到 97.5% 和 65.7%. 随着硝基苯初始含量的增加, 菌株 Y6 对硝基苯的降解能力逐渐降低. 硝基苯含量 $> 300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 硝基苯的降解率下降速度较快. 在硝基苯初始含量达到 $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 出现一定的停顿期, 菌株 8 d 仅仅降解 8% 的硝基苯. 硝基苯初始含量达到 $1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 降解完全被抑制(数据未显示). 结果表明, 随着硝基苯初始含量增加, 菌株 Y6 降解硝基苯的率逐渐减少, 硝基苯初始含量过高, 对菌株 Y6 降解硝基苯会产生抑制作用, 降解完全停止.

2.2.5 菌体含量(D_{600})对硝基苯降解率的影响

菌体初始含量对硝基苯降解的影响如图 8. 接种量与硝基苯的降解速率成正比, 但当接种量达到

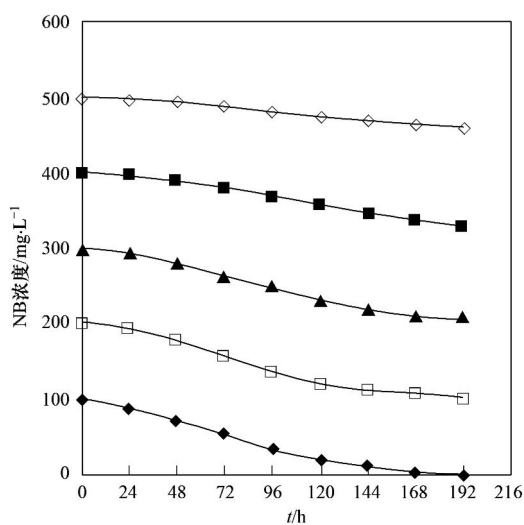


图7 NB 含量对菌株 Y6 降解 NB 的影响

Fig. 7 Effect of NB concentration on NB degradation by strain Y6

$D_{600} = 0.5$ 或以上时,降解速率差别不大. 因此,可通过适当加大菌株 Y6 的接种量提高硝基苯降解效率.

实验结果表明,菌株 Y6 能以硝基苯为单一碳源和氮源进行代谢,但硝基苯对菌株生长存在一定的抑制作用,因属于非菌株 Y6 生长必需的物质. 菌体消亡的速率越快,降解率越小.

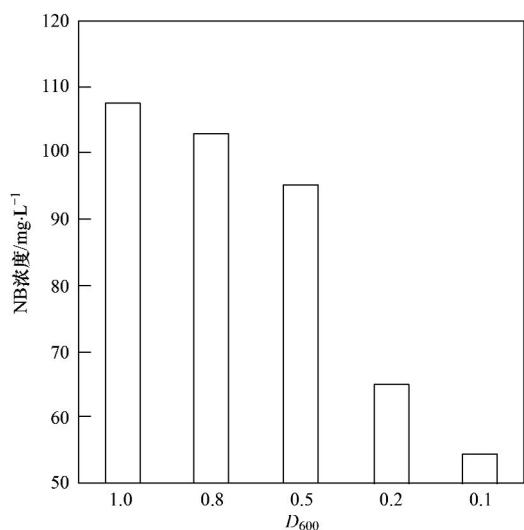
图8 菌悬液含量(D_{600})对菌株 Y6 降解 NB 的影响

Fig. 8 Effect of D_{600} on NB degradation by strain Y6

2.2.6 共代谢物质对硝基苯降解率的影响

由于硝基苯不能作为菌株 Y6 生长的唯一的碳源和氮源,因此分别添加葡萄糖,丙三醇和淀粉提供目标污染物降解过程所需因子,来帮助降解菌的生长,从而提高降解能力. 不同初始含量的共代谢物质分别对菌株 Y6 降解硝基苯的影响如图 9. 从中

可知,加入 $800 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖,其降解率达到 93.3% ($168 \text{ h}, 200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硝基苯). 由不同共代谢基质作用的结果可知,硝基苯降解率为:葡萄糖 > 淀粉 > 丙三醇 > 无共代谢基质对照. 关于葡萄糖作为共代谢物提高降解效果的规律已被报道^[11, 23, 24]. 随着葡萄糖含量的增加,微生物含量也在显著增加,硝基苯的降解率提高. 葡萄糖为主体代谢,硝基苯为次级代谢,但主体代谢产物含量过高时 ($> 800 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 产生竞争抑制,降低硝基苯的降解率. 因此,适当共代谢物含量有利于提高硝基苯降解率. 共代谢是当生长基质存在时,生长基质的代谢能够提供足够的碳源和能源供微生物生长,并诱导产生更多的降解酶来降解非生长基质. 有研究报道,共代谢过程要求共代谢基质和代谢底物的含量应保持一定比值,对于许多难降解底物,和共代谢基质之间的含量比值比降解底物的含量对其降解率的影响更大^[11, 25]. 因此共代谢基质的利用速度必须通过维持适当的初级基质含量来达到最优化,底物降解效率可以达到最佳.

通过批次试验研究降解菌 Y6 的降解特性,结果表明此菌株可以耐受较高的盐含量,并呈现较好的降解效果. 对间歇式反应器修复硝基苯污水的应用具有一定意义. 但菌株 Y6 在 MSM 系统中发现是呈游离菌的状态(数据未显示),在连续反应器中会因菌体流失影响处理的效果. 有研究表明^[26, 27],在连续反应器中加入载体(活性炭、大孔树脂等)吸附菌株,可以解决菌株流失难题,提高降解效率. 不同载体对菌体吸附和菌株在连续反应器的应用将在后续工作中加以研究.

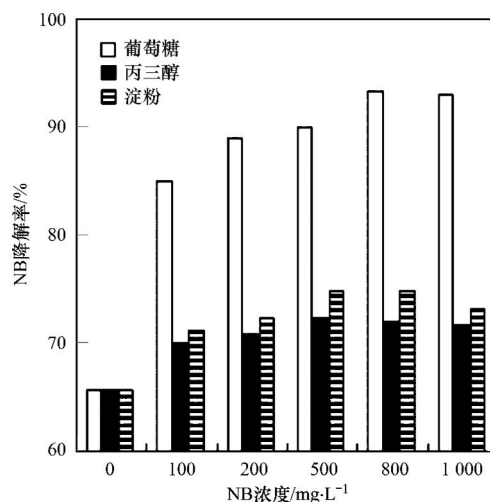


图9 共代谢基质对菌株 Y6 降解 NB 的影响

Fig. 9 Effect of different co-metabolism substrates on NB degradation by strain Y6

2.3 硝基苯的降解途径确定

微生物好氧降解硝基苯的途径为好氧化途径或者好氧部分还原途径. 其中微生物降解硝基苯中好氧部分还原途径占明显优势,这可能主要是因为硝基苯的吸电子效应造成苯环上电子云密度下降,其高度缺电子性阻碍了氧化酶的亲电进攻^[10]. 1995 年 Nishino 等^[16]分离纯化了 155 株硝基苯降解细菌,其中 154 株细菌通过好氧部分还原途径降解硝基苯. 菌株降解硝基苯好氧部分还原途径首先代谢为 2-氨基酚,最终脱除氨基,逐步被完全矿化;好氧化途径主要代谢物为儿茶酚和亚硝酸盐. 菌种 Y6 降解硝基苯过程中,检测到氨水,未检测到亚硝酸盐(图 10). 研究发现菌株 Y6 可以降解 2-氨基酚,不能降解儿茶酚(数据未显示),因此菌株 Y6 降解硝基苯途径为好氧部分还原途径.

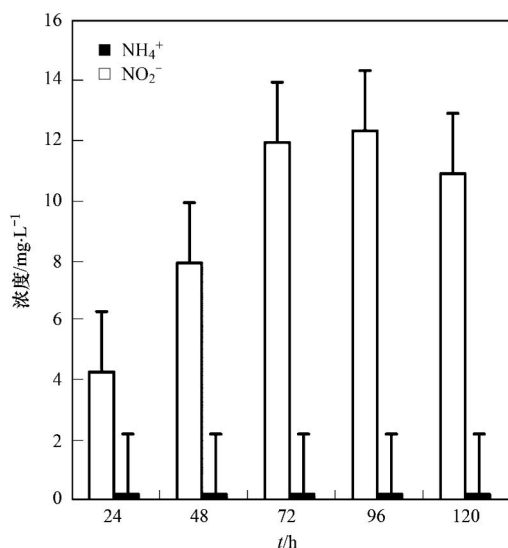


图 10 菌株 Y6 降解 NB 产生氨

Fig. 10 Release of ammonia accompanied by the disappearance of nitrobenzene

3 结论

(1) 菌株 Y6 (*Myroides odoratimimus* strain) 首次报道为硝基苯降解菌. 菌株能以硝基苯为单一碳源和氮源进行代谢,但硝基苯对菌株生长还存在一定的抑制作用.

(2) 菌株 Y6 为耐盐硝基苯降解菌. 在硝基苯初始含量 $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 NaCl 含量 7% 的条件下,最佳降解温度 28°C , pH 值 6.0, $D_{600} = 1$,硝基苯降解率达到 65.7% (168 h).

(3) 盐含量变化影响菌株 Y6 降解硝基苯,其降解规律符合二元方程. 其降解动力学方程为 $Y = A_i X_2 + B_i X + C_i$ ($A_i \approx 0.3$ $B_i \approx 6$).

(4) 不同共代谢物质对菌株 Y6 降解硝基苯的影响表明,硝基苯降解率为:葡萄糖 > 淀粉 > 丙三醇 > 无共代谢基质对照.

(5) 菌株 Y6 降解硝基苯途径为好氧部分还原途径.

参考文献:

- [1] Majumder P S, Gupta S K. Hybrid reactor for priority pollutant nitrobenzene removal [J]. Water Research, 2003, **37** (18): 4331-4336.
- [2] Li Z L, Yang M, Li D, et al. Nitrobenzene biodegradation ability of microbial communities in water and sediments along the Songhua River after a nitrobenzene pollution event [J]. Journal of Environmental Sciences, 2008, **20** (7): 778-786.
- [3] Contreras S, Piatkowska J, Rodríguez M, et al. Biodegradability improvement of aqueous 2, 4-dichlorophenol and nitrobenzene solutions by means of single ozonation [J]. Ozone: Science and Engineering, 2005, **27** (5): 381-387.
- [4] Priya M H, Madras G. Photocatalytic degradation of nitrobenzenes with combustion synthesized nano-TiO₂ [J]. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 2006, **178** (1): 1-7.
- [5] Hu X W, Li A M, Fan J, et al. Biotreatment of *p*-nitrophenol and nitrobenzene in mixed wastewater through selective bioaugmentation [J]. Bioresource Technology, 2008, **99** (10): 4529-4533.
- [6] Sun H W, Xu X Y, Gao G D, et al. A novel integrated active capping technique for the remediation of nitrobenzene-contaminated sediment [J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, **182** (1-3): 184-190.
- [7] Manu B, Chaudhari S. Decolorization of indigo and azo dyes in semicontinuous reactors with long hydraulic retention time [J]. Process Biochemistry, 2003, **38** (8): 1213-1221.
- [8] Zheng C L, Zhou J T, Zhao L H, et al. Isolation and characterization of a nitrobenzene degrading *Streptomyces* strain from activated sludge [J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2007, **78** (2): 163-167.
- [9] Zheng C L, Zhou J T, Wang J, et al. Isolation and characterization of a nitrobenzene degrading yeast strain from activated sludge [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, **160** (1): 194-199.
- [10] Zheng C L, Qu B C, Wang J, et al. Isolation and characterization of a novel nitrobenzene-degrading bacterium with high salinity tolerance: *Micrococcus luteus* [J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, **165** (1-3): 1152-1158.
- [11] Wang D Z, Zheng G Y, Zhou L X. Isolation and characterization of a nitrobenzene-degrading bacterium *Klebsiella ornithinolytica* NB1 from aerobic granular sludge [J]. Bioresource Technology, 2012, **110**: 91-96.
- [12] Afzal M, Iqbal S, Rauf S, et al. Characteristics of phenol biodegradation in saline solutions by monocultures of *Pseudomonas aeruginosa* and *Pseudomonas pseudomallei* [J].

- Journal of Hazardous Materials, 2007, **149**(1): 60-66.
- [13] Mishra A, Jha B. Isolation and characterization of extracellular polymeric substances from micro-algae *Dunaliella salina* under salt stress[J]. Bioresource Technology, 2009, **100**(13): 3382-3386.
- [14] Li T, Deng X P, Wang J J, *et al.* Biodegradation of 3, 4-Dichloroaniline by a novel *Myroides odoratimimus* strain LWD09 with moderate salinity tolerance [J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2012, **223**(3): 1-9.
- [15] 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. 271-281.
- [16] Nishino S F, Spain J C. Oxidative Pathway for the Biodegradation of nitrobenzene by *Comamonas* sp. Strain JS765 [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1995, **61**(6): 2308-2313.
- [17] Davis E M, Murray H E, Liehr J G, *et al.* Basic microbial degradation rates and chemical byproducts of selected organic compounds[J]. Water Research, 1981, **15**(9): 1125-1127.
- [18] Levin V, Viale A, Forchiassin A. Degradation of organic pollutants by the white rot basidiomycete *Trametes trogii* [J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2003, **52**(1): 1-5.
- [19] Maneerat S, Bamba T, Harada K, *et al.* A novel crude oil emulsifier excreted in the culture supernatant of a marine bacterium, *Myroides* sp. strain SM1 [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2006, **70**(2): 254-259.
- [20] Maneerat S, Dikit P. Characterization of cell-associated bioemulsifier from *Myroides* sp. SM1, a marine bacterium [J]. Songklanakarin Journal of Science and Technology, 2007, **29**(3): 769-779.
- [21] Mojica F J, Cisneros E, Ferrer C, *et al.* Osmotically induced response in representatives of halophilic prokaryotes: the bacterium *Halomonas elongata* and the archaeon *Haloferax volcanii* [J]. Journal of Bacteriology, 1997, **179**(17): 5471-5481.
- [22] Duché O, Trémoulet F, Glaser P, *et al.* Salt stress proteins induced in *Listeria monocytogenes* [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2002, **68**(4): 1491-1498.
- [23] Brandt B W, van Leeuwen I M M, Kooijman S A L M. A general model for multiple substrate biodegradation. Application to co-metabolism of structurally non-analogous compounds [J]. Water Research, 2003, **37**(20): 4843-4854.
- [24] Liu Y, Yu P, Song X, *et al.* Hydrogen production from cellulose by co-culture of *Clostridium thermocellum* JN4 and *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* GD17 [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2008, **33**(12): 2927-2933.
- [25] 唐顺, 杨琦, 尚海涛, 等. 苯为好氧共代谢基质的 1, 1-二氯乙烯的生物降解研究 [J]. 环境科学学报, 2011, **31**(10): 2146-2153.
- [26] Leglize P, Alain S, Jacques B, *et al.* Adsorption of phenanthrene on activated carbon increases mineralization rate by specific bacteria [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, **151**(2-3): 339-347.
- [27] Li L H, Zhou J T, Wang J, *et al.* Anaerobic biotransformation of azo dye using polypyrrole/anthraquinonedisulphonate modified active carbon felt as a novel immobilized redox mediator [J]. Separation and Purification Technology, 2009, **66**(2): 375-382.

CONTENTS

Characterization of Chemical Compositions in PM _{2.5} and Its Impact on Hazy Weather During 16 th Asian Games in Guangzhou	TAO Jun, CHAI Fa-he, GAO Jian, <i>et al.</i> (409)
PM _{2.5} Pollution and Aerosol Optical Properties in Fog and Haze Days During Autumn and Winter in Beijing Area	ZHAO Xiu-juan, PU Wei-wei, MENG Wei, <i>et al.</i> (416)
Forming Potential of Secondary Organic Aerosols and Sources Apportionment of VOCs in Autumn of Shanghai, China	WANG Qian, CHEN Chang-hong, WANG Hong-li, <i>et al.</i> (424)
Study on Number Concentration Distribution of Atmospheric Ultrafine Particles in Hangzhou	XIE Xiao-fang, SUN Zai, FU Zhi-min, <i>et al.</i> (434)
Pollution Characteristics and Source Identification of Atmospheric Particulate Matters <i>n</i> -Alkanes in Baoding City	LI Xing-ru, DU Xi-qiang, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (441)
Study on Pollution Characteristics of Carbonaceous Aerosols in Xi'an City During the Spring Festival	ZHOU Bian-hong, ZHANG Cheng-zhong, WANG Ge-hui (448)
Characteristics of PM ₁₀ and PM _{2.5} Concentrations in Mountain Background Region of East China	SU Bin-bin, LIU Xin-dong, TAO Jun (455)
Assessment of TVOC and Odor in the Remediation Site of Contaminated Soil and Groundwater Using Electronic Nose	TIAN Xiu-ying, CAI Qiang, LIU Rui, <i>et al.</i> (462)
Characteristics of Mercury Exchange Flux Between Soil and Atmosphere Under the Snow Retention and Snow Melting Control	ZHANG Gang, WANG Ning, AI Jian-chao, <i>et al.</i> (468)
Study on Heavy Metal Contaminations and the Sources of Pb Pollution in Jinghai Bay Using the Stable Isotope Technique	XU Lin-bo, GAO Qin-feng, DONG Shuang-lin, <i>et al.</i> (476)
Eco-environmental Evolution Inferred from <i>n</i> -Alkanes and $\delta^{13}\text{C}$ Records in the Sediments of Shijiu Lake	OU Jie, WANG Yan-hua, YANG Hao, <i>et al.</i> (484)
Distribution of PGEs Contents and Its Factors in Snowfall and Snow Cover over the Arid Region in Changji City	LIU Yu-yan, LIU Hao-feng, ZHANG Lan (494)
Effect of Dust Deposition Collection Methods on Collection Efficiency	ZHANG Zheng-cai, DONG Zhi-bao (499)
Regionalization of the Freshwater Eco-regions in the Haihe River Basin of China	SUN Ran-hao, JI Yu-he, SHANG Lin-yuan, <i>et al.</i> (509)
Characteristics of Diffuse Attenuation Coefficient of Underwater Irradiance in the Lakes in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	SHI Zhi-qiang, ZHANG Yun-lin, WANG Ming-zhu, <i>et al.</i> (517)
Study on Influencing Factors and Universality of Chlorophyll- <i>a</i> Retrieval Model in Inland Water Body	HUANG Chang-chun, LI Yun-mei, XU Liang-jing, <i>et al.</i> (525)
Effect of Dissolved Oxygen on Diversity of Ammonia-Oxidizing Microorganisms in Enrichment Culture from Estuarine Wetland Surface Sediments and Ammonia-oxidizing Rate	QIU Zhao-zheng, LUO Zhuan-xi, ZHAO Yan-ling, <i>et al.</i> (532)
Spatial Variation of Soil Moisture/Salinity and the Relationship with Vegetation Under Natural Conditions in Yancheng Coastal Wetland	ZHANG Hua-bing, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i> (540)
Spatial Heterogeneity and Classified Control of Agricultural Non-Point Source Pollution in Huaihe River Basin	ZHOU Liang, XU Jian-gang, SUN Dong-qi, <i>et al.</i> (547)
Phosphorus Output Characteristics Under Different Rainfall-Runoffs in Gaolan River	CUI Yu-jie, LIU De-fu, SONG Lin-xu, <i>et al.</i> (555)
Monitoring and Analysis on Evolution Process of Rainfall Runoff Water Quality in Urban Area	DONG Wen, LI Huai-en, LI Jia-ke (561)
Characteristics and Contribution of the Strengthening Units of Composite Constructed Wetland for Treating Urban Sewage	REN Feng, LU Yi-xia, LIU Qin, <i>et al.</i> (570)
Inactivation of <i>Mycobacteria mucogenicum</i> in Drinking Water: Chlorine Resistance and Mechanism Analysis	ZHENG Qi, CHEN Chao, ZHANG Xiao-jian, <i>et al.</i> (576)
Partial Biological Characteristics and Algicidal Activity of an Algicidal Bacterium	LI San-hua, ZHANG Qi-ya (583)
Effects of Macrophytes Pyrolysis Bio-oil on <i>Skeletonema costatum</i> Antioxidant Enzyme Activities	YAO Yuan, LI Feng-min, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (589)
Mechanism and Kinetics of Phenol Degradation by TiO ₂ Photocatalytic Combined Technologies	ZHANG Yi, HUANG Ruo-nan, WANG Xiao-min, <i>et al.</i> (596)
Biodegradation Characteristics of Organic Pollutants Contained in Tannery Wastewater	WANG Yong, LI Wei-guang, YANG Li, <i>et al.</i> (604)
Microbial Degradation Mechanism of Disperse Azo Dye Red 30 by <i>Streptomyces</i> sp. FX645	XIE Lian-wu, FANG Ji-qian, GUO Ya-ping (611)
Study on Preparation and Performance of a Biological Carrier with Tourmaline	YANG Ji-xian, ZENG Hong-yun, ZHOU Yi, <i>et al.</i> (616)
Study on the <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Cultivation Technology Based on the Excess Sludge Utilization	JI Wen-wen, XIA Hui-long, FANG Zhi-guo, <i>et al.</i> (622)
Effects of Mild Thermal Pretreatment on Anaerobic Digestibility of Sludge with Low Organic Content	CHEN Han-long, YAN Yuan-yuan, HE Qun-biao, <i>et al.</i> (629)
Effect of Natural and Hydrothermal Synthetic Goethite on the Release of Methane in the Anaerobic Decomposition Process of Organic Matter	YAO Dun-fan, CHEN Tian-hu, WANG Jin, <i>et al.</i> (635)
Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Spent Etching Solution and Its Copper Salt Recycling Products	QING Xian, HAN Jing-lei, WEN Yan-shen (642)
Case Study on Health Risk Assessment Based on Site-Specific Conceptual Model	ZHONG Mao-sheng, JIANG Lin, YAO Jue-jun, <i>et al.</i> (647)
Study on the Risk Assessment Method of Regional Groundwater Pollution	YANG Yan, YU Yun-jiang, WANG Zong-qing, <i>et al.</i> (653)
Groundwater Organic Pollution Source Identification Technology System Research and Application	WANG Xiao-hong, WEI Jia-hua, CHENG Zhi-neng, <i>et al.</i> (662)
Study on Soil Organic Carbon Pools and Turnover Characteristics Along an Elevation Gradient in Qilian Mountain	ZHU Ling-yu, PAN Jian-jun, ZHANG Wei (668)
Response of Black Soil Organic Carbon, Nitrogen and Its Availability to Long-term Fertilization	LUO Kun, HU Rong-gui, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> (676)
Phytoavailability and Chemical Speciation of Cadmium in Different Cd-Contaminated Soils with Crop Root Return	ZHANG Jing, YU Ling-ling, XIN Shu-zhen, <i>et al.</i> (685)
Study on Mechanism of SOM Stabilization of Paddy Soils Under Long-term Fertilizations	LUO Lu, ZHOU Ping, TONG Cheng-li, <i>et al.</i> (692)
Aging Process of Cr(III) in 22 Typical Soils of China and Influence Factors Analysis	ZHENG Shun-an, ZHENG Xiang-qun, LI Xiao-zheng, <i>et al.</i> (698)
Residual Characteristics of HCHs in Soils of a Former Lindane Production Enterprise	PAN Feng, WANG Li-li, ZHAO Hao, <i>et al.</i> (705)
Evaluation and Source Analysis of the Mercury Pollution in Soils and Vegetables Around a Large-scale Zinc Smelting Plant	LIU Fang, WANG Shu-xiao, WU Qing-ru, <i>et al.</i> (712)
Residue of Organic Fluorine Pollutants in Hair and Nails Collected from Tianjin	YAO Dan, ZHANG Hong, CHAI Zhi-fang, <i>et al.</i> (718)
Analysis of Estrogens, Nonylphenol, 4-tert-Octylphenol and Bisphenol A in the Sediments	WU Wei, SHI Jiang-hong, CHEN Qing-cai, <i>et al.</i> (724)
Investigation of As, Cu and Zn Species and Concentrations in Animal Feeds	YAO Li-xian, HUANG Lian-xi, JIANG Zong-yong, <i>et al.</i> (732)
Residue Dynamics of Flubendiamide in Paddy Field	WANG Dian-dian, SONG Ning-hui, WU Wen-zhu, <i>et al.</i> (740)
Isolation of Two Endophytic Phenanthrene-Degrading Strains and Their Degradation Capacity	NI Xue, LIU Juan, GAO Yan-zheng, <i>et al.</i> (746)
Biodegradation of Nitrobenzene by a Halophilic <i>Myroides odoratimimus</i> Strain Y6	LI Tian, QIAN Kun, XIAO Wei, <i>et al.</i> (753)
Effect of Immobilization on Biosensor for Benzene Derivates Detection	TANG Kuo, MA An-zhou, YU Qing, <i>et al.</i> (760)
Investigation of Bacterial Diversity in the Biological Desulfurization Reactor for Treating High Salinity Wastewater by the 16S rDNA Cloning Method	LIU Wei-guo, LIANG Cun-zhen, YANG Jin-sheng, <i>et al.</i> (767)
Assessment of the Effect of Influent NH ₄ ⁺ -N Concentration on the Abundance and Community Structure of Functional Bacteria in CANON Process	LIU Tao, LI Dong, ZENG Hui-ping, <i>et al.</i> (773)
Biodegradation of Lignocellulose by <i>Penicillium simplicissimum</i> and Characters of Lignocellulolytic Enzymes	SHEN Ying, HU Tian-jue, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> (781)
Microbial Community Structure and Distribution Characteristics in Oil Contaminated Soil	YANG Meng-qing, LI Li-ming, LI Chuan, <i>et al.</i> (789)
Degradation of Oxytetracycline in Chicken Feces Aerobic-Composting and Its Effects on Their Related Parameters	WANG Gui-zhen, LI Zhao-jun, ZHANG Shu-qing, <i>et al.</i> (795)
Research of Moisture Content Variation in MSW Landfill	LI Rui, LIU Jian-guo, XUE Yu-wei, <i>et al.</i> (804)
Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Biomass with Animal Digestion Mechanisms	WU Hao, ZHANG Pan-yue, GUO Jian-ben, <i>et al.</i> (810)

《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2月15日 34卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 2 Feb. 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