

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第2期

Vol.33 No.2

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

基于人体健康风险的水污染事件污染物安全阈值研究 郑丙辉, 罗锦洪, 付青, 秦延文, 胡林林 (337)

基于人体健康风险的水污染事件遗传性致癌物安全浓度研究 罗锦洪, 郑丙辉, 付青, 黄民生 (342)

湿地水环境健康评价方法及案例分析 李玉凤, 刘红玉, 郝敬锋, 郑因, 曹晓 (346)

北运河下游典型河网区水体中氮磷分布与富营养化评价 单保庆, 菅宇翔, 唐文忠, 张洪 (352)

漳卫南运河流域水质时空变化特征及其污染源识别 徐华山, 徐宗学, 唐芳芳, 于伟东, 程燕平 (359)

黄河三角洲浅层地下水化学特征及形成作用 安乐生, 赵全升, 叶思源, 刘贯群, 丁喜桂 (370)

沉积物扰动持续时间对悬浮物中磷形态数量分布的影响 李大鹏, 黄勇, 李勇, 潘杨 (379)

沉水植物生长期对沉积物和上覆水之间磷迁移的影响 王立志, 王国祥, 俞振飞, 周贝贝, 陈秋敏, 李振国 (385)

长寿湖表层沉积物氮磷和有机质污染特征及评价 卢少勇, 许梦爽, 金相灿, 黄国忠, 胡文 (393)

洪泽湖沉积物中营养盐和重金属的垂向分布特征研究 张文斌, 余辉 (399)

降雨对农家堆肥氮磷流失的影响及其面源污染风险分析 彭莉, 王莉玮, 杨志敏, 陈玉成, 乔俊婧, 赵中金 (407)

浅水湖泊水动力过程对藻型湖区水体生物光学特性的影响 刘笑菡, 冯龙庆, 张运林, 赵林林, 朱梦圆, 时志强, 殷燕, 丁艳青 (412)

基于半分析模型的太湖春季水体漫衰减系数 K_d (490) 估算及其遥感反演 刘忠华, 李云梅, 李瑞云, 吕恒, 檀静, 郭宇龙 (421)

基于 QAA 算法的巢湖悬浮物浓度反演研究 张红, 黄家柱, 李云梅, 徐伟凡, 刘忠华, 徐昕 (429)

好氧/厌氧潜流湿地结构工艺优化 李锋民, 单时, 李媛媛, 李扬, 王震宇 (436)

邻苯二甲酸二丁酯对短裸甲藻活性氧自由基的影响 别聪聪, 李锋民, 李媛媛, 王震宇 (442)

Rac-及 S-异丙甲草胺对 2 种微藻毒性特征影响研究 蔡卫丹, 刘惠君, 方治国 (448)

羟基自由基致死船舶压载水海洋有害生物研究 白敏冬, 张拿慧, 张芝涛, 陈操, 孟祥盈 (454)

天然菱铁矿改性及强化除砷研究 赵凯, 郭华明, 李媛, 任燕 (459)

零价铁降解 4-氯硝基苯动力学研究 廖娣劫, 杨琦, 李俊琦 (469)

水体中氧氟沙星的光化学降解研究 邵萌, 杨桂朋, 张洪海 (476)

阿替洛尔在硝酸根溶液中的光降解研究 季跃飞, 曾超, 孟翠, 杨曦, 高士祥 (481)

吡啶在紫外光辐射下的生物降解 方苗苗, 阎宁, 张永明 (488)

蜜环菌漆酶对蒽醌类染料的脱色条件优化 朱显峰, 秦仁炳, 余晨晨, 范书军 (495)

ϵ -聚赖氨酸生产废菌体对六价铬吸附影响的研究 曹玉娟, 张杨, 夏军, 徐虹, 冯小海 (499)

丝状菌污泥致密过程的强化条件研究 李志华, 孙玮, 姬晓琴, 王晓昌 (505)

亚硝化颗粒污泥对温度变化的响应特性研究 罗远玲, 杨朝晖, 徐峥勇, 周玲君, 黄毓, 肖勇, 曾光明, 汪理科 (511)

我国典型工程机械燃油消耗量及排放清单研究 李东玲, 吴焯, 周昱, 杜让, 傅立新 (518)

北京市 PM_{10} 自动监测网络优化研究 齐玲, 赵越, 谢绍东 (525)

道路绿化带对街道峡谷内污染物扩散的影响研究 徐伟嘉, 幸鸿, 余志 (532)

Fe^{II} (EDTA) 络合协同 RDB 去除 NO 废气效能及过程分析 陈浚, 杨宣, 於建明, 蒋轶锋, 陈建孟 (539)

UV-B 辐射对亚热带森林凋落叶氮、磷元素释放的影响 宋新章, 张慧玲, 江洪, 余树全 (545)

干热河谷林地燥红土固碳特征及“新固定”碳表观稳定性 唐国勇, 李昆, 孙永玉, 张春华 (551)

九龙江河口表层水体及沉积物中甲烷的分布和环境控制因素研究 郭莹莹, 陈坚, 尹希杰, 孙治雷, 邵长伟 (558)

秋季黄河口滨岸潮滩湿地系统 CH_4 通量特征及影响因素研究 姜欢欢, 孙志高, 王玲玲, 牟晓杰, 孙万龙, 宋红丽, 孙文广 (565)

我国典型非木浆造纸二噁英排放研究 王志芳, 丁琼, 王开祥, 吴昌敏, 曲云欢, 赵晓冬 (574)

典型电器工业区河涌沉积物中的多溴联苯醚空间和垂直分布 邱孟德, 邓代永, 余乐洹, 孙国萍, 麦碧娴, 许玫英 (580)

电子废物拆解区农业土壤中多氯联苯的污染特征 王学彤, 李元成, 张媛, 缪绎, 孙阳昭, 吴明红, 盛国英, 傅家谟 (587)

北京科教园区绿地土壤中多环芳烃的残留特征与潜在风险 彭驰, 王美娥, 欧阳志云, 焦文涛, 陈卫平 (592)

上海城市样带土壤重金属空间变异特征及污染评价 柳云龙, 章立佳, 韩晓非, 庄腾飞, 施振香, 卢小遮 (599)

海河流域北部地区河流沉积物重金属的生态风险评价 尚林源, 孙然好, 王赵明, 汲玉河, 陈利顶 (606)

三峡库区消落带不同水位高程土壤重金属含量及污染评价 王业春, 雷波, 杨三明, 张晟 (612)

超声波促进好氧/缺氧污泥消化过程中细菌群落结构分析 叶运弟, 孙水裕, 郑莉, 刘宝健, 蔡明山, 许燕滨, 占星星 (618)

大庆聚驱后油藏内源微生物群落结构解析与分布特征研究 赵玲侠, 高配科, 曹美娜, 高梦黎, 李国强, 朱旭东, 马挺 (625)

不同碳源刺激对老化污染土壤中 PAHs 降解研究 尹春芹, 蒋新, 王芳, 王聪颖 (633)

应用电致化学发光分子探针技术对微小原甲藻的检测 朱霞, 甄毓, 米铁柱, 于志刚, 池振明, 路兴岚 (640)

软骨藻酸直接竞争 ELISA 方法的建立及优化 王茜, 程金平, 高利利, 董宇, 席磊 (647)

固相萃取-高效液相色谱法同时测定水体中的 10 种磺胺类抗生素 洪蕾洁, 石璐, 张亚雷, 周雪飞, 朱洪光, 林双双 (652)

五氟酚对 HeLa 细胞毒性及 DNA 损伤的研究 金帮明, 王辅明, 熊力, 张晓峰, 刘堰 (658)

建筑陶瓷碳计量与优化模型研究 彭军霞, 赵宇波, 焦丽华, 曾路, 郑为民 (665)

《环境科学》征订启事 (447) 《环境科学》征稿简则 (475) 信息 (524, 586, 605, 624)

蜜环菌漆酶对蒽醌类染料的脱色条件优化

朱显峰, 秦仁炳, 余晨晨, 范书军

(河南大学生命科学学院生物工程研究所, 开封 475004)

摘要: 利用蜜环菌发酵所得的漆酶, 直接对印染工业中常见的两种蒽醌类染料活性艳蓝 KN-R 和活性艳蓝 X-BR 进行催化脱色实验, 得出了最佳脱色条件. 结果表明, 活性艳蓝 KN-R 最适脱色温度为 30℃, 最适染料浓度为 80 mg·L⁻¹, 最适酶量为 0.25 U·mL⁻¹, 最适 pH 值为 5, 在最优条件下活性艳蓝 KN-R 最高脱色率达 90% 以上. 活性艳蓝 X-BR 的最适脱色温度为 30℃, 最适染料浓度为 50 mg·L⁻¹, 最适酶量为 0.5 U·mL⁻¹, 最适 pH 值为 4, 在最优条件下活性艳蓝 X-BR 最高脱色率达 70% 以上. 本研究利用蜜环菌粗漆酶液直接对印染工业中常见蒽醌类染料进行脱色, 结果表明蜜环菌粗漆酶液具有良好的脱色效果, 蜜环菌漆酶在印染工业染料废水脱色方面具有潜在的应用价值.

关键词: 蒽醌类染料; 脱色; 漆酶; 蜜环菌; 优化

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)02-0495-04

Optimization on Decoloration Conditions of Anthraquinone Dyes by Laccase from *Amillariella mellea*

ZHU Xian-feng, QIN Ren-bing, YU Chen-chen, FAN Shu-jun

(Institute of Bioengineering, College of Life Science, Henan University, Kaifeng 475004, China)

Abstract: Laccase extracted from the *Amillariella mellea* fermentation catalytic decolorated on two common anthraquinone dyes: Reactive Brilliant Blue KN-R and Reactive Brilliant Blue X-BR which is broadly used in the printing and dyeing industry and obtained the optimal catalytic decolorizing conditions. The results showed that optimum temperature of Reactive Brilliant Blue KN-R decolorization was 30℃, the optimum dye concentrations was 80 mg·L⁻¹, the optimum enzyme dosage was 0.25 U·mL⁻¹, and the optimum pH was 5. Under this optimal conditions, the maximum decolorization rate of Reactive Brilliant Blue KN-R was over 90%. The optimum temperature Reactive Brilliant Blue X-BR decolorization was 30℃, the optimum dye concentrations was 50 mg·L⁻¹, the optimum enzyme dosage was 0.5 U·mL⁻¹, and the optimum was pH 4. Under the optimal conditions, the maximum decolorization rate of Reactive Brilliant Blue X-BR was over 70%. The decolorization on the two common industrial dyes by crude enzyme from *Amillariella mellea* fermentation obtained a good results. The results indicated that the decoloration on anthraquinone dyes by laccase from *Amillariella mellea* has a potential value in the printing and dyeing industry.

Key words: anthraquinone dyes; decoloration; laccase; *Amillariella mellea*; optimization

目前全世界每年约产染料 70 万 t, 我国年产量已达 15 万 t, 这其中约有 10% ~ 15% 排放到环境中^[1]. 且有些染料残留可能致畸变或癌变, 严重威胁人类生存环境^[2]. 染料废水通常通过物理或化学方法处理, 包括吸附、光催化、膜过滤等, 物理化学处理法虽然对废水色度去除率较高, 但 COD 去除率较低, 且存在处理费用高、可能引起二次污染等问题^[3-4]. 因此寻找清洁环保的染料降解脱色技术是目前一项迫切的任务.

漆酶(Laccase, EC1. 10. 3. 2) 是一类可降解木质素的含铜多酚氧化酶, 漆酶能促进木质素及其前体物质分子或前体物质分子类似物等环境污染物的降解, 在纸浆生物漂白、染料的脱色及其废水净化、污染物脱毒与降解等方面有着巨大的应用潜力^[5]. 采用漆酶直接对染料进行脱色降解, 以及利用漆酶介体系统, 漆酶染料中间体和固定化漆酶对染料降

解的研究已引起了国内外的广泛关注并取得了较好的脱色降解效果^[6-11]. 蜜环菌是一种重要的药用真菌, 也是一种木腐菌, 有较强的木质素分解能力, 蜜环菌的木质素分解能力与其代谢过程中合成的木质素相关分解酶有关, 对蜜环菌的前期发酵研究表明, 蜜环菌在次级生长代谢阶段能合成一定量的胞外漆酶, 蜜环菌漆酶具有较好的热稳定性, 使该酶在多酚类化合物脱毒转化和印染废水脱色降解等环境保护中具有潜在应用价值^[12]. 目前对蜜环菌漆酶及其应用方面的研究较少, 本研究从蜜环菌漆酶的应用入手, 主要分析了蜜环菌粗漆酶液对印染工业中的 2 种常见蒽醌类染料: 活性艳蓝 KN-R 和活性艳蓝 X-

收稿日期: 2011-03-31; 修订日期: 2011-05-12

基金项目: 河南省科技攻关计划项目(102102310016); 河南省高校青年骨干教师资助计划项目(2010)

作者简介: 朱显峰(1972~), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为资源与环境微生物, E-mail: zhuxf73@163.com

BR 进行脱色研究,优化其脱色降解条件,以期为蜜环菌漆酶在印染废水脱色净化方面的应用奠定基础.

1 材料与方 法

1.1 菌株与试剂

蜜环菌 (*Amillariella mellea*) 购自中国科学院微生物研究所,活性艳蓝 KN-R 和活性艳蓝 X-BR 购自浙江闰土股份有限公司,其它试剂均为国产分析纯.

1.2 培养基

固体种子培养基:综合马铃薯培养基 (CPDA) ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$):葡萄糖 20 g,新鲜土豆 200 g (煮沸 30 min 取滤液), KH_2PO_4 3 g, $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1.5 g, V_{BI} 10 mg,水 1 000 mL,pH 自然.

基础产酶培养基^[13] (质量分数,有小部分调整):葡萄糖 2%,蛋白胨 0.2%, $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.15%, KH_2PO_4 0.3%, CaCl_2 0.001%, V_{BI} 0.001%,微量元素 80 mL.

微量元素混合液组成^[14]:氨基乙酸 7.8×10^{-3} mol, $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1.2×10^{-2} mol, $\text{MnSO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$ 2.9×10^{-3} mol, NaCl 1.7×10^{-2} mol, $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 3.59×10^{-4} mol, CoCl_2 7.75×10^{-4} mol, $\text{CaCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 9.0×10^{-4} mol, $\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 3.48×10^{-4} mol, $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 4×10^{-5} mol, $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 2.1×10^{-5} mol, HBO_3 1.6×10^{-4} mol, NaMnO_4 4.1×10^{-5} mol.

1.3 粗酶液的的制备

取产酶高峰期的发酵液,于 $4\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 常温离心 15 min,上清液即为漆酶粗提液.

1.4 漆酶酶活的测定^[15]

以愈创木酚为底物,4 mL $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (含 $1\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 愈创木酚)琥珀酸钠缓冲液 (pH 4.5),加入 1 mL 酶样液,混合均匀后置于 30°C 水浴保温反应 30 min,于 465 nm 处测光吸收值.定义每 min 氧化 $1\ \mu\text{mol}$ 愈创木酚的酶量为一个酶活力单位.

1.5 活性艳蓝 KN-R 和活性艳蓝 X-BR 吸收光谱的测定

用蒸馏水把活性艳蓝 KN-R 和活性艳蓝 X-BR 配成 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的母液,测定时将溶液稀释到线性范围内,以蒸馏水为参比,进行光谱扫描活性艳蓝 KN-R 的最大吸收峰在 592 nm 处 (图 1),活性艳蓝 X-BR 的最大吸收峰在 600 nm (图 2).

1.6 染料脱色方法

脱色条件采用:选用的脱色体系总体积为 10

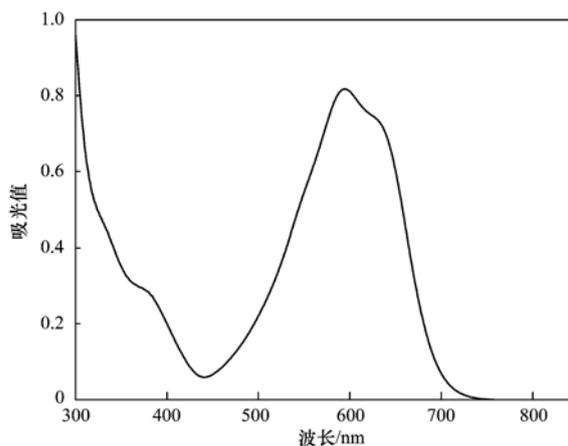


图 1 活性艳蓝 KN-R 的吸收光谱

Fig. 1 Absorption spectrogram of Reactive Brilliant Blue KN-R

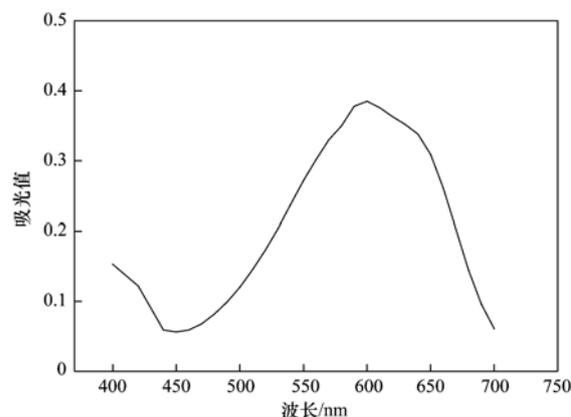


图 2 活性艳蓝 X-BR 的吸收光谱

Fig. 2 Absorption spectrogram of Reactive Brilliant Blue X-BR

mL,用柠檬酸- Na_2HPO_4 缓冲液把脱色体系的 pH 值调至 5,给酶量 $0.1\text{ U}\cdot\text{mL}^{-1}$,温度为 30°C ,活性艳蓝 KN-R 和活性艳蓝 X-BR 的浓度分别采用 $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

脱色率的计算方法:采用紫外分光光度计在染料的最大吸收波长下测出吸光度,根据标准曲线转化成相应的质量浓度,

染料脱色率 (%) 的计算公式^[16]:脱色率 (%) = $(A_0 - A_t)/A_0 \times 100\%$

式中: A_0 、 A_t 分别表示初始时刻和 t 时刻染料在特征波长处的吸光值浓度吸光值.实验重复 3 次,取平均值.

2 结果与分析

2.1 时间对脱色率的影响

从图 3 可以看出活性艳蓝 KN-R 和活性艳蓝 X-

BR 的脱色率随时间增加而增大, 活性艳蓝 X-BR 和活性艳蓝 KN-R 分别到第 6 h 和第 5 h 后的脱色率不再随时间增加而增加, 维持在一个稳定范围; 这时的活性艳蓝 KN-R 脱色率达 83.02%, 活性艳蓝 X-BR 脱色率达 50.02%。因此以后实验活性艳蓝 KN-R 脱色时间选为 6 h, 活性艳蓝 X-BR 脱色时间选为 5 h。

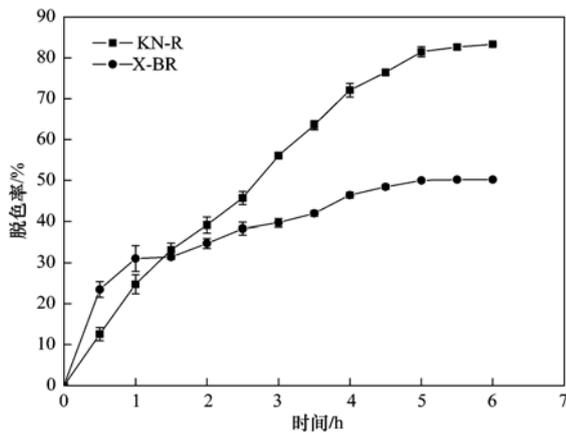


图3 时间对活性艳蓝 KN-R 和活性艳蓝 X-BR 脱色的影响

Fig. 3 Effects of time on decolorization of Reactive Brilliant Blue KN-R/X-BR

2.2 温度对脱色率的影响

从图 4 中看出随着温度的升高, 活性艳蓝 KN-R 和活性艳蓝 X-BR 的脱色率都在逐渐升高, 当温度为 30℃ 时它们的脱色率都达到最高。而当温度继续升高, 脱色率迅速下降这是因为温度升高酶的失活越来越明显, 能用于催化反应的酶减少因而脱色率降低。

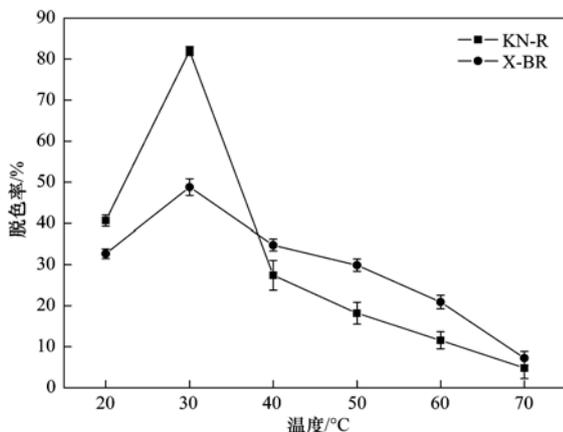


图4 温度对活性艳蓝 KN-R 和活性艳蓝 X-BR 脱色的影响

Fig. 4 Effects of temperature on decolorization of Reactive Brilliant Blue KN-R/X-BR

2.3 pH 值对脱色的影响

从图 5 可以看出 pH 值的变化对活性艳蓝 KN-R 和活性艳蓝 X-BR 的脱色率有很大影响, pH 在 4~6 之间它们的脱色效果都很好, 活性艳蓝 KN-R 的最适 pH 为 5, 活性艳蓝 X-BR 的最适 pH 为 4。这是因为 pH 值的变化会改变离子平衡和蛋白质的解离状态, 对酶的活性造成很大影响。

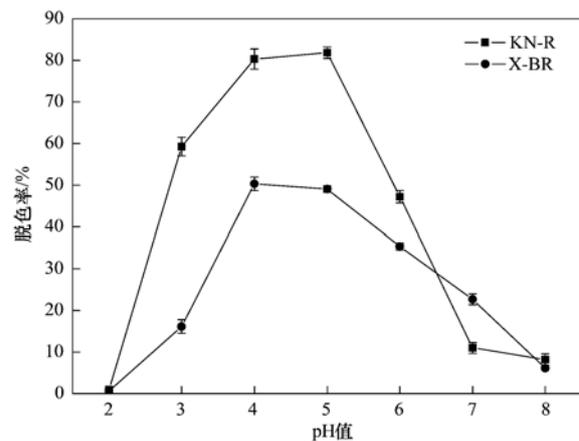


图5 pH 值对活性艳蓝 KN-R 和活性艳蓝 X-BR 脱色的影响

Fig. 5 Effects of pH on decolorization of Reactive Brilliant Blue KN-R/X-BR

2.4 染料浓度对脱色的影响

从图 6 中可以看出随染料的质量浓度增加, 活性艳蓝 KN-R 和活性艳蓝 X-BR 脱色率都在增加, 活性艳蓝 KN-R 和活性艳蓝 X-BR 分别在 80 mg·L⁻¹ 和 50 mg·L⁻¹ 时脱色率达到最高, 分别为 84.2% 和 52.2%。但是染料浓度继续增大脱色率反而降低, 这说明高浓度的染料对蜜环菌漆酶催化脱色的能力有一定的抑制作用。

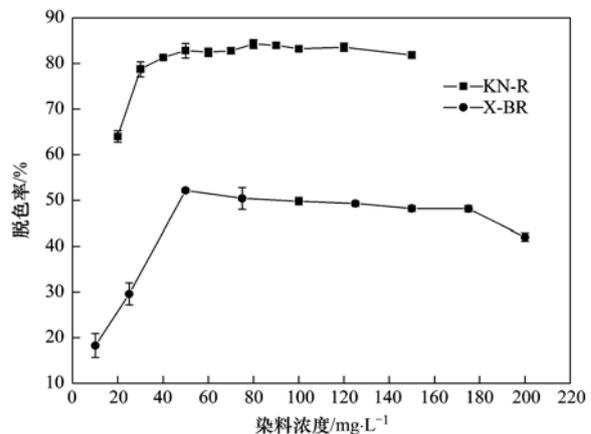


图6 染料浓度对活性艳蓝 KN-R 和活性艳蓝 X-BR 脱色的影响

Fig. 6 Effects of dye concentration on decolorization of Reactive Brilliant Blue KN-R/X-BR

2.5 酶量对脱色的影响

由图7看出随着酶量的增加,脱色率亦逐渐增加,活性艳蓝 KN-R 和活性艳蓝 X-BR 分别在酶量 $0.25 \text{ U}\cdot\text{mL}^{-1}$ 和 $0.5 \text{ U}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时后增加缓慢.原因是酶的用量决定催化反应的速度,用量增加能与底物结合的活性中心也就增多,当酶饱和以后反应速度就不会随酶量增加而加快.

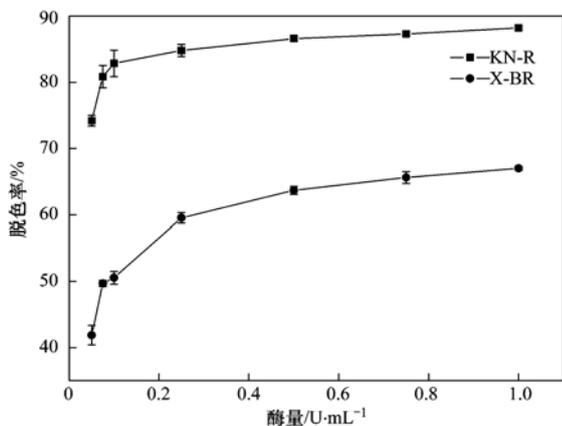


图7 酶量对活性艳蓝 KN-R 和活性艳蓝 X-BR 脱色的影响

Fig. 7 Effects of enzyme dosage decolorization of Reactive Brilliant Blue KN-R/X-BR

2.6 最优条件下脱色效果

活性艳蓝 KN-R 在温度为 30°C , 染料浓度为 $80 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 酶活为 $0.25 \text{ U}\cdot\text{mL}^{-1}$, pH 值为 5 的条件下作用 6 h, 脱色率为 90.33%. 活性艳蓝 X-BR 在温度为 30°C , 染料浓度为 $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 酶量为 $0.5 \text{ U}\cdot\text{mL}^{-1}$, pH 值为 4 的条件下作用 5 h, 脱色率为 70.03%.

3 结论

(1) 实验研究了蜜环菌漆酶对活性艳蓝 KN-R 的脱色条件, 表明蜜环菌粗漆酶液对活性艳蓝 KN-R 有很好的脱色效果. 在温度为 30°C , 染料浓度为 $80 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 酶量为 $0.25 \text{ U}\cdot\text{mL}^{-1}$, pH 值为 5 的条件下作用 6 h 活性艳蓝 KN-R 在脱色率能达 90% 以上.

(2) 实验研究了蜜环菌漆酶对活性艳蓝 X-BR 的脱色条件, 表明蜜环菌粗漆酶液对活性艳蓝 KN-R 有较好的脱色效果. 在温度为 30°C , 染料浓度为 $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 酶量为 $0.5 \text{ U}\cdot\text{mL}^{-1}$, pH 值为 4 的条件下

5 h 活性艳蓝 KN-R 在脱色率能达 70% 以上.

参考文献:

- [1] Wesenberg D, Kyriakides I, Agathos S N. White-rot fungi and their enzymes for the treatment of industrial dye effluents [J]. *Biotechnology Advances*, 2003, **22**(1-2): 161-187.
- [2] Pandey A, Singh P, Iyengar L. Bacterial decolorization and degradation of azo dyes [J]. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 2007, **59**(2): 73-84.
- [3] 姚朝阳, 郭伟云, 牛敬媛, 等. 云芝漆酶的生物降解与染料脱色作用研究 [J]. *安徽农业科学*, 2009, **37**(20): 9363-9365.
- [4] 杨曦, 余刚, 孔令仁, 等. 酸性红 3B 的杂多酸光催化降解动力学 [J]. *环境科学*, 2002, **23**(3): 40-43.
- [5] Baldrian P. Fungal laccases-occurrence and properties [J]. *FEMS Microbiology Reviews*, 2006, **30**(2): 215-242.
- [6] 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.
- [7] 刘友勋, 颜克亮, 熊征, 等. 漆酶介体系统对孔雀绿的脱色研究 [J]. *环境科学与技术*, 2008, **31**(7): 37-39.
- [8] 乔治杰, 马斌, 陈琼华, 等. 灵芝漆酶催化阳离子红 2GL 脱色的研究 [J]. *菌物学报*, 2010, **29**(2): 261-266.
- [9] 苏妍彦, 王竞, 周集体, 等. 蒽醌染料中间体催化强化偶氮染料生物脱色 [J]. *环境科学*, 2008, **29**(7): 1986-1991.
- [10] Plagemann R, Jonas L, Kragl U. Ceramic honeycomb as support for covalent immobilization of laccase from *Trametes versicolor* and transformation of nuclear fast red [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2011, **90**(1): 313-320.
- [11] 赵林果, 季永新, 李强, 等. 固定化漆酶对染料酸性紫 43 的脱色和降解 [J]. *工业微生物*, 2007, **37**(6): 35-40.
- [12] 肖亚中, 王军, 王怡平, 等. 蜜环菌胞外漆酶的合成、纯化及性质研究 [J]. *生物工程学报*, 2002, **18**(4): 457-462.
- [13] 范文霞, 蔡友华, 刘学铭, 等. 毛云芝菌产漆酶液体培养条件的优化 [J]. *食品与生物技术学报*, 2008, **27**(3): 88-93.
- [14] Kirk T K, Croan S, Tien M, et al. Production of multiple ligninases by *Phanerochaete chrysosporium*: effect of selected growth conditions and use of a mutant strain [J]. *Enzyme and Microbial Technology*, 1986, **8**(1): 27-32.
- [15] Coll P M, Fernández-Abalos J M, Villanueva J R, et al. Purification and characterization of a phenoloxidase (laccase) from the lignin-degrading basidiomycete PM1 (CECT 2971) [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1993, **59**(8): 2607-2613.
- [16] 湛斌, 赵亮亮, 孙秋芳, 等. 灵芝所产漆酶对蒽醌染料的脱色研究 [J]. *环境科学与技术*, 2010, **33**(11): 50-53.

CONTENTS

Safety Value of Contaminant in Water Pollution Accident Based on Human Health Risk	ZHENG Bing-hui, LUO Jin-hong, FU Qing, <i>et al.</i> (337)
Safety Concentration of Genotoxic Carcinogens in Water Pollution Accident Based on Human Health Risk	LUO Jin-hong, ZHENG Bing-hui, FU Qing, <i>et al.</i> (342)
A Quantitative Method and Case Analysis for Assessing Water Health	LI Yu-feng, LIU Hong-yu, HAO Jing-feng, <i>et al.</i> (346)
Temporal and Spatial Variation of Nitrogen and Phosphorus and Eutrophication Assessment in Downstream River Network Areas of North Canal River Watershed	SHAN Bao-qing, JIAN Yu-xiang, TANG Wen-zhong, <i>et al.</i> (352)
Spatiotemporal Variation Analysis and Identification of Water Pollution Sources in the Zhangweinan River Basin	XU Hua-shan, XU Zong-xue, TANG Fang-fang, <i>et al.</i> (359)
Hydrochemical Characteristics and Formation Mechanism of Shallow Groundwater in the Yellow River Delta	AN Le-sheng, ZHAO Quan-sheng, YE Si-yuan, <i>et al.</i> (370)
Impacts of Sediment Disturbance Time on the Distribution of Phosphorus Forms in Suspended Solids	LI Da-peng, HUANG Yong, LI Yong, <i>et al.</i> (379)
Influence of Submerged Macrophytes on Phosphorus Transference Between Sediment and Overlying Water in the Growth Period	WANG Li-zhi, WANG Guo-xiang, YU Zhen-fei, <i>et al.</i> (385)
Pollution Characteristics and Evaluation of Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter in Surface Sediments of Lake Changshouhu in Chongqing, China	LU Shao-yong, XU Meng-shuang, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (393)
Vertical Distribution Characteristics of Nutrients and Heavy Metals in Sediments of Lake Hongze	ZHANG Wen-bin, YU Hui (399)
Effects of Rainfall on Nitrogen and Phosphorus Loss from Courtyard Compost and Its Risk of Nonpoint Source Pollution	PENG Li, WANG Li-wei, YANG Zhi-min, <i>et al.</i> (407)
Effects of Hydrodynamic Process on Bio-optical Properties in Algal-Dominated Lake Region of Shallow Lake	LIU Xiao-han, FENG Long-qing, ZHANG Yun-lin, <i>et al.</i> (412)
Estimation and Remote Sensing Inversion of Diffuse Attenuation Coefficient $K_d(490)$ in Lake Taihu in Spring Based on Semi-analytical Model	LIU Zhong-hua, LI Yun-mei, LI Rui-yun, <i>et al.</i> (421)
Monitoring the Total Suspended Matter of Lake Chaohu Based on Quasi-Analytical Algorithm	ZHANG Hong, HUANG Jia-zhu, LI Yun-mei, <i>et al.</i> (429)
Optimization of Aerobic/Anaerobic Subsurface Flow Constructed Wetlands	LI Feng-min, SHAN Shi, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (436)
Effects of Allelochemical Dibutyl Phthalate on <i>Gymnodinium breve</i> Reactive Oxygen Species	BIE Cong-cong, LI Feng-min, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (442)
Toxicity Effects of <i>Rac</i> - and <i>S</i> -Metolachlor on Two Algae	CAI Wei-dan, LIU Hui-jun, FANG Zhi-guo (448)
Studies for Killing the Oceanic Harmful Organisms in Ship's Ballast Water Using Hydroxyl Radicals	BAI Min-dong, ZHANG Na-hui, ZHANG Zhi-tao, <i>et al.</i> (454)
Modification of Natural Siderite and Enhanced Adsorption of Arsenic	ZHAO Kai, GUO Hua-ming, LI Yuan, <i>et al.</i> (459)
Kinetic Study of 4-Chloronitrobenzene Degradation by Zero-Valent Iron	LIAO Di-jie, YANG Qi, LEE Chun-chi (469)
Photochemical Degradation of Ofloxacin in Aqueous Solution	SHAO Meng, YANG Gui-peng, ZHANG Hong-hai (476)
Photodegradation of Atenolol in Aqueous Nitrate Solution	JI Yue-fei, ZENG Chao, MENG Cui, <i>et al.</i> (481)
Biodegradation of Pyridine Under UV Irradiation	FANG Miao-miao, YAN Ning, ZHANG Yong-ming (488)
Optimization on Decoloration Conditions of Anthraquinone Dyes by Laccase from <i>Amillariella mellea</i>	ZHU Xian-feng, QIN Ren-bing, YU Chen-chen, <i>et al.</i> (495)
Biosorption of Chromium (VI) by Waste Biomass of ϵ -Poly-L-lysine Fermentation	CAO Yu-juan, ZHANG Yang, XIA Jun, <i>et al.</i> (499)
Investigation on Enhanced Conditions for the Densification of Filamentous Sludge	LI Zhi-hua, SUN Wei, JI Xiao-qin, <i>et al.</i> (505)
Effect of Temperature on the Response Characteristics of Shortcut Nitrification Granular Sludge	LUO Yuan-ling, YANG Zhao-hui, XU Zheng-yong, <i>et al.</i> (511)
Fuel Consumption and Emission Inventory of Typical Construction Equipments in China	LI Dong-ling, WU Ye, ZHOU Yu, <i>et al.</i> (518)
Optimization of PM ₁₀ Monitoring Network in Beijing	QI Ling, ZHAO Yue, XIE Shao-dong (525)
Effect of Greenbelt on Pollutant Dispersion in Street Canyon	XU Wei-jia, XING Hong, YU Zhi (532)
Investigation of Effect and Process of Nitric Oxide Removal in Rotating Drum Biofilter Coupled with Absorption by Fe ^{II} (EDTA)	CHEN Jun, YANG Xuan, YU Jian-ming, <i>et al.</i> (539)
Effect of UV-B Radiation on Release of Nitrogen and Phosphorus from Leaf Litter in Subtropical Region in China	SONG Xin-zhang, ZHANG Hui-ling, JIANG Hong, <i>et al.</i> (545)
Characteristics of Carbon Sequestration and Apparent Stability of New Sequestered Carbon in Forested Torrid Red Soil at Dry-Hot Valley	TANG Guo-yong, LI Kun, SUN Yong-yu, <i>et al.</i> (551)
Spatial Distribution of Methane in Surface Water and Sediment of Jiulongjiang Estuary and the Effect Environment factors of It	GUO Ying-ying, CHEN Jian, YIN Xi-jie, <i>et al.</i> (558)
Methane Fluxes and Controlling Factors in the Intertidal Zone of the Yellow River Estuary in Autumn	JIANG Huan-huan, SUN Zhi-gao, WANG Ling-ling, <i>et al.</i> (565)
Study on Dioxin Emission for Typical Non-Wood Pulp Making in China	WANG Zhi-fang, DING Qiong, WANG Kai-xiang, <i>et al.</i> (574)
Horizontal and Vertical Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in River Sediment from a Typical Electrical Equipment Industrial Area	QIU Meng-de, DENG Dai-yong, YU Le-huan, <i>et al.</i> (580)
Characteristics of Polychlorinated Biphenyls in Soils from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, LI Yuan-cheng, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (587)
Characterization and Potential Risks of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Green Space Soils of Educational Areas in Beijing	PENG Chi, WANG Mei-e, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (592)
Spatial Variability and Evaluation of Soil Heavy Metal Contamination in the Urban-transect of Shanghai	LIU Yun-long, ZHANG Li-jia, HAN Xiao-fei, <i>et al.</i> (599)
Assessment of Heavy Metal Pollution in Surface Sediments of Rivers in Northern Area of Haihe River Basin, China	SHANG Lin-yuan, SUN Ran-hao, WANG Zhao-ming, <i>et al.</i> (606)
Concentrations and Pollution Assessment of Soil Heavy Metals at Different Water-level Altitudes in the Draw-down Areas of the Three Gorges Reservoir	WANG Ye-chun, LEI Bo, YANG San-ming, <i>et al.</i> (612)
Analysis of Community Structure on Sludge Aerobic/anoxic Digestion After Ultrasonic Pretreatment	YE Yun-di, SUN Shui-yu, ZHENG Li, <i>et al.</i> (618)
Research on Population Structure and Distribution Characteristic of Indigenous Microorganism in Post-polymer-Flooding Oil Reservoir	ZHAO Ling-xia, GAO Pei-ke, CAO Mei-na, <i>et al.</i> (625)
Study on Degradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) with Different Additional Carbon Sources in Aged Contaminated Soil	YIN Chun-qin, JIANG Xin, WANG Fang, <i>et al.</i> (633)
Detection of <i>Proocentrum minimum</i> (Pavillard) Schiller with the Electrochemiluminescence-Molecular Probe	ZHU Xia, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> (640)
Development of Direct Competitive Enzyme-Linked Immunosorbent Assay for the Determination of Domoic Acid	WANG Qian, CHENG Jin-ping, GAO Li-li, <i>et al.</i> (647)
Simultaneous Determination of 10 Sulfonamide Antibiotics in Water by Solid-phase Extraction and High Performance Liquid Chromatography	HONG Lei-jie, SHI Lu, ZHANG YA-lei, <i>et al.</i> (652)
Effects of Pentachlorophenol on DNA Damage and Cytotoxicity of HeLa Cells	JIN Bang-ming, WANG Fu-ming, XIONG Li, <i>et al.</i> (658)
Modeling of Carbon Dioxide Measurement and Optimization on Building Ceramic Industry	PENG Jun-xia, ZHAO Yu-bo, JIAO Li-hua, <i>et al.</i> (665)

《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)

2012年2月15日 33卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 2 Feb. 15, 2012

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@reces. 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@reces. 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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行