

附件材料

目 录

1. 科研项目证明	1
2. 教学项目证明	10
3. 教科研获奖证明	17
4. 专利证书	18
5. 学生培养获奖证明	20
6. 著作	30
7. 论文	39

1. 科研项目证明



项目批准号	42377067
申请代码	D0702
归口管理部门	
依托单位代码	45000208A0408-0771



423770671007764

国家自然科学基金 资助项目计划书 (预算制项目)

资助类别: 面上项目

亚类说明:

附注说明:

项目名称: 微塑料溶解性有机质对太阳光灭活病原微生物的影响机制

直接费用: 49万元 执行年限: 2024.01-2027.12

负责人: 马双龙

通讯地址: 河南省郑州市郑东新区平安大道218号

邮政编码: 450002 电 话: 15738318299

电子邮件: shuanglongma168@163.com

依托单位: 河南农业大学

联系人: 许恒 电 话: 0371-56552903

填表日期: 2023年08月25日

国家自然科学基金委员会制

Version: 1.007.764



简表

项目负责人信息	姓 名	马双龙	性 别	男	出生年月	1989年04月	民 族	回族
	学 位	博士			职称	副教授		
	是否在站博士后	否			电子邮件	shuanglongma168@163.com		
	电 话	15738318299			个人网页			
	工 作 单 位	河南农业大学						
	所 在 院 系 所	资源与环境学院						
依托单位信息	名 称	河南农业大学					代码	45000208A0408
	联 系 人	许恒			电子邮件	hnndkjc@henau.edu.cn		
	电 话	0371-56552903			网站地址	http://www.henau.edu.cn		
合作单位信息	单 位 名 称							
项目基本信息	项 目 名 称	微塑料溶解性有机质对太阳光灭活病原微生物的影响机制						
	资 助 类 别	面上项目				亚 类 说 明		
	附 注 说 明							
	申 请 代 码	D0702:环境水科学						
	基 地 类 别							
	执 行 年 限	2024.01-2027.12						
	直 接 费 用	49万元						



项目摘要

中文摘要:

微塑料溶解性有机质 (MPDOM) 广泛存在于地表水环境中, 其会对病原微生物的太阳光灭活行为和环归趋产生影响, 然而这方面的研究资料十分匮乏。本项目选取常见微塑料和病原微生物指示物为研究对象, 通过紫外光老化处理微塑料获取MPDOM, 借助光谱学、色谱学和质谱学等表征技术考察不同类型MPDOM的结构特征, 通过测定光生活性中间体 (102 、 $\bullet\text{OH}$ 和 3DOM^*) 的稳态浓度、产生速率和量子产率, 建立结构特征与光敏效应之间的构效关系。基于光生活性中间体的产生水平、光屏蔽系数、内源和外源光灭菌速率常数, 解析MPDOM对太阳光内源灭菌效能和机制的影响; 在MPDOM和溶解性天然有机质 (DOM) 共存条件下, 通过测定外源光灭菌速率常数、抑制系数、羰基含量、供(得)电子能力, 揭示MPDOM对DOM介导的外源光灭菌效能和机制的影响。项目实施为评价和防控微塑料和水源性致病菌两类污染物提供基础数据和科技支撑。

Abstract:

Microplastics dissolved organic matter (MPDOM) exists widely in surface water, which can affect the solar inactivation behavior and environmental fate of pathogenic microorganisms. However, the research data in this field is very scarce. In this project, common microplastics and pathogenic microorganism indicators are selected as research objects. MPDOM can be obtained by ultraviolet aging treatment of microplastics. The structural characteristics of different types of MPDOM will be investigated by diverse characterization methods such as spectroscopy, chromatography and mass spectrometry technologies. The steady-state concentration, production rate and quantum yield of photoproducted reactive intermediates (102 , $\bullet\text{OH}$ and 3DOM^*) were measured. The structure-activity relationship between the structural characteristics and the photosensitive effect will be established. Based on the production level of photoproducted reactive intermediates, photoshielding coefficient, endogenous and exogenous photo-inactivation rate constants, the influence of MPDOM on the effect and mechanism of endogenous photo-inactivation can be resolved. With the coexistence of MPDOM and dissolved natural organic matter (DOM), the influence of MPDOM on the effect and mechanism of exogenous photo-inactivation mediated by DOM can be revealed through the measurement of exogenous photo-inactivation rate constants, inhibition coefficient, carbonyl content, electron donating and accepting capacity. The implementation of the project will provide basic data and scientific support for the evaluation and control of microplastics and water-borne pathogens pollutants.

关键词(用分号分开): 河流; 溶解性有机质; 微塑料; 光敏效应; 致病菌

Keywords(用分号分开): river; dissolved organic matter; microplastics; photosensitization; pathogens

国家自然科学基金项目负责人、依托单位承诺书

国家自然科学基金项目负责人承诺书

本人郑重承诺：我接受国家自然科学基金的资助，严格遵守中共中央办公厅、国务院办公厅《关于进一步加强科研诚信建设的若干意见》《关于进一步弘扬科学家精神加强作风和学风建设的意见》《关于加强科技伦理治理的意见》等规定，及国家自然科学基金委员会关于资助项目管理、项目资金管理等各项规章，在《计划书》填写及项目执行过程中：

- （一）按照《批准通知》《国家自然科学基金资助项目计划书填报说明》的要求填写《计划书》，未自行降低、更改目标任务或约定要求，或缩减研究（研制）内容；
 - （二）树立“红线”意识，严格履行科研合同义务，按照《计划书》负责实施本项目（批准号：42377067），切实保证研究工作时间，按时报送有关材料，及时报告重大情况变动，不违规将科研任务转包、分包他人，不以项目实施周期外或不相关成果充抵交差；
 - （三）遵守科研诚信、科技伦理规范和学术道德，认真开展研究工作，对资助项目发表的论著和取得的研究成果按规定进行标注，不在非本项目资助的成果或其他无关成果上标注本项目批准号，反对无实质学术贡献者“挂名”，不在成果署名、知识产权归属等方面侵占他人合法权益，并如实报告本人及项目组成员发生的违背科研诚信要求的任何行为；
 - （四）尊重科研规律，弘扬科学家精神，严谨求实，追求卓越，反对浮夸浮躁、投机取巧，不人为夸大学术或技术价值，不传播未经科学验证的现象和观点；
 - （五）将项目资金全部用于与本项目研究工作相关的支出，并结合科研活动需要，科学合理安排项目资金支出进度；
 - （六）做好项目组成员的教育和管理，确保遵守以上相关要求。
- 如违背上述承诺，本人愿接受国家自然科学基金委员会和相关部门做出的各项处理决定。

项目负责人（签字）：马双龙
2023年9月13日

依托单位科研管理部门：

负责人（签章）：
年 月 日

依托单位财务管理部门：

负责人（签章）：
年 月 日

国家自然科学基金项目依托单位承诺书

我单位同意承担上述国家自然科学基金项目，将保证项目负责人及其研究队伍的稳定和研究项目实施所需的条件，严格遵守国家自然科学基金委员会有关资助项目管理、项目资金管理、科研诚信管理和科技伦理管理等各项规定，并督促实施。

依托单位（公章）

年 月 日

国家自然科学基金资助项目签批审核表

本 栏 目 由 自 然 科 学 基 金 委 填 写	科学处审查意见： 同意按计划执行 负责人（签章）： 2023-11-09
	科学部审查意见： 负责人（签章）： 年 月 日

河南省科学技术厅文件

豫科〔2024〕42号

关于下达河南省二〇二四年科技发展计划的通知

各省辖市科技局，济源示范区管委会科技管理部门，各县（市）科技管理部门，郑州航空港经济综合实验区、国家高新区、郑州经济技术开发区管委会，省直有关部门，各有关单位：

按照“十四五”科技发展的总体思路，结合我省国民经济和社会发展的任务要求，现将《河南省二〇二四年科技发展计划》下达给你们，请按照计划项目目标，认真做好组织实施工作。

附件：河南省二〇二四年科技发展计划



2024年3月22日

项目编号	项目名称	承担单位	主管部门
242300421144	嵌套结构下城市居民低碳通学的空间-行为互动机制及优化路径	河南财经政法大学	河南省教育厅
242300421145	深井冻土精确延时爆破的破碎机理及对新浇高强井壁的振动影响研究	河南理工大学	河南省教育厅
242300421146	扬子北缘寒武纪黑色岩系型磷-钼成矿作用研究	河南理工大学	河南省教育厅
242300421147	腐生真菌转化秸秆促进潮土团聚体形成的机制及根瘤复合菌系构建	河南农业大学	河南省教育厅
242300421148	光照下微塑料对抗生素抗性细菌活性和抗性基因接合转移的影响机制	河南农业大学	河南省教育厅
242300421149	植物促生菌群对弱碱性麦田根-土界面镉铅的钝化效应和机制	南阳师范学院	河南省教育厅
242300421150	航天测量船全天时天文/惯导/北斗融合精密定位定姿研究	中国人民解放军战略支援部队信息工程大学	河南省科学技术厅
242300421151	月球/火星车自适应融合导航理论与方法	中国人民解放军战略支援部队信息工程大学	河南省科学技术厅
242300421152	特深井金刚石钻头切削设计调控及失效机理	中国地质大学(北京)郑州研究院	郑州国家高新技术产业开发区
242300421153	南阳超固结膨胀土卸荷力学性状的各向异性效应与边坡灾变机理	中原工学院	河南省教育厅
242300421154	复杂模糊认知信息聚合理论与应用	郑州大学	河南省教育厅
242300421155	激光器用金刚石大单晶的高压制备与色心调控研究	郑州大学	河南省教育厅
242300421156	远离 β 稳定线原子核奇特结构研究	郑州大学	河南省教育厅
242300421157	双钙钛矿的高压物性研究	郑州大学	河南省教育厅
242300421158	可积系统的代数曲线理论及其解的构造	郑州大学	河南省教育厅
242300421159	基于里德堡原子实现电场精密测量	郑州大学	河南省教育厅
242300421160	片上声子晶体的非厄米物态调控及应用	郑州大学	河南省教育厅
242300421161	二维光电材料的激子动力学研究	郑州大学	河南省教育厅

情况说明

马双龙，男，身份证号 411328198904213399，为河南农业大学资源与环境学院教师。获批 2024 年度“中原科技创新青年拔尖人才”，特此证明。



附件2

中原院士基金绩效目标表
(2024年度中原科技创新青年拔尖人才)

项目承担单位（公章）：

项目名称		单原子催化剂激活过硫酸盐削减抗生素抗性细菌机制研究	
项目负责人		马双龙	
项目资金（万元）		50.00	
年度目标	2025年度目标：研发异核双原子催化剂3种，对复杂水质成分的地下水具有优异的灭菌性能，2小时内灭菌效果100%。 2026年度目标：阐明电子传递链的特征参数与单线态氧产量间的构效关系，各种氧化物种间的协同灭菌效应。发表SCI论文2篇，申请发明专利2项，培养研究生4名。		
一级指标	二级指标	三级指标	指标值
产出指标	数量指标	发表SCI论文	2篇
		申请发明专利	2项
		培养研究生	4
		2小时内抗生素抗性细菌去除效果	100%
		研发催化剂种类	3
	时效指标	项目周期	按时完成
	质量指标	发表SCI论文，申请发明专利	发表SCI论文1篇， 申请发明专利1项
	成本指标	成本预算控制	按预算执行
效益指标	经济效益	降低细菌污染带来的经济损失	定性
	社会效益	为水源性细菌污染控制提供技术方案	定性
	环境效益	降低抗生素抗性细菌污染	定性
	可持续影响	为水体细菌污染提供解决方案	定性
满意度指标	服务对象满意度指标	依托单位满意度	≥95%
		项目主管单位满意度	≥95%

注：此表格A4双面竖版打印

2. 教学项目证明

河南省教育厅

Education Department Of Henan Province

无障碍阅读 进入适老模式

站内搜索

首页

教育动态

政务公开

政务服务

交流互动

专题子站

您好, 今天是2025年11月21日, 欢迎访问中共河南省委教育工委、河南省教育厅网站!

首页 > 政务公开 > 公告公示 > 正文

分享: 微信 微博 抖音

河南省教育厅关于2025年度河南省本科高校精品课程拟立项建设名单的公示

2025-11-06 09:06 【浏览字号: 大 中 小】 来源: 教育厅办公室

各本科高校:

根据河南省教育厅办公室《关于2025年度河南省本科高校精品课程建设申报工作的通知》(教办高〔2025〕200号)要求,经个人申报、高校推荐、网络评审、会议评审,拟立项建设郑州大学《信号与系统》等300门2025年度河南省本科高校精品课程。

自公示之日起5日内,任何单位和个人对公示内容有异议,须以书面形式向我厅高教处提出。单位提出异议的,须在异议材料上加盖本单位公章,并写明联系人工作单位、通讯地址和电话;个人提出异议的,须在异议材料上签署真实姓名,并写明本人工作单位、通讯地址和电话。不符合上述要求的,不予受理。

电 话: 0371—69691868

地 址: 郑州市正光路11号

邮 编: 450018

附件: 1.2025年度河南省本科高校智慧课程拟立项建设名单
2.2025年度河南省本科高校通识教育精品课程拟立项建设名单
3.2025年度河南省本科高校研究性教学精品课程拟立项建设名单

2025年11月6日

附件 3

2025 年度河南省本科高校研究性教学精品课程拟立项建设名单

序号	课程名称	学校名称	负责人	团队主要成员
1	计量模型构建与应用	郑州大学	江求川	刘静一、何奇龙、李颢、王芳
2	公益诉讼法学	郑州大学	张嘉军	崔玮、刘黎、王立源、沈思达
3	生理心理学	郑州大学	李 莹	陈夏妮、王悦、杨敏齐、徐贵平
4	植物生产学	郑州大学	黄进勇	周杨、闫冠博、马尧、郭书娟
5	半导体器件物理	郑州大学	钟英辉	单崇新、张超、马刘红、宋继中
6	高电压技术	郑州大学	程 显	李景丽、葛国伟、程子霞、孔斌
7	人工智能及其教育应用	河南大学	赵慧臣	陈新亚、贾同、张炳林、兰国帅
8	遥感大数据云计算	河南大学	崔耀平	秦耀辰、曹萌萌、周静、张晨露
9	生物育种科学实验课	河南大学	张大乐	李玉阁、郭光辉、张震、司小敏
10	基础工程	河南大学	原 华	范孟华、王浩、张敏、董正方

序号	课程名称	学校名称	负责人	团队主要成员
11	污染生态学	河南大学	张俊华	张晨露、傅声雷、白秀玲、周学雅
12	烟草栽培学	河南农业大学	王 静	赵园园、叶协锋、姚鹏伟、云菲
13	园艺植物病虫害防治	河南农业大学	李 祥	关若冰、郭雅双、徐超、赵晨晨
14	水污染控制工程	河南农业大学	马双龙	李慧、高博强、王竞侦、黄岩
15	旅游文化学	河南师范大学	闫喜琴	翟洲燕、冯峰、付强、刘迪
16	小学数学课程与教学论	河南师范大学	李怀军	卢盈、畅东燕、宋歌、董乐
17	机械制图	河南师范大学	刘 洋	李丽丽、张向挺、田苗、陈野
18	环境监测	河南师范大学	董淑英	皮运清、李琦路、禹崇菲、席楠楠
19	应用语言学	河南科技大学	杨 扬	彭小琴、张颖、李雷、徐玮琳
20	建筑环境热力学	河南科技大学	王 林	李修真、袁俊飞、王占伟、谈莹莹
21	应急预案编制与管理	河南理工大学	揣小明	金英淑、张小兵、刘德林、杨杰
22	风景园林工程	河南理工大学	张运兴	翟飞飞、杨扬、李志刚、李静

河南省教育厅

教高〔2026〕78号

河南省教育厅 关于公布2026年度河南省高等教育教学改革研究 与实践项目立项项目的通知

各普通本科高校、有关军队院校：

为进一步深化高等教育教学改革，全面提高教育教学质量和人才培养水平，根据《河南省教育厅关于开展2026年河南省高等教育教学改革研究与实践项目立项工作的通知》（教高〔2026〕14号）要求，经高校申报、专家评审、结果公示，决定立项建设郑州大学《党建引领·数智赋能·价值驱动——双一流高校大规模因材施教综合改革与实践》等850项省级高等教育教学改革研究与实践项目，其中本科教育类700项，思政课类100项，就业创业类50项。现将名单公布（见附件）并提出如下要求。

一、坚持立德树人，凝练高水平教改成果

— 1 —

项目编号	项目名称	主持人	主要成员	牵头高校	参与单位	层次
2026SJGLX304	新农科背景下“全场景-多模态”教学过程性评价数据画像与增值评价研究实践	黄珺婧	薛晓亚、姬广兴、陈伟强、孙艳红、张亚丽、马双龙、关小克、位贺杰、李栋浩、郭珊珊、黄文源	河南农业大学	河南省高等教育学会新农科教育研究分会、郑州轻工业大学	一般
2026SJGLX305	行业需求导向的多模态中药鉴定能力培养模式构建与实践	张红瑞	李海霞、崔江宽、赵晨晨、李志敏、宋腾钊、李文钰	河南农业大学		一般
2026SJGLX306	融智汇力 多维协同-地方高校拔尖创新人才国际化培养模式探索与实践	赵 扬	张军民、李 苞、田月红、张长辉、左红亮、常 毅、王 立	河南师范大学		一般
2026SJGLX307	一核双翼三阶：社会学+AI 跨学科拔尖创新人才胜任力培养机制研究及实践	王君健	陈妍娇、张明阳、张树静、张 恩、付先召、薛 君、海 龙、王 萌、郝晓燕、焦靖斐、秦永超	河南师范大学	商丘师范学院、洛阳师范学院	一般
2026SJGLX308	多维联动数智引擎：新文科建设背景下高校美育人才培养机制构建与实践	陈 巍	李宗英、闫庆来、张鹏飞、李 琪、王 迪、张振东、温 馨、郭 锐、徐夏林、陈 雷、李培鑫	河南师范大学	安阳师范学院、新乡学院	一般
2026SJGLX309	素养导向·智能驱动：AIGC 赋能软件类专业数字化教学新范式构建	刘金金	张 恩、马媛媛、孙全党、熊青青、常升龙、马静波、王 悦	河南师范大学	东软教育科技集团有限公司	一般
2026SJGLX310	基于创新精神培养的“新文科”双创人才培养路径研究与实践	孟照军	常 聪、闫家鑫、衡元元、冯 峰、魏 静、纪文晓、杨威威、翁堂梅、张 敏	河南师范大学	黄河科技学院、郑州工业应用技术学院	一般
2026SJGLX311	深度融合、全域赋能：数智驱动高校教育治理现代化的改革与实践	苏现伐	闫 娟、董淑英、梁中锋、岳 楨、李瑞萍、朱 珂、邢 勇	河南师范大学		一般
2026SJGLX312	一融二育三驱：地方院校电子信息类拔尖人才培养研究	吴雪冰	吴 兰、韦鑫鑫、林方丽、刘峰杰、尚江丽、于 坤、李雪萍、徐世周、尚成树、詹华伟、李中琴、付会凯、郭利辉	河南师范大学	河南工业大学、新乡市景弘电气有限公司、新乡学院、许昌学院	一般

河南农业大学文件

农大教〔2025〕8号

河南农业大学关于公布 2025 年度 本科课程、教材类教学工程项目立项名单的通知

各学院，校直各单位：

为持续加强课程与教材建设，进一步提升本科人才培养质量，根据《河南农业大学关于开展 2025 年度课程类项目、教材项目建设申报工作的通知》要求，学校组织开展了 2025 年度本科课程、教材类教学工程项目的申报和评审工作。经个人申请、学院推荐、学校组织评审和公示等环节，决定立项《生态旅游学》等 100 门课程和《兽医分子诊断学》等 14 部教材。项目建设周期为 2 年。

各学院和项目负责人要高度重视项目实施，注重建设成效，提升课程和教材建设质量，优化教学资源，深化课程教学改革，促进本科教育教学质量再上新台阶。

— 1 —

特此通知。

附件：2025 年度本科课程、教材类教学工程项目立项名单

河南农业大学
2025 年 4 月 15 日

项目编号	课程名称	项目类型	经费（万元）	负责人	学院
25KCM50	英语读写IV	课程思政示范课	0.5	卢鑫莹	国际教育学院
25KCM51	翻译概论	课程思政示范课	0.5	豆涛	外国语学院
25KCM52	旅游规划	课程思政示范课	0.5	阎丽	林学院
25KCM53	城市昆虫	课程思政示范课	0.5	席玉强	植物保护学院
25KCM54	细胞生物学	课程思政示范课	0.5	潘佳佳	动物医学院
25KCM55	生物资源学	课程思政示范课	0.5	张国只	生命科学学院
25KCM56	管理信息系统	课程思政示范课	0.5	刘盼	信息与管理科学学院
25KCM57	兽医传染病学	课程思政示范课	0.5	王增	动物医学院
25KCM58	遥感基础与应用技术	课程思政示范课	0.5	冯新伟	资源与环境学院
25KCM59	试验设计与统计分析	课程思政示范课	0.5	张郎郎	园艺学院
25KCM60	管理学原理	课程思政示范课	0.5	张君慧	经济与管理学院
25KCM61	水污染控制工程	研究性教学示范课	0.5	马双龙	资源与环境学院
25KCM62	人体与动物生理学	研究性教学示范课	0.5	刘慧敏	生命科学学院

3. 教科研获奖证明



4. 专利证书

证书号第8847648号		
专利公告信息		
发明专利证书		
发明名称：一种非金属杂原子配位的双原子催化剂活化过硫酸盐降解水中芳香性有机污染物的方法		
专利权人：河南农业大学		
地址：450046 河南省郑州市郑东新区平安大道218号		
发明人：高博强;马双龙;牛壮杰;王婕		
专利号：ZL 2025 1 0053198.8	授权公告号：CN 119841434 B	
专利申请日：2025年01月14日	授权公告日：2026年04月07日	
申请日时申请人：河南农业大学		
申请日时发明人：高博强;马双龙;牛壮杰;王婕		
国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，并予以公告。 专利权自授权公告之日起生效。专利权有效性及专利权人变更等法律信息以专利登记簿记载为准。		
局长 申长雨		
第1页(共1页)		
		

证书号第8942889号



专利公告信息

发明专利证书

发明名称：一种在碳酸氢根存在下钴-二氧化铈单原子催化剂活化过硫酸盐降解水中氯酚有机污染物的方法

专利权人：河南农业大学

地址：450046 河南省郑州市郑东新区平安大道218号

发明人：唐晓丹;李斐然;马双龙;黄岩;王竞侦;付振栋;王晓阳

专利号：ZL 2025 1 0822407.0

授权公告号：CN 120681868 B

专利申请日：2025年06月19日

授权公告日：2026年05月15日

申请日时申请人：河南农业大学

申请日时发明人：唐晓丹;李斐然;马双龙;黄岩;王竞侦;付振栋;王晓阳

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，并予以公告。
专利权自授权公告之日起生效。专利权有效性及专利权人变更等法律信息以专利登记簿记载为准。

局长
申长雨

申长雨



第1页(共1页)



5. 学生培养获奖证明



荣誉证书

二〇二三年 河南省优秀硕士学位论文

论文题目：多孔生物炭活化过二硫酸盐降解
磺胺嘧啶的机制研究：C-sp³ 和比
表面积的关键作用

学位授予单位：河南农业大学

作者姓名：王树莲

指导教师姓名：马双龙

批准文号：教研〔2024〕369号

河南省教育厅

二〇二四年十一月二十五日

荣誉证书

马双龙 同志在指导 2024 届本科毕业论文（设计）
工作中成绩显著，获优秀指导教师奖。

特发此证，以资鼓励。

河南农业大学
二〇二四年六月



河南农业大学
Henan Agricultural University

研究生优秀学位论文获奖证书

学位论文题目：钴单原子催化剂活化过一硫酸盐降解磺胺甲噁唑的性能和机理研究

学位层次：硕士

一级学科：农业资源与环境

作者姓名：郝晓倩

导师姓名：马双龙

证书编号：YS2024014

河南农业大学
2025年3月



河南农业大学
Henan Agricultural University

研究生优秀学位论文获奖证书

学位论文题目：高密度单原子催化剂活化过硫酸盐灭活
抗生素抗性细菌及抗性基因的机制研究

学位层次：硕士

一级学科：农业资源与环境

作者姓名：齐五帅

导师姓名：马双龙

证书编号：YS2025005

河南农业大学
2025年12月26日



河南农业大学
Henan Agricultural University

研究生优秀学位论文获奖证书

学位论文题目：桥接羟基与氧缺陷共修饰BiOCl催化
剂的构筑及其降解微塑料的研究

学位层次：硕士专业学位

专业学位类别：农业

作者姓名：李泽豪

导师姓名：马双龙

证书编号：YS2025041

河南农业大学
2025年12月26日



2024年“挑战杯”
河南省大学生创业计划竞赛

获奖证书

马双龙 在 2024 年“挑战杯”河南省大学生创业计划竞赛中荣获

优秀教师

特颁此证,以资鼓励。



第十七届“挑战杯”
河南省大学生课外学术科技作品竞赛

获奖证书

河南农业大学

马莉、庞佳乐、王思豫、黄梵、王婕、张瑞芳、左奇亮、牛成健

的作品《 高密度单原子催化剂——过硫酸盐体系研发及水消毒应用研究 》

在第十七届“挑战杯”河南省大学生课外学术科技作品竞赛中荣获

三等奖

指导教师: 马双龙、王竞侦、黄岩

特颁此证,以资鼓励。



获奖证书

木本水源——新一代木质素基海绵吸附剂领军人 项目：

荣获2024年河南省大学生创新大赛暨中国国际大学生创新大赛河南赛区选拔赛 **二等奖**。

所属高校：河南农业大学
项目负责人：方相慧
团队成员：王健、齐剑

参赛组别/赛道：高教主赛道/本科生创意组
指导老师：高博强、马双龙、黄岩、王竞领、宋佳

证书编号：豫教〔2024〕23378
公布文号：教高〔2024〕306号

主办单位：河南省教育厅、中共河南省委统战部、中共河南省委网络安全和信息化委员会办公室、河南省发展和改革委员会、河南省工业和信息化厅、河南省人力资源和社会保障厅、河南省农业农村厅、河南省市场监督管理局、河南省科学院、共青团河南省委员会



获奖证书

点“废”成金——农林废弃物环境修复剂产业先行者 项目：

荣获中国国际大学生创新大赛（2025）河南赛区选拔赛 **一等奖**。

所属高校：河南农业大学
项目负责人：马莉
团队成员：廖佳乐、卫静怡、张瑞芳、王健、于祺正、左奇亮、牛成健、徐翔

参赛赛道/组别：高教主赛道/本科生创意组
指导老师：马双龙、高博强、黄岩、王竞领、宋佳

证书编号：豫教〔2025〕40928
公布文号：教高〔2025〕221号

特发此证，以资鼓励。

主办单位：河南省教育厅、中共河南省委统战部、中共河南省委网络安全和信息化委员会办公室、河南省发展和改革委员会、河南省工业和信息化厅、河南省人力资源和社会保障厅、河南省农业农村厅、河南省市场监督管理局、河南省科学院、共青团河南省委员会



第五届全国农业资源与环境专业
大学生实践技能竞赛

获奖证书



作品名称： 秸秆衍生的溶解有机物在铁氧化物上的
吸附分馏对其与 Pb(II) 的络合行为的
影响：被忽略的含氮分子作用

完成单位： 河南农业大学

团队成员： 齐剑、鲁琪、张开锐

指导老师： 马双龙、高博强

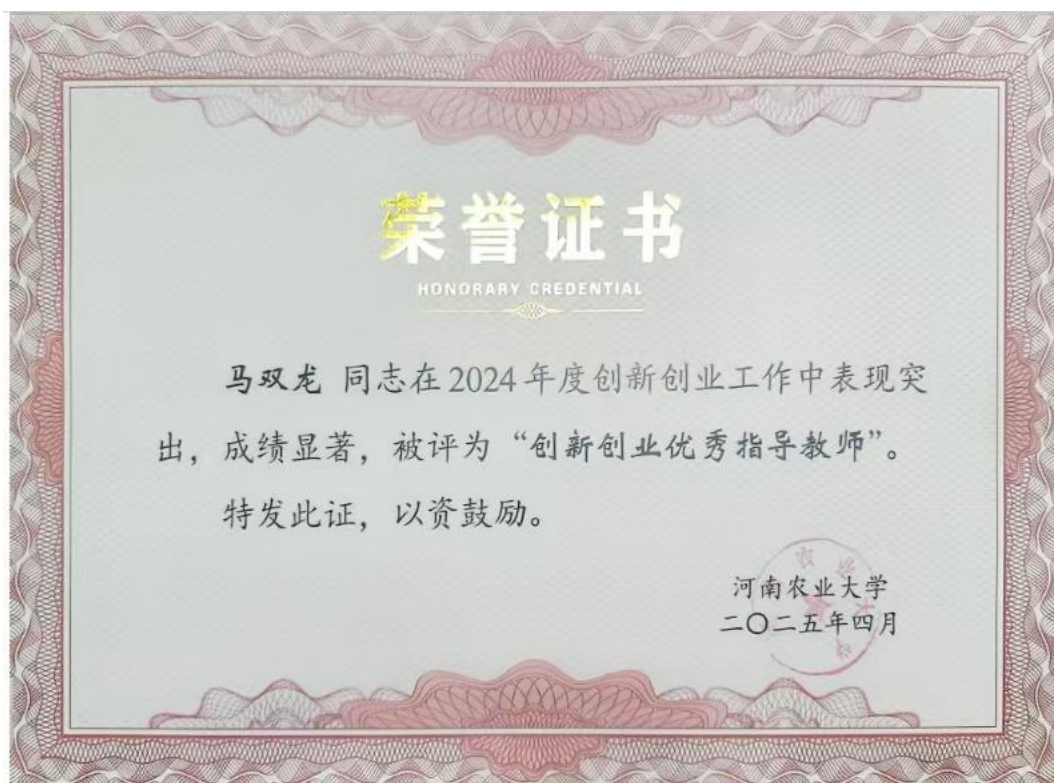
获奖等级： 壹 等奖

国务院学位委员会第八届农业资源与环境学科评议组

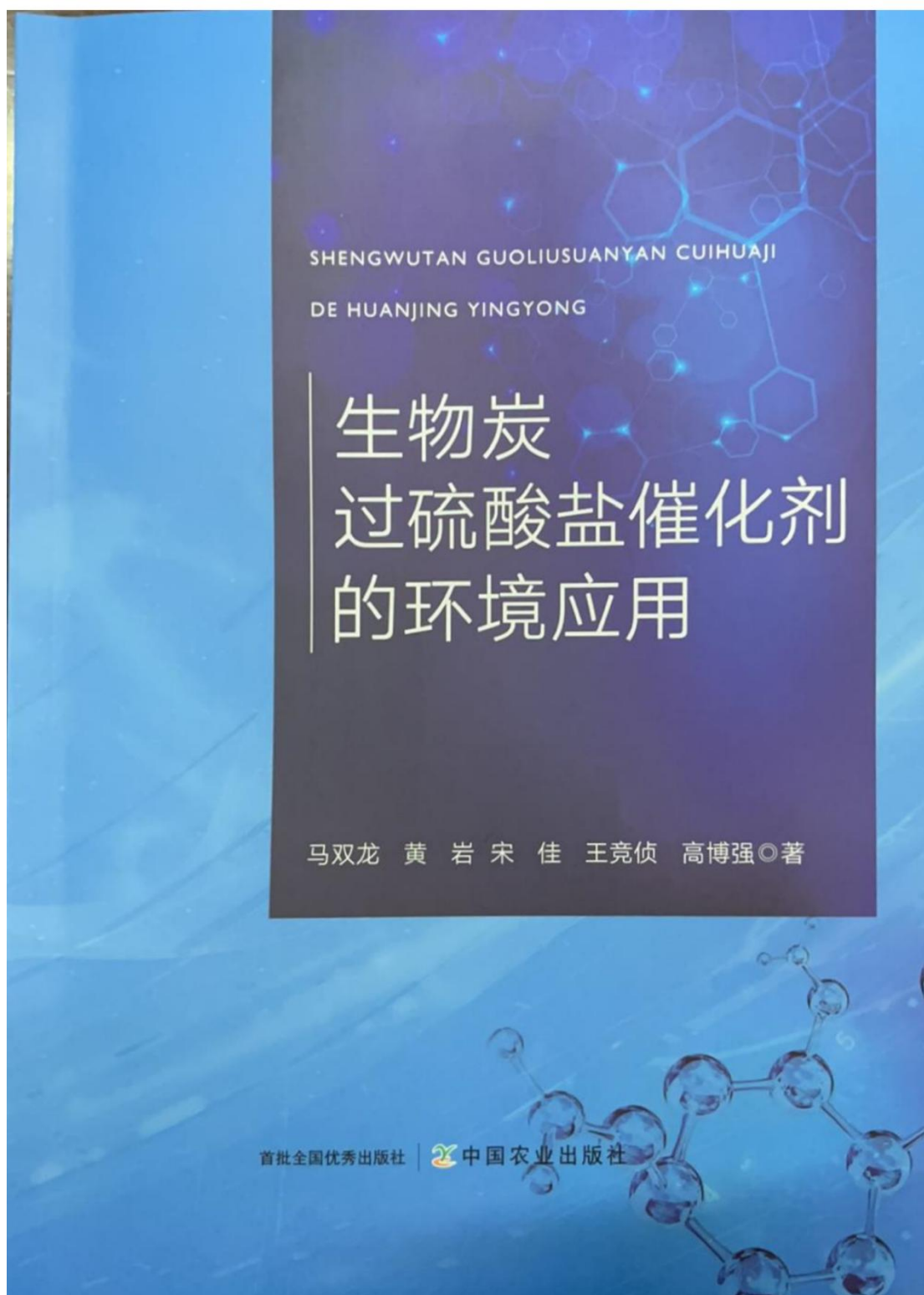


甘肃农业大学资源与环境学院

二〇二五年六月



6. 著作



生物炭过硫酸盐 催化剂的环境应用

SHENGWUTAN GUOLIU SUANYAN
CUIHUAJI DE HUANJING YINGYONG

马双龙 黄岩 宋佳 王竞侦 高博强 著

中国农业出版社
北 京

前言

FOREWORD

随着工业、农业和医疗等行业的快速发展,苯酚类和抗生素类等新有机污染物在环境介质中被频繁检出,这些新有机污染物的毒性较强,即使以痕量存在于水环境中,也会对水中的生物以及人类健康造成严重的危害。人类饮用被有机污染物污染的水源会导致内分泌紊乱、内脏器官受损甚至诱发癌症。因此,人们通过各种方法处理污水,但膜过滤、化学吸附、化学氧化以及生物降解等传统技术对污染物的去除率低、操作复杂、成本高且存在二次污染,已经不能被用来高效去除水环境中的各种有机污染物。因此,亟须研究新型、高效、绿色的技术对新有机污染物进行较为彻底的降解和脱毒。

近年来,基于过硫酸盐的高级氧化技术正成为有机废水降解领域的研究热点。过硫酸盐的非均相活化以其高效、易操作、节省能源等优点引起了广泛关注。此外,碳质材料特别是生物炭由于具有易获取、环境友好、价格低廉、孔结构可调等优点,已成为过渡金属催化剂活化的绿色替代品。然而,原始生物炭由于其较低的比表面积和孔体积以及稀少的催化活性位点通常表现出较差的活化性能。通过形貌调控、非金属元素掺杂、活性金属负载可有效改善原始生物炭在污染物吸附和催化反应中的性能。

为了解决原始生物炭活化过硫酸盐降解有机污染物效率低下和机制不清的难题,笔者总结十余年内在生物炭过硫酸盐激活剂研发方面取得的科研成果,紧紧围绕“生物炭质地结构调控以增强催化活性”这一科学目标,系统开展了新型生物炭的研制和有机污染物降解性能的探讨等工作,针对生物炭孔体积、比表面积、含氧官能团和石墨化结构等理化性状的定向调控开展了一系列创新性工作,针对生物炭基催化剂激活过硫酸盐的机制提出了大量新颖的观点。

本书具有较强的学术性和针对性,为生物炭基过硫酸盐催化剂的定向研制奠定了理论基础、提供了技术支撑,对解决苯酚类和抗生素类新有机污染物问

· 1 ·

题具有重要的理论意义和应用价值。可为此类型有机物污染物深度处理技术的选取提供依据和参考,也可供从事污水处理、饮用水处理、环境科学和环境工程等相关领域的技术人员和研究人员,以及高等院校相关专业的师生参阅。

本书著者均任职于河南农业大学。其中,马双龙撰写第一章、第二章、第七章、第八章,共计12万字;黄岩撰写第二章、第三章,共计5万字;王竞侦撰写第四章、第六章,共计5万字;高博强撰写第五章、第六章,共计5万字;宋佳撰写第九章,共计5万字。本书研究成果是在国家自然科学基金面上项目(42377067)、河南省自然科学基金优秀青年基金项目(242300421148)、河南省科技攻关项目(232102320077)、河南省本科高校青年骨干教师培养计划(2023GGJS028)的支持下完成的,在此表示衷心感谢。

限于知识水平和时间,不妥和疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

著者

著者

2024年1月

著者

著者

著者

目 录

CONTENTS

前言

第一章 引言	1
第一节 污染物概况	3
第二节 传统污染物处理技术	3
第三节 过硫酸盐高级氧化技术	4
第四节 催化剂调控策略	4
第二章 测试方法与技术	11
一、形貌表征	13
二、X 射线衍射 (XRD) 表征	13
三、X 射线光电子能谱 (XPS) 表征	13
四、比表面积以及孔径分布表征	13
五、拉曼光谱分析	13
六、Zeta 电位的测定	14
七、衰减全反射-傅里叶变换红外光谱 (ATR-FTIR)	14
八、电化学测试	14
九、活性物种鉴定	16
第三章 多孔生物炭活化过二硫酸盐降解磺胺嘧啶的效能和机制	17
第一节 研究意义	19
第二节 研究内容与技术路线	20
第三节 催化剂物理化学性质表征结果与分析	20
一、SEM 和 TEM 结果与分析	20
二、基于碳质催化剂的比表面积以及孔径分布表征结果与分析	23
三、基于碳质催化剂的 XRD、XPS、拉曼光谱表征结果与分析	24
第四节 碳质催化剂/PDS 体系对有机污染物的去除	26
一、碳质催化剂-PDS 体系对 SDZ 的吸附与降解	26
二、碳质催化剂浓度对 SDZ 降解效率的影响	28

• 1 •

三、PDS 浓度对 SDZ 降解效率的影响	29
四、溶液初始 pH 对 SDZ 降解的影响	30
五、水中无机阴离子对 SDZ 去除率的影响	31
第五节 碳质催化剂活化 PDS 降解 SDZ 的机制探究	32
一、催化降解过程中活性氧物种的鉴别	32
二、SK-C/PDS 体系催化降解 SDZ 过程中活性位点的探究	34
第六节 催化降解过程中降解机制的探究	36
一、催化降解过程中电子传递机制存在的证明	36
二、催化降解过程中电子传递机制的探究	37
三、SK-C/PDS 体系对于酚类有机污染物的选择性降解	39
第七节 碳质催化剂 SK-C 具有最佳催化性能的原因	40
第八节 SK-C/PDS 降解 SDZ 的可能降解途径的确定	41
第四章 壳聚糖基生物炭活化过一硫酸盐降解对羟基苯甲酸的效能和机制	47
第一节 研究意义	49
第二节 研究内容与技术路线	49
第三节 催化剂物理化学性质表征结果与分析	50
一、基于壳聚糖多孔生物炭 SEM 和 TEM 表征结果	50
二、基于壳聚糖多孔生物炭拉曼表征结果	52
三、基于壳聚糖多孔生物炭 X 射线衍射表征结果	53
四、基于壳聚糖多孔生物炭比表面积以及孔径分布表征结果	53
五、基于壳聚糖多孔生物炭热重分析表征结果	54
六、基于壳聚糖多孔生物炭 X 射线光电子能谱表征结果	55
第四节 生物炭/PMS 氧化体系对有机污染物的去除	57
一、生物炭/PMS 氧化体系对 HBA 的降解与吸附	57
二、材料浓度对氧化降解的影响	58
三、HBA 浓度对氧化降解的影响	59
四、PMS 浓度对氧化降解的影响	59
五、溶液 pH 对氧化降解的影响	60
六、水中共存离子以及天然有机物对氧化降解的影响	61
七、PC800/PMS 对酚类污染物的选择性降解	62
第五节 生物炭活化 PMS 降解 HBA 的机制探究	62
一、活化降解过程中活性物种的探究	62
二、活化降解过程中活性位点的探究	64
第六节 催化降解过程中降解路径的探究	66
一、催化降解过程中存在电子传递机制的证明	66
二、催化降解过程中电子传递路径的探究	67

三、多孔生物炭电子传递能力的探究	68
第七节 PC800/PMS 体系的应用前景	69
一、PC800/PMS 对各种难降解有机污染物的去除	69
二、PC800/PMS 在实际水体环境中对有机污染物的去除	70
第五章 大豆秸秆生物炭活化过硫酸盐降解四环素的效能和机制	75
第一节 研究意义	77
第二节 研究内容	77
第三节 结果与讨论	78
一、大豆秸秆生物炭的形态学特征	78
二、大豆秸秆生物炭的结构信息	78
三、大豆秸秆生物炭的化学成分表征	81
四、大豆秸秆生物炭的电化学性质	82
五、大豆秸秆生物炭和过硫酸盐体系降解性能评价	83
六、SSB1000/PS 体系的应用性能	84
七、SSB1000/PS 体系降解四环素的机制探讨	86
第六章 单原子铁生物炭与纳米铁生物炭活化过一硫酸盐降解苯酚的效能和 机制差异	99
第一节 研究意义	101
第二节 研究内容与技术路线	101
第三节 狐尾藻基铁碳复合材料性能评价和分析方法	102
一、催化性能评价	102
二、分析方法	103
第四节 狐尾藻基铁碳复合材料活化 PMS 降解苯酚的性能与机制研究	103
一、材料的表征	103
二、催化性能评价	106
三、活性物种识别	108
四、材料的催化活化机制	112
第七章 磁性生物炭活化过一硫酸盐降解双酚 A 的效能和机制	117
第一节 研究意义	119
第二节 研究内容与技术路线	119
第三节 催化剂活化 PMS 降解 BPA	120
一、催化剂的吸附与降解	120
二、CoFe ₂ O ₄ /HPC 剂量对 BPA 去除率的影响	121
三、PMS 剂量对 BPA 去除率的影响	122

四、体系初始 pH 对 BPA 去除率的影响	123
五、体系温度对 BPA 去除率的影响	124
六、阴离子对 BPA 去除率的影响	124
七、腐殖酸对 BPA 去除率的影响	125
第四节 $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{HPC}$ 与 PMS 降解机制的研究	126
一、体系主导的活性氧物种的确定	126
二、BPA 降解机制分析	128
三、降解路径的确定	132
第五节 $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{HPC}$ 与 PMS 体系的应用	134
一、材料的磁性与重复利用性	134
二、不同水质对 BPA 降解的影响	135
三、对不同污染物的降解效果	137
第八章 铁碳比例改变定向调控负载铁生物炭活化过一硫酸盐的效能和机制	141
第一节 研究意义	143
第二节 研究内容与技术路线	143
第三节 结果与讨论	144
一、材料的表征	144
二、催化性能评价	147
三、催化剂剂量、PMS 剂量和温度的影响	149
四、阴离子和腐殖酸的影响	150
五、材料的催化活化机制	152
第九章 石墨化生物炭活化过硫酸盐降解磺胺嘧啶的效能和机制	161
第一节 研究意义	163
第二节 研究内容与技术路线	163
第三节 催化剂物理化学性质表征结果与分析	164
一、石墨化生物炭 SEM 和 TEM 表征结果	164
二、石墨化生物炭 XRD 结果	166
三、石墨化生物炭 XPS 表征结果	167
四、石墨化生物炭拉曼光谱表征结果	168
五、石墨化生物炭 BET 表征结果	169
第四节 生物炭/PDS 氧化体系对有机污染物的去除	170
一、生物炭/PDS 体系对 SDZ 的降解与吸附	170
二、钴物种在 PDS 降解 SDZ 体系中的作用	171
三、不同材料和 SDZ 浓度的影响	172
四、材料吸附能力与 PDS 活化能力的关系	173

五、水中共存离子及腐殖酸对氧化降解的影响	174
六、预混合试验	175
第五节 生物炭活化 PDS 降解 SDZ 机制探究	176
第六节 催化降解过程中降解路径的探究	179
一、催化降解过程中存在电子传递机制的证明	179
二、催化降解过程亚稳态复合物的探究	180
三、内球络合作用的证明	181
四、催化降解过程中存在单一电子传递机制的证明	181
第七节 构效关系分析	182
一、比表面积/总孔体积与 k_{obs} 的构效关系	182
二、探究含氧官能团对催化性能的贡献	183
三、石墨化程度与降解效果之间的相关性	183
四、电荷转移电阻与降解效果之间的相关性	185
五、电流密度及还原电位对降解效果的影响	186
第八节 SGB/PDS 体系的应用前景	187
一、SGB 和 PDS 体系对磺胺类污染物的选择性降解	187
二、SGB 和 PDS 体系对芳香族化合物的选择性降解	187
三、SGB 的重复利用性	188
四、SGB/PDS 在实际水体环境中对 SDZ 的去除	189
第九节 SGB/PDS 体系降解 SDZ 的中间产物	190
一、SGB/PDS 体系降解 SDZ 的中间产物及路径	190
二、SGB/PDS 体系降解 SDZ 的中间产物的生态毒性	192

图书在版编目 (CIP) 数据

生物炭过硫酸盐催化剂的环境应用 / 马双龙等著.

北京 : 中国农业出版社, 2025. 3. -- ISBN 978-7-109-33004-7

I. TQ424.1; X

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025AK6532 号

生物炭过硫酸盐催化剂的环境应用

SHENGWUTAN GUOLIU SUANYAN CUIHUAJI DE HUANJING YINGYONG

中国农业出版社出版

地址: 北京市朝阳区麦子店街 18 号楼

邮编: 100125

责任编辑: 刘 伟 冯英华

版式设计: 王 晨 责任校对: 吴丽婷

印刷: 中农印务有限公司

版次: 2025 年 3 月第 1 版

印次: 2025 年 3 月北京第 1 次印刷

发行: 新华书店北京发行所

开本: 787mm×1092mm 1/16

印张: 13 插页: 2

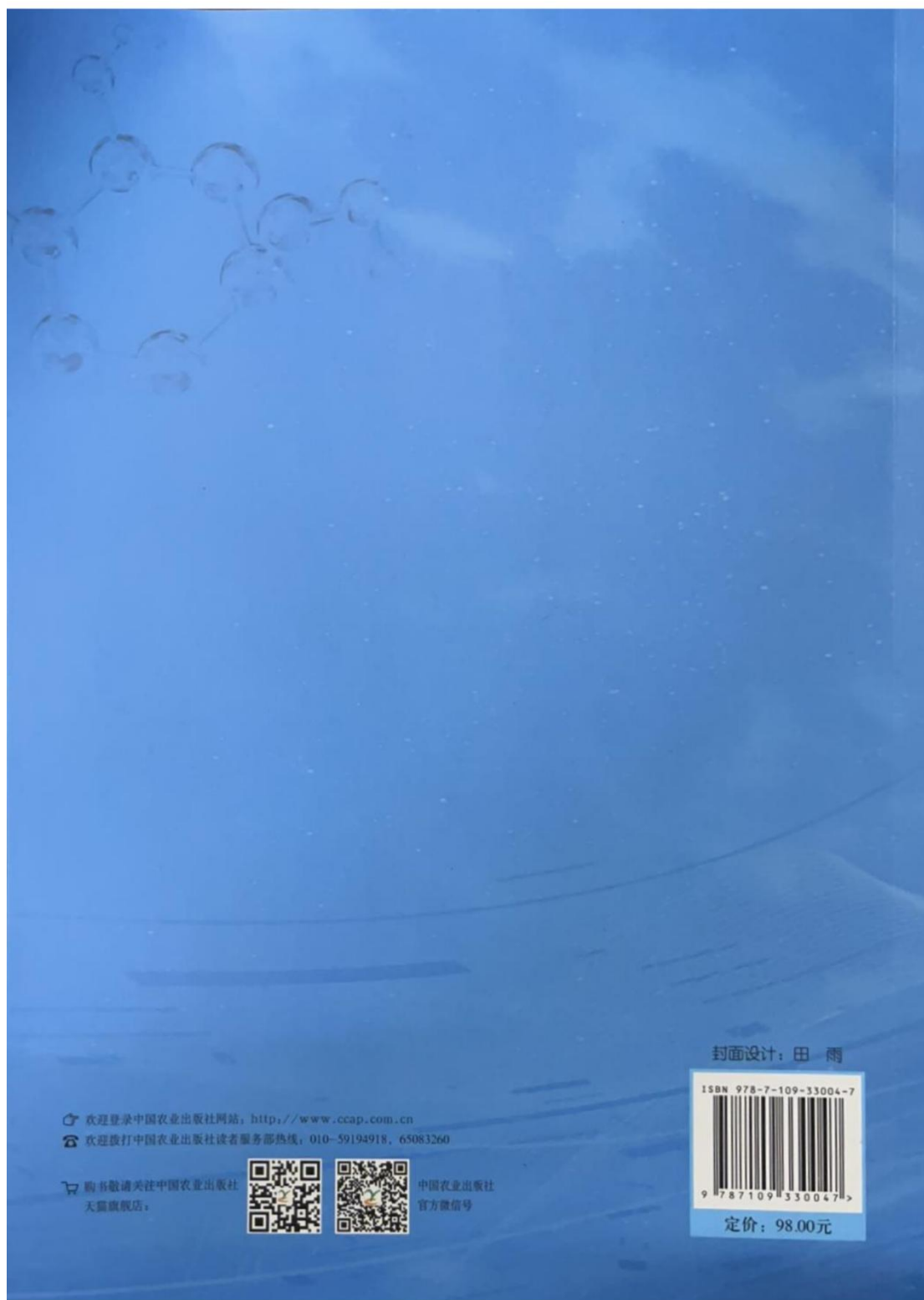
字数: 320 千字

定价: 98.00 元

版权所有·侵权必究

凡购买本社图书, 如有印装质量问题, 我社负责调换。

服务电话: 010-59195115 010-59194918



封面设计：田 雨

🔗 欢迎登录中国农业出版社网站：<http://www.ccap.com.cn>
☎ 欢迎拨打中国农业出版社读者服务部热线：010-59194918、65083260

🛒 购书敬请关注中国农业出版社
天猫旗舰店：



中国农业出版社
官方微信号



国图首页 天津首页 登录 注册 帮助

天津

生物炭过硫酸盐催化剂的环境应用

全部 | 图书 | 古文献 | 论文 | 期刊报纸 | 多媒体 | 缩微文献 | 文档 | 词条

高级检索

联邦检索

搜索热词榜

生物炭过硫酸盐催化剂的环境应用

文献类型: 专著

责任者: 马双龙

出版、发行者: 中国农业出版社

出版发行时间: 2025

来源数据库: 馆藏中文资源

分享到:

文献传递

图书

详细信息

摘要

馆藏信息

所有责任者: 马双龙

标引号: ISBN: 978-7-109-33004-7

出版、发行地: 北京

题名、责任者附注: 著者还有: 黄岩、宋佳、王宽欣、高博强

关键词: 活性炭--硫酸盐--催化剂--应用--研究

语种: Chinese 汉语

分类: 中国分类: TQ424.1

载体形态: 195页

延伸阅读

到百度中查看相关资源

暂无封面

检索结果

查看详情

CIP检索号

2025AK6532

ISBN

978-7-109-33004-7

正书名

生物炭过硫酸盐催化剂的环境应用

丛书名

出版单位

中国农业出版社

出版地

北京

作者

马双龙, 黄世, 宋佳, 王雅洁, 高修强 著

分册名

定价 (元)

98

中国法分类

TQ424.1; X

内容提要

为了解决原始生物炭活化过硫酸盐降解有机污染物效率低下和机制不清的问题, 笔者将自己在生物炭过硫酸盐活化研究方面取得的成果进行总结, 系统阐述生物炭活化结构调控以增强催化活性这一目标, 系统开展了新型生物炭的研制和有机污染物降解性能评价等工作, 针对生物炭改性、比表面积、孔隙率、官能团和过硫酸盐活化性能与催化环境了一系列创新性工作, 针对生物炭活化过硫酸盐催化降解的机理提出了大量新颖的观点和论述。本书为生物炭过硫酸盐催化剂的定向研制和活性生物炭的降解机理具有重要的理论意义和应用价值。

出版时间

2024.12

分册号

正文语种

主题词

活性炭; 过硫酸盐; 催化剂; 应用; 环境保护; 研究

版权页

打印

图书在版编目(CIP)数据

生物炭过硫酸盐催化剂的环境应用 / 马双龙等著. — 北京: 中国农业出版社, 2024.12. — ISBN 978-7-109-33004-7
I. TQ424.1; X
中国国家标准书号: 2025AK6532号

中国农业出版社

常见问题

使用帮助

快速入口

数据检索

图书推荐

专题数据

出版单位

联系我们

咨询电话: 010-58689941, 010-58689915, 010-58689912
技术支持: 010-58689957, 010-58689903
工作时间: 09:00-11:30 14:00-17:00(工作日)
地址: 北京市东城区东直门内大街10号

微信小程序

7. 论文首页

Journal of Hazardous Materials 471 (2024) 134422



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Hazardous Materials

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jhazmat



From waste corn straw to graphitic porous carbon: A trade-off between specific surface area and graphitization degree for efficient peroxydisulfate activation

Xiaodan Tang^a, Tingting Dong^a, Mengya Wang^a, Shuanglong Ma^{a,*}, Shengjun Xu^b, Jingzhen Wang^a, Boqiang Gao^a, Yan Huang^a, Qiuyun Yang^c, Dangling Hua^{a,*,}, Sihui Zhan^d

^a College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, PR China

^b Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, 18 Shuangqing Road, Haidian District, Beijing 100085, PR China

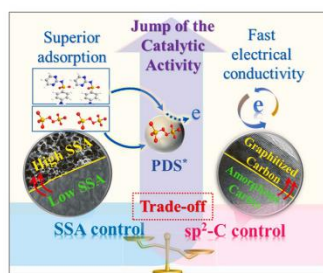
^c College of Agronomy, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, PR China

^d Key Laboratory of Pollution Processes and Environmental Criteria (Ministry of Education), College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, PR China

HIGHLIGHTS

- A series of graphitic porous carbon were fabricated.
- The sufficient SSA of catalyst accelerated its affinity to PDS and SDZ.
- The appropriate graphitization degree ensured the reinforced electron transfer rate.
- Reactive complexes were the foremost active species for catalytic oxidation.
- The multivariate linear regression model was established.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Keywords:

Fenton-like reaction
Graphitic porous carbon
Graphitization degree
Electron transfer pathway

ABSTRACT

Electron transfer pathways have been verified as overriding regimes when peroxydisulfate (PDS) was activated by porous carbon. The incorporation of graphitic structure into carbon matrix was favorable to the rapid electron transfer, but excessive graphitization would deteriorate the specific surface area (SSA), weakening the catalytic performance. The reasonable trade-off between SSA and graphitization degree was necessary and challenging for the preparation of efficient carbon based PS-activators. Herein, a series of graphitic porous carbon with discrepant SSA and graphitic structure were fabricated. The incorporation of graphitization tracks into ultra-thin edges on porous carbon film was verified by multifarious structural characterization. After trade-off, the optimum catalyst exhibited superior catalytic performance with degradation rate constant (k_{obs}) exceeding that of ungraphitized precursor by up to 16.0 times. Mechanistic investigations substantiated that the sufficient SSA of catalyst provided favorable conditions for its affinity towards PDS and sulfadiazine (SDZ), resulting in the

* Corresponding authors.

E-mail addresses: shuanglongma168@163.com (S. Ma), collegethua@163.com (D. Hua).

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134422>

Received 10 February 2024; Received in revised form 14 April 2024; Accepted 24 April 2024

Available online 25 April 2024

0304-3894/© 2024 Elsevier B.V. All rights reserved.

groups could barely be removed in GPC2-1000/PDS system, while the removal efficiency of SDZ, bisphenol A (BPA) and phenol with electron-rich groups was obviously improved. This phenomenon showed that GPC2-1000/PDS system was inclined to selectively oxidize electron-rich contaminants. The feasibility of GPC/PDS systems was evaluated in multiple water matrices including tap water, river water (Jialu River, Zhengzhou, China), lake water (Longzi Lake, Zhengzhou, China) and secondary sewage effluent (Matougang Wastewater Treatment Plant, Zhengzhou, China). The hardly weakened removal ratio (> 94.0%) suggested the wide water matrix universality in GPC2-1000/PDS system.

The good reusability of catalysts for SDZ decontamination could be verified by the fact that the SDZ degradation efficiencies could be readily recovered after three consecutive runs (i.e. from 45.2% to 90.8% in GPC2-1000/PDS and from 14.9% to 87.4% in the GPC3-900/PDS system) by treating the used catalysts via secondary annealing (Figs. S26 and 6b). A continuous flow reactor was utilized to evaluate the stability of catalysts (Fig. 6c). In comparison with the inferior removal effect of control column without catalyst packing, the SDZ degradation efficiency of catalyst-filled columns was maintained nearly 100% throughout the continuous operation of SDZ solution for 18 h (Fig. 6d), reflecting the distinguished purification ability and strong durability of GPC2-1000 and GPC3-900.

4. Conclusions

In summary, a variety of structural characterization parameters (e.g., graphitization degree (g), average interlayer spacing (d_{002}) and the amount of sp^2 -C atoms) directly and quantitatively uncovered that the catalytic graphitization strategy facilitated the crystallite growth, converting disordered amorphous carbon into ordered graphitic structure. More specifically, it was observed in TEM images that the graphitization tracks were skillfully constructed into ultra-thin edges on porous carbon film. The GPC2-1000 exhibited superior catalytic performance (with k_{obs} sharply exceeding that of ungraphitized PC2 by 16.0 times), good anti-interference performance (with brilliant adaptability to anions/HA, diverse water quality) and intrinsic catalytic stability (with 100% SDZ removal during 18 h long-term degradation experiment). Mechanistic investigations substantiated that the electron-transfer regime played a decisive role in SDZ oxidation, and $S_2O_8^{2-}$ complexes were the foremost reactive species. The incorporation of graphitic structure on porous carbon precursor endowed GPC2-1000 with sufficient SSA and appropriate graphitization degree, guaranteeing the superior affinity of catalyst towards PDS/SDZ (reflected in adsorption test) and reinforced electron transfer rate (reflected in lower R_{ct} measured by EIS), accordingly boosting the catalytic performance for electron transfer pathway-dominated SDZ elimination. The synergism of SSA and graphitization degree was further confirmed by a multivariate linear regression model ($R^2 = 0.884$), which preliminarily provided basis for the trade-off between SSA and graphitization degree to construct efficient catalysts for PS activation.

Environmental implication

SDZ has been detected in aquatic environment, and its long-term accumulation can cause irreversible damage to ecosystem and human health. Porous carbon was verified as promising catalyst in persulfate activation for SDZ removal. Herein, the incorporation of graphitic structure into porous carbon was proved to further promote its catalytic performance, but excessive graphitization would deteriorate it instead. After trade-off between specific surface area and graphitization degree, the optimum catalyst exhibited superior catalytic performance with degradation rate exceeding that of ungraphitized precursor by 16.0 times. This work provided basis to construct efficient catalysts for SDZ removal.

CRediT authorship contribution statement

Xiaodan Tang: Writing – review & editing, Writing – original draft, Visualization, Validation, Methodology, Investigation, Formal analysis, Data curation, Conceptualization. **Shuanglong Ma:** Writing – review & editing, Visualization, Supervision, Software, Funding acquisition, Conceptualization. **Dangling Hua:** Writing – review & editing, Writing – original draft, Conceptualization. **Sihui Zhan:** Visualization, Conceptualization. **Tingting Dong:** Investigation. **Mengya Wang:** Investigation. **Shengjun Xu:** Supervision, Resources, Conceptualization. **Yan Huang:** Writing – review & editing, Writing – original draft, Funding acquisition. **Qiuyun Yang:** Writing – original draft, Visualization. **Jingzhen Wang:** Writing – review & editing, Writing – original draft, Funding acquisition. **Boqiang Gao:** Writing – review & editing, Writing – original draft, Funding acquisition.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Data Availability

Data will be made available on request.

Acknowledgements

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (42377067), Young backbone teachers program of Henan Province (2023GGJS028), the Scientific and Technological Project of Henan Province (232102320077), the Natural Science Foundation of Henan Province (232300420374, 232300420377), the Excellent Youth Science Foundation of Henan Province (242300421148) and the China Postdoctoral Science Foundation (2023M730988).

Appendix A. Supporting information

Supplementary data associated with this article can be found in the online version at [doi:10.1016/j.jhazmat.2024.134422](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134422).

References

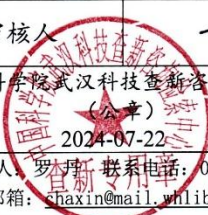
- [1] Chen, Y., Wang, C., Wu, Z., Xiong, Y., Xu, Q., Yu, S., Jiang, H., 2015. From bimetallic metal-organic framework to porous carbon: high surface area and multicomponent active dopants for excellent electrocatalysis. *Adv Mater* 27, 5010–5016. <https://doi.org/10.1002/adma.201502315>.
- [2] Cui, J., Li, L., Shao, S., Gao, J., Wang, K., Yang, Z., Zeng, S., Diao, C., Zhao, Y., Hu, C., 2022. Regulating the metal-support interaction: Double jump to reach the efficiency apex of the Fe-N_x-catalyzed Fenton-like reaction. *ACS Catal* 12, 14954–14963. <https://doi.org/10.1021/acscatal.2c04287>.
- [3] Deck, C., Vecchio, K., 2006. Prediction of carbon nanotube growth success by the analysis of carbon-catalyst binary phase diagrams. *Carbon* 44, 267–275. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2005.07.023>.
- [4] Demir, M., Kahveci, Z., Aksoy, B., Palapati, N., Subramanian, A., Cullinan, H., El-Kaderi, H., Harris, C., Gupta, R., 2015. Graphitic biocarbon from metal-catalyzed hydrothermal carbonization of lignin. *Ind Eng Chem Res* 54, 10731–10739. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b02614>.
- [5] Deng, J., Xiong, T., Xu, F., Li, M., Han, C., Gong, Y., Wang, H., Wang, Y., 2015. Inspired by bread leavening: one-pot synthesis of hierarchically porous carbon for supercapacitors. *Green Chem* 17, 4053–4060. <https://doi.org/10.1039/C5GC00523J>.
- [6] Dou, J., Cheng, J., Lu, Z., Tian, Z., Xu, J., He, Y., 2022. Biochar co-doped with nitrogen and boron switching the free radical based peroxydisulfate activation into the electron-transfer dominated nonradical process. *Appl Catal B Environ* 301, 120832. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2021.120832>.
- [7] Dou, J., Tang, Y., Lu, Z., He, G., Xu, J., He, Y., 2023. Neglected but efficient electron utilization driven by biochar-coactivated phenols and peroxydisulfate: polyphenol accumulation rather than mineralization. *Environ Sci Technol* 57, 5703–5713. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c00022>.
- [8] Franklin, R., 1951. Crystallite growth in graphitizing and non-graphitizing carbons. *Proc R Soc A* 209, 196–218. <https://doi.org/10.1098/rspa.1951.0197>.

检索报告

编号: 2024-LD-0132-73

委托单位: 河南农业大学					
委托人: 马双龙					
检索要求: 发表通讯作者论文“From waste corn straw to graphitic porous carbon: A trade-off between specific surface area and graphitization degree for efficient peroxydisulfate activation” 被 SCIE 收录与相关期刊 2023 年升级版分区情况					
检索结果					
数据库		论文收录			
SCIENCE CITATION INDEX-EXPANDED		1			
数据库		2023 年大类分区情况			
中国科学院文献情报中心期刊分区表升级版	分区	1	2	3	4
	篇数	1	0	0	0
*相关期刊影响因子和小类分区见附件。					
声明	委托人接受本证明, 视为已对本证明所列论文逐篇核对, 确认无误, 若有不实, 由委托人承担全部责任。				
检索人	罗丹	审核人		[Signature]	
中国科学院武汉科技查新咨询检索中心 (公章) 2024-07-22					

联系人: 罗丹 联系电话: 027-87197719
邮箱: shaxin@mail.whlib.ac.cn
主页: www.whlib.ac.cn
地址: 武汉市武昌区小洪山西 25 号



检索附件：SCIE 收录论文及相关期刊 2023 年中国科学院文献情报中心升 级版分区情况

第 1 条，共 1 条

标题: From waste corn straw to graphitic porous carbon: A trade-off between specific surface area and graphitization degree for efficient peroxydisulfate activation

作者: Tang, XD (Tang, Xiaodan); Dong, TT (Dong, Tingting); Wang, MY (Wang, Mengya); Ma, SL (Ma, Shuanglong); Xu, SJ (Xu, Shengjun); Wang, JZ (Wang, Jingzhen); Gao, BQ (Gao, Boqiang); Huang, Y (Huang, Yan); Yang, QY (Yang, Qiuyun); Hua, DL (Hua, Dangling); Zhan, SH (Zhan, Sihui)

来源出版物: JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS 卷: 471 文献号: 134422 DOI:

10.1016/j.jhazmat.2024.134422 Early Access Date: APR 2024 Published Date: 2024 JUN 5

Web of Science 核心合集中的“被引频次”: 2

被引频次合计: 2

入藏号: WOS:001236604700001

PubMed ID: 38677118

语言: English

文献类型: Article

地址: [Tang, Xiaodan; Dong, Tingting; Wang, Mengya; Ma, Shuanglong; Wang, Jingzhen; Gao, Boqiang; Huang, Yan; Hua, Dangling] Henan Agr Univ, Coll Resources & Environm, Zhengzhou 450002, Peoples R China.

[Xu, Shengjun] Chinese Acad Sci, Res Ctr Environm Sci, 18 Shuangqing Rd, Beijing 100085, Peoples R China.

[Yang, Qiuyun] Henan Agr Univ, Coll Agron, Zhengzhou 450002, Peoples R China.

[Zhan, Sihui] Nankai Univ, Coll Environm Sci & Engr, Key Lab Pollut Proc & Environm Criteria, Minist Educ, Tianjin 300071, Peoples R China.

通讯作者地址: Ma, SL; Hua, DL (通讯作者), Henan Agr Univ, Coll Resources & Environm, Zhengzhou 450002, Peoples R China.

电子邮件地址: shuanglongma168@163.com; collegehua@163.com

Web of Science Index: Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)

研究方向: Engineering; Environmental Sciences & Ecology

IDS 号: ST1K0

ISSN: 0304-3894

eISSN: 1873-3336

期刊 2023 年影响因子为: 12.2

期刊 2023 年中国科学院文献情报中心升级版分区情况如下:

JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS

刊名	JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS
年份	2023
ISSN	0304-3894
Review	否
Open Access	否
Web of Science	SCIE

学科	分区 Top 期刊
大类 环境科学与生态学	1 是
小类 ENGINEERING, ENVIRONMENTAL 工程: 环境	1 -
ENVIRONMENTAL SCIENCES 环境科学	1

(END)



The mechanism differences between sulfadiazine degradation and antibiotic resistant bacteria inactivation by iron-based graphitic biochar and peroxydisulfate system

Yanbing Ma^{a,1}, Shengjun Xu^{b,1}, Yan Huang^{a,*}, Jing Du^c, Jingzhen Wang^a, Boqiang Gao^a, Jia Song^a, Shuanglong Ma^{a,*}, Hanzhong Jia^d, Sihui Zhan^e

^a College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

^b Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, 18 Shuangqing Road, Haidian District, Beijing 100085, China

^c School of Public Health, Xinxiang Medical University, Xinxiang 453003, China

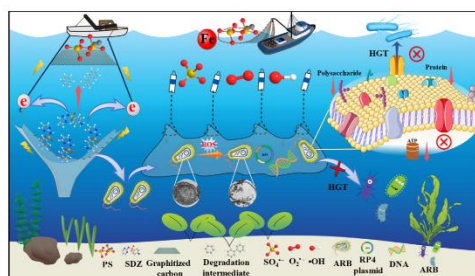
^d College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China

^e College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300350, China

HIGHLIGHTS

- The elimination mechanism difference between antibiotic and ARB was revealed.
- The graphitic structure promotes electron transfer from SDZ to PS.
- Generated free radicals by iron-activated PS were crucial for disinfection.
- The horizontal transfer risk of ARGs can be obviously reduced.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Keywords:

Iron-based biochar
Graphitic structure
Sulfadiazine degradation
Antibiotic resistant bacteria
Conjugative transfer

ABSTRACT

In this study, the activation of peroxydisulfate (PS) by K_2FeO_4 -activation biochar (KFeB) and acid-picking K_2FeO_4 -activation biochar (AKFeB) was investigated to reveal the mechanism differences between iron site and graphitic structure in sulfadiazine (SDZ) degradation and ARB inactivation, respectively. KFeB/PS and AKFeB/PS systems had similar degradation property towards SDZ, but only KFeB/PS system showed excellent bactericidal property. The mechanism study demonstrated that dissolved SDZ was degraded through electron transfer pathway mediated by graphitic structure, while suspended ARB was inactivated through free radicals generated by iron-activated PS, accompanied by excellent removal on antibiotic resistance genes (ARGs). The significant decrease in conjugative transfer frequency indicated the reduced horizontal gene transfer risk of ARGs after treatment with KFeB/PS system. Transcriptome data suggested that membrane protein channel disruption

* Corresponding authors.

E-mail addresses: yanhuang@henau.edu.cn (Y. Huang), shuanglongma168@163.com (S. Ma).

¹ These authors contributed equally to this work.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134907>

Received 1 March 2024; Received in revised form 31 May 2024; Accepted 12 June 2024

Available online 13 June 2024

0304-3894/© 2024 Elsevier B.V. All rights are reserved, including those for text and data mining, AI training, and similar technologies.

atpI) also exhibited a downregulation, suggesting the inhibition of ATP synthesis. This phenomenon was mainly because the energy needed by ATP synthesis from phosphoric acid (Pi) and adenosine diphosphate (ADP), were supplied reductively due to the blocked movement of protons through enzyme channels and restricted reaction between O₂ and protons. In Fig. S30, the relationship between conjugative transfer frequency and ATP content level during disinfection was established showing that ATP level was positively correlated with the conjugative transfer frequency. Thus, KFeB/PS system can effectively inhibit the conjugative transfer by decreasing ATP supply during inactivation process.

3.5. Practical application of continuous flow reactor

To evaluate potential practicability of KFeB and AKFeB, continuous flow reactors consisting of AKFeB/PS and KFeB/PS were used to degrade SDZ and inactivate ARB, respectively (Fig. 9a, b, Text S12). During continuous reaction for 30 h, KFeB/PS and AKFeB/PS showed excellent degradation ability for SDZ with the degradation efficiency of 92 % and 100 %, respectively (Fig. 9c), reflecting the high catalytic activity and robust durability of KFeB and AKFeB. Moreover, KFeB exhibited stability and persistence in inactivating ARB during continuous reaction of 11 h (Fig. 9d). The plate counting pictures also demonstrated that KFeB had the excellent inactivation performance (Fig. 9e). To sum up, the developed catalysts had broad practical application prospects in large-scale antibiotic degradation and ARB inactivation.

4. Conclusions

In this study, K₂FeO₄-activation biochar (KFeB) and acid-picking K₂FeO₄-activation biochar (AKFeB) were synthesized to analyze the mechanism differences between iron site and graphitic structure in SDZ degradation and ARB inactivation. Both KFeB/PS and AKFeB/PS systems showed excellent SDZ degradation effect, while only KFeB/PS system had a remarkable ARB inactivation ability. Mechanism exploration demonstrated that SDZ was degraded through graphitic structure mediated electron transport pathway, and ARB was inactivated via free radicals generated by iron-activated PS. This was attributed to the fact that soluble SDZ can be adsorbed on catalyst to promote SDZ degradation, and suspended ARB cannot be adsorbed but can be inactivated by collision with radicals on the catalyst. The structure-effect relationships explained that AKFeB with the lowest R_{ct} and highest open-circuit potentiometric exhibited the most significant SDZ degradation performance by activating PS. Moreover, due to the continuous attack of the generated ROS towards ARB, KFeB/PS system can reduce the ARGs horizontal transfer risk by destructing cell membrane and inhibiting ATP synthesis. KFeB/PS and AKFeB/PS system had satisfactory pollutant removal effect in continuous flow experiments, exhibiting great application potentials in the field of wastewater purification. The proposed mechanism difference of SDZ degradation and ARB inactivation mediated by graphitic structures and Fe species will provide a clear direction for accurately designing biochar-based catalysts with excellent PS activating capacity for application in classified and collaborative control of dissolved organic and suspended pathogenic bacteria pollutants.

Environmental implication

This research revealed the mechanism differences between iron site and graphitic structure of catalysts in SDZ degradation and ARB inactivation. The dissolved SDZ was degraded through electron transfer pathway mediated by graphitic structure, while suspended ARB inactivation through free radical pathway generated by iron-activated PS. Reactive oxygen species derived from PS activation not only led to ARB inactivation but also degraded ARGs, ultimately inhibiting the horizontal transfer of ARGs. Since the considerable pollution control pressures have been triggered by antibiotics and ARB, this work is helpful to

their classified and collaborative abatement by carbon-based catalysts driven persulfate advanced oxidation processes.

CRediT authorship contribution statement

Hanzhong Jia: Writing – review & editing, Investigation. **Sihui Zhan:** Writing – review & editing, Investigation. **Boqiang Gao:** Writing – review & editing, Investigation. **Jia Song:** Writing – review & editing, Investigation. **Yanbing Ma:** Writing – original draft, Visualization, Methodology, Investigation, Formal analysis, Data curation, Conceptualization. **Shuanglong Ma:** Writing – review & editing, Supervision, Resources, Methodology, Investigation, Conceptualization. **Jinge Du:** Writing – review & editing, Investigation. **Jingzhen Wang:** Writing – review & editing, Investigation. **Shengjun Xu:** Writing – review & editing, Investigation. **Yan Huang:** Writing – review & editing, Resources, Investigation, Funding acquisition.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Data Availability

Data will be made available on request.

Acknowledgement

This work was supported by National Natural Science Foundation of China (42377067), Excellent Youth Science Foundation of Henan Province (242300421148), Young backbone teachers program of Henan Province (2023GGJS028), Scientific and Technological Project of Henan Province (232102320077, 242102320181, 222102320041), Natural Science Foundation of Henan Province (232300420374, 232300420377), China Postdoctoral Science Foundation (2023M730988) and Outstanding Youth Fund of Henan Academy of Agricultural Sciences (2023JQ04).

Appendix A. Supporting information

Supplementary data associated with this article can be found in the online version at doi:10.1016/j.jhazmat.2024.134907.

References

- [1] Li, J., Ren, S., Qiu, X., Zhao, S., Wang, R., Wang, Y., 2022. Electroactive ultrafiltration membrane for simultaneous removal of antibiotic, antibiotic resistant bacteria, and antibiotic resistance genes from wastewater effluent. *Environ Sci Technol* 56, 15120–15129. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c00268>.
- [2] Zhang, Z., Zhang, Q., Wang, T., Xu, N., Lu, T., Hong, W., et al., 2022. Assessment of global health risk of antibiotic resistance genes. *Nat Commun* 13 (1), 1553. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29283-8>.
- [3] Wang, C., Calderon, D., Xiong, Y., Alkahtani, M., Bashawri, Y., Al Qarni, H., et al., 2022. Investigation of antibiotic resistance in hospital wastewater during the COVID-19 pandemic: Is the initial phase of the pandemic contributing to antimicrobial resistance? *Environ Sci Technol* 56, 15007–15018. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c01834>.
- [4] Chen, H., Zhang, M., 2013. Effects of advanced treatment systems on the removal of antibiotic resistance genes in wastewater treatment plants from Hangzhou, China. *Environ Sci Technol* 47, 8157–8163. <https://doi.org/10.1021/es401091y>.
- [5] Munir, M., Wong, K., Xagorarakis, I., 2011. Release of antibiotic resistant bacteria and genes in the effluent and biosolids of five wastewater utilities in Michigan. *Water Res* 45 (2), 681693. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.08.033>.
- [6] Li, F., Wang, P., Zhang, T., Li, M., Yue, S., Zhan, S., et al., 2023. Efficient removal of antibiotic resistance genes through 4f-2p-3d gradient orbital coupling mediated Fenton-like redox processes. *Angew Chem - Int Ed* 62 (47), 9. <https://doi.org/10.1002/anie.202313298>.
- [7] Huang, W., Xiao, S., Zhong, H., Yan, M., Yang, X., 2021. Activation of persulfates by carbonaceous materials: A review. *Chem Eng J* 418, 129297. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.129297>.

中国科学院武汉科技查新咨询检索中心

检索报告

编号: 2024-LD-0132-71

委托单位: 河南农业大学					
委托人: 马双龙					
检索要求: 发表通讯作者论文“The mechanism differences between sulfadiazine degradation and antibiotic resistant bacteria inactivation by iron-based graphitic biochar and peroxydisulfate system”被 SCIE 收录与相关期刊 2023 年升级版分区情况					
检索结果					
数据库		论文收录			
SCIENCE CITATION INDEX-EXPANDED		1			
数据库		2023 年大类分区情况			
中国科学院文献情报中心期刊分区表升级版	分区	1	2	3	4
	篇数	1	0	0	0
*相关期刊影响因子和小类分区见附件。					
声明	委托人接受本证明, 视为已对本证明所列论文逐篇核对, 确认无误, 若有不实, 由委托人承担全部责任。				
检索人	罗丹	审核人 杨			
中国科学院武汉科技查新咨询检索中心 (公章) 2024-07-22					

联系人: 罗丹 联系电话: 027-87197719
邮箱: chexin@mail.whlib.ac.cn
主页: www.whlib.ac.cn
地址: 武汉市武昌区小洪山西 25 号



检索附件：SCIE 收录论文及相关期刊 2023 年中国科学院文献情报中心升级版分区情况

第 1 条，共 1 条

标题: The mechanism differences between sulfadiazine degradation and antibiotic resistant bacteria inactivation by iron-based graphitic biochar and peroxydisulfate system

作者: Ma, YB (Ma, Yanbing); Xu, SJ (Xu, Shengjun); Huang, Y (Huang, Yan); Du, JG (Du, Jingge); Wang, JZ (Wang, Jingzhen); Gao, BQ (Gao, Boqiang); Song, J (Song, Jia); Ma, SL (Ma, Shuanglong); Jia, HZ (Jia, Hanzhong); Zhan, SH (Zhan, Sihui)

来源出版物: JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS 卷: 475 文献号: 134907 DOI:

10.1016/j.jhazmat.2024.134907 Published Date: 2024 AUG 15

Web of Science 核心合集中的“被引频次”: 1

被引频次合计: 1

入藏号: WOS:001255248500001

PubMed ID: 38878442

语言: English

文献类型: Article

地址: [Ma, Yanbing; Huang, Yan; Wang, Jingzhen; Gao, Boqiang; Song, Jia; Ma, Shuanglong] Henan Agr Univ, Coll Resources & Environm, Zhengzhou 450002, Peoples R China.

[Xu, Shengjun] Chinese Acad Sci, Res Ctr Ecoenvironm Sci, 18 Shuangqing Rd, Beijing 100085, Peoples R China.

[Du, Jingge] Xinxiang Med Univ, Sch Publ Hlth, Xinxiang 453003, Peoples R China.

[Jia, Hanzhong] Northwest A&F Univ, Coll Nat Resources & Environm, Yangling 712100, Peoples R China.

[Zhan, Sihui] Nankai Univ, Coll Environm Sci & Engn, Tianjin 300350, Peoples R China.

通讯作者地址: Huang, Y; Ma, SL (通讯作者) Henan Agr Univ, Coll Resources & Environm, Zhengzhou 450002, Peoples R China.

电子邮件地址: yanhuang@htn.cn; shuanglongma168@163.com

Web of Science Index, Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)

研究方向: Engineering; Environmental Sciences & Ecology

IDS 号: WM3N5

ISSN: 0304-3894

eISSN: 1873-3336

期刊 2023 年影响因子为: 12.2

期刊 2023 年中国科学院文献情报中心升级版分区情况如下:

JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS

刊名	JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS
年份	2023
ISSN	0304-3894
Review	否
Open Access	否
Web of Science	SCIE

学科	分区 Top 期刊
大类 环境科学与生态学	1 是
小类 ENGINEERING, ENVIRONMENTAL 工程: 环境	1
ENVIRONMENTAL SCIENCES 环境科学	1

(END)



Efficient inactivation of antibiotic resistant bacteria by iron-modified biochar and persulfate system: Potential for controlling antimicrobial resistance spread and mechanism insights

Ran Duan^{a,b}, Shuanglong Ma^{a,*}, Yanbing Ma^a, Shengjun Xu^c, Guangxin Li^a, Haichao Fu^a, Xujin Wu^b, Jingge Du^d, Peng Zhao^{a,*}

^a Key Laboratory of Soil Pollution Control and Remediation of Henan Province, College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

^b Henan Key Laboratory of Quality & Safety and Processing for Agro-Products, Institute of Quality and Safety for Agro-products, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China

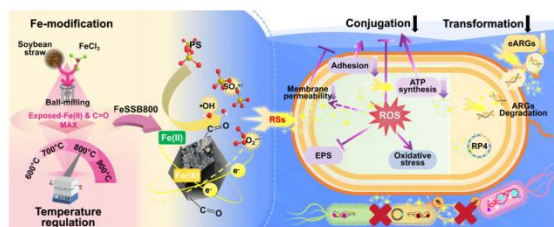
^c Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, 18 Shuangqing Road, Haidian District, Beijing 100085, China

^d School of Public Health, Xinxiang Medical University, Xinxiang 453003, China

HIGHLIGHTS

- Eco-friendly Fe-modified soybean straw biochar synthesized for PS activation.
- Surface Fe(II) and C=O groups drive PS activation.
- Complete ARB inactivation by FeSSB800/PS via free-radical mechanism.
- HGT was suppressed by inhibited transformation and conjugation.
- FeSSB800/PS system offered a promising approach to combat environmental AMR spread.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Keywords:

Iron-modified biochar
Persulfate-based advanced oxidation processes
Antibiotic resistant bacteria inactivation
Inhibition mechanism

ABSTRACT

Antimicrobial resistance (AMR) is a critical global health threat, further intensified by the widespread dissemination of plasmid-encoded antibiotic resistance genes (ARGs), which poses a significant challenge to the "One Health" concept. Persulfate-based advanced oxidation processes (PS-AOPs) have emerged as effective disinfection methods, capable of degrading antibiotics, inactivating bacteria, and eliminating ARGs, whereas their efficacy towards blocking ARGs horizontal transfer remains elusive. This work constructed a series of Fe-modified soybean straw biochar (FeSSB) as persulfate (PS) activators through Fe-modification and temperature regulation. Among the tested systems, FeSSB800/PS achieved complete inactivation of antibiotic resistant bacteria (ARB) with a 7.04-log reduction within 60 min, outperforming others. FeSSB800, featuring the highest exposed-Fe(II) sites, most C=O groups, and lowest charge transfer resistance, obtaining optimal PS activation and reactive species generation, which caused irreversible damage to ARB cells and significantly inhibited the transformation and conjugation efficiency of plasmid RP4. The inhibition mechanism is driven by the aggressive action of free

* Corresponding authors.

E-mail addresses: shuanglongma@henau.edu.cn (S. Ma), zhaopeng@henau.edu.cn (P. Zhao).

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.138182>

Received 12 January 2025; Received in revised form 3 April 2025; Accepted 4 April 2025

Available online 5 April 2025

0304-3894/© 2025 Published by Elsevier B.V.

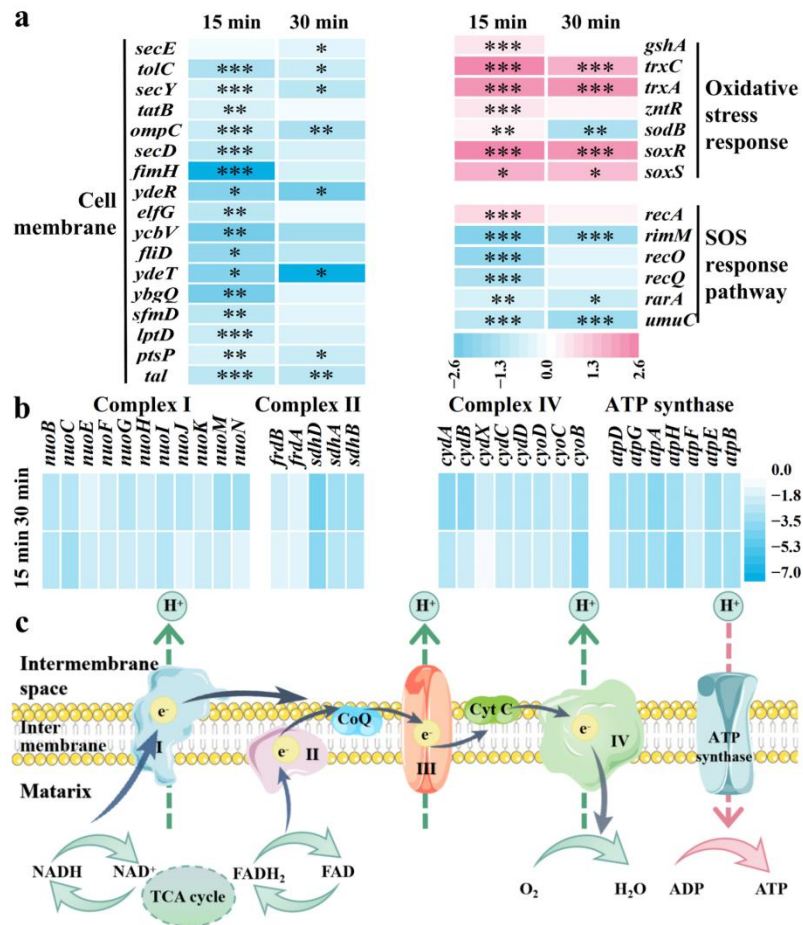


Fig. 7. Fold changes in gene expression after 15 and 30 min exposure: (a) cell membrane, oxidative stress, SOS response, and (b) ATP production. (c) Schematic image of electron transport chains in *E. coli*.

Resources. Fu Haichao: Writing – review & editing. Du Jing: Software, Methodology. Wu Xujin: Writing – review & editing. Zhao Peng: Writing – review & editing, Project administration, Funding acquisition. Foundation of China (42377067), Excellent Youth Science Foundation of Henan Province (242300421148), Young Backbone Teachers Program of Henan Province (2023GGJS028), and Scientific and Technological Project of Henan Province (242102320104, 242102320137).

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgement

This work was supported by National Key Research and Development Program of China (2021YFD1700900), National Natural Science

Appendix A. Supporting information

Supplementary data associated with this article can be found in the online version at [doi:10.1016/j.jhazmat.2025.138182](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.138182).

Data Availability

Data will be made available on request.

论文收录引用

检索报告

(检索日期: 2025-07-17, 检索责任人: 刘明杰)

委托人: 段然
委托人单位: 河南农业大学
发表论文单位: Henan Agr Univ; Henan Acad Agr Sci
检索要求: 段然发表的论文被 SCI-E 收录
检索时段: 2025 年至今

检索结果

数据库	论文收录
Science Citation Index Expanded (SCI-E)	1 篇

声明: 本次检索根据段然提供的论文目录, 并按其提出的要求进行检索, 详情见附件, 若有不实, 由委托人承担全部责任。

武汉大学图书馆
检索鉴证专用章
二零二五年七月十七日

《科学引文索引》(SCI-E) 收录 1 篇

第 1 条, 共 1 条

标题:Efficient inactivation of antibiotic resistant bacteria by iron-modified biochar and persulfate system: Potential for controlling antimicrobial resistance spread and mechanism insights
作者:Duan, R(Duan, Ran);Ma, SL(Ma, Shuanglong);Ma, YB(Ma, Yanbing);Xu, SJ(Xu, Shengjun);Li, GX(Li, Guangxin);Fu, HC(Fu, Haichao);Wu, XJ(Wu, Xujin);Du, JG(Du, Jinge);Zhao, P(Zhao, Peng);
来源出版物:JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS 卷:492 文献号:138182 DOI:10.1016/j.jhazmat.2025.138182 出版时间:JUL 15 2025
入藏号:WOS:001466093300001
文献类型:Article
地址:
[Duan, Ran; Ma, Shuanglong; Ma, Yanbing; Li, Guangxin; Fu, Haichao; Zhao, Peng] Henan Agr Univ, Coll Resources & Environm, Key Lab Soil Pollut Control & Remediat Henan Prov, Zhengzhou 450002, Peoples R China.
[Duan, Ran; Wu, Xujin] Henan Acad Agr Sci, Inst Qual & Safety Agroprod, Henan Key Lab Qual & Safety & Proc Agroprod, Zhengzhou 450002, Peoples R China.
[Xu, Shengjun] Chinese Acad Sci, Res Ctr Ecoenvironm Sci, 18 Shuangqing Rd, Beijing 100085, Peoples R China.
[Du, Jinge] Xinxiang Med Univ, Sch Publ Hlth, Xinxiang 453003, Peoples R China.
通讯作者地址:
Ma, SL; Zhao, P (corresponding author), Henan Agr Univ, Coll Resources & Environm, Key Lab Soil Pollut Control & Remediat Henan Prov, Zhengzhou 450002, Peoples R China.
电子邮件地址:shuanglongma@henau.edu.cn; zhaopeng@henau.edu.cn
IDS 号:11W9L
ISSN:0304-3894
Web Of Science 核心集中的“被引频次”:2
委托人贡献:首作者

期刊《J HAZARD MATER》2024 年的影响因子为 11.3, 五年影响因子为 12.4。

期刊《JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS》2025 年升级版的中科院期刊分区情况为:

刊名	JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS		
年份	2025		
ISSN	0304-3894		
Review	否		
Open Access	否		
	学科	分区	Top 期刊
大类	环境科学与生态学	1	是
小类	ENGINEERING, ENVIRONMENTAL 工程: 环境	1	-
小类	ENVIRONMENTAL SCIENCES 环境科学	1	-

Electron Transfer Expressway from Peroxydisulfate to O₂ Mediated by Diatomic Sites Accelerating ¹O₂ Production for Disinfection

Wushuai Qi,[▽] Xiaodan Tang,[▽] Yan Huang,* Shuanglong Ma,* Jingzhen Wang, Boqiang Gao, Jiale Pang, Jinge Du, Pengfei Wang, Sihui Zhan, Bing-Jie Ni, and Shengjun Xu*

Cite This: *Environ. Sci. Technol.* 2025, 59, 15670–15679

Read Online

ACCESS |

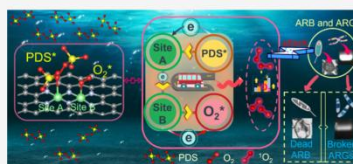
Metrics & More

Article Recommendations

Supporting Information

ABSTRACT: Current studies on high-density single-atom catalysts (SACs) with the coexistence of single atomic and diatomic sites have ignored the underlying contribution of diatomic sites for persulfate-based disinfection technology. Herein, high-density atomic Ni anchored on N-doped carbon (Ni₁–NC) containing abundant Ni diatomic (Ni₂–N₆) sites, was fabricated, exhibiting superior peroxydisulfate (PDS) activation to generate singlet oxygen (¹O₂) for disinfection compared with other M₁–NC, due to the fact that Ni₁–NC possessed the highest negative crystal orbital Hamilton population value. A dynamic promotion effect toward disinfection, relying on the level of external O₂ was discovered. This promotion effect was achieved through the cooperation of PDS and O₂ which was mediated by Ni₂–N₆ sites bridging electron transfer from PDS to O₂, thereby suppressing the energy barriers of rate-determining steps. Disinfection with decreased horizontal gene transfer was achieved by disrupting coenzyme Q₄ inhibiting adenosine triphosphate synthesis, and degrading extracellular polymeric substances via ¹O₂. A continuous flow system based on a Ni₁–NC@sponge fixed reaction bed displayed persistent disinfection for 336 h under aeration. This work presents a transboundary integrated PDS disinfection strategy combining physical aeration and chemical oxidation through tailoring diatomic sites in SACs.

KEYWORDS: diatomic sites, peroxydisulfate, antibiotic resistant bacteria, disinfection



INTRODUCTION

The continuous overuse and misuse of antibiotics have led to the proliferation of antibiotic-resistant bacteria (ARB) and antibiotic resistance genes (ARGs).^{1–5} Traditional water disinfection techniques have exposed apparent deficiencies, such as the generation of carcinogenic disinfection byproducts during chlorination and ozonation,⁶ as well as the persistence of microbial resistance under ultraviolet irradiation.^{7,8} Heterogeneous persulfate-based advanced oxidation processes (PS-AOPs) employing biochar, nano zerovalent iron, sulfide nano zerovalent iron, Fe₃O₄@MoS₂ and iron-loaded biochar not only exhibit low PS activation efficiency and atomic utilization but also primarily achieve disinfection via free radical mechanisms, leading to inferior disinfection efficacy.^{8–13} Relatively to free radicals (such as SO₄^{•−}), singlet oxygen (¹O₂) exhibits stronger resistance to environmental interference due to its prolonged lifespan, broad pH tolerance, and robust selectivity.¹² Furthermore, the unoccupied π* orbital in ¹O₂ endows it with strong electrophilic capability, enabling it to efficiently attack bacteria by reacting with ¹O₂-sensitive cellular components.¹³ More importantly, there is a lack of corresponding antioxidant enzymes in cells to defend against ¹O₂ attack.¹⁴ Therefore, ¹O₂ can be expected to function as an excellent antibacterial agent.¹⁵ However, knowledge gaps about ¹O₂ generation and the relevant disinfection processes,

deciphered by multidimensional characteristics, need to be filled.

Single-atom catalysts (SACs), with maximum metal atom utilization and definite geometric configuration, manifest superior catalytic performance and provide the possibility to reveal ¹O₂ generation mechanisms at the atomic level.^{16,17} To enhance the catalytic efficiency of SACs, tailoring the d-band centers of metals is a common strategy, in which the metal site with a d-band center closer to the Fermi level (*E_F*) can improve bonding performance and electron transfer ability between the metal site and PS.¹⁸ Therefore, optimizing the d-band centers of metal sites is key for PS activation by anchoring different metal atoms^{19,20} or by manipulating the electron structures of coordination environments.²¹ Furthermore, increasing the density of atomically dispersed metals can provide more active sites, which can also enhance the catalytic activity of SACs for PS activation.^{22,23} Many studies have focused on increasing atom density but have overlooked the fact that, as the density increases, atomically dispersed metal

Received: February 12, 2025

Revised: July 16, 2025

Accepted: July 17, 2025

Published: July 23, 2025



Shengjun Xu – Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, P.R. China; orcid.org/0000-0001-5803-464X; Email: sjxu@rcees.ac.cn

Authors

Wushuai Qi – College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, P.R. China

Xiaodan Tang – College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, P.R. China

Jingzhen Wang – College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, P.R. China

Boqiang Gao – College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, P.R. China

Jiale Pang – College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, P.R. China

Jinge Du – School of Public Health, Xinxiang Medical University, Xinxiang 453003, P.R. China

Pengfei Wang – Key Laboratory of Pollution Processes and Environmental Criteria (Ministry of Education), College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, P.R. China

Sihui Zhan – Key Laboratory of Pollution Processes and Environmental Criteria (Ministry of Education), College of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300071, P.R. China; orcid.org/0000-0002-1575-5946

Bing-Jie Ni – School of Civil and Environmental Engineering, The University of New South Wales, Sydney NSW 2052, Australia

Complete contact information is available at:
<https://pubs.acs.org/10.1021/acs.est.5c01975>

Author Contributions

^VW.Q. and X.T. contributed equally to this work. W.Q. and X.T. prepared the catalysts, conducted the characterization, analyzed the data and wrote the manuscript draft under the guidance of S.M. and Y.H. S.X. designed the project and improved the manuscript. S.Z. and P.W. conducted theoretical studies. J.D. helped with characterization. J.W. and B.G. provided theoretical support. B.N. contributed to improve the manuscript. All authors contributed in discussions of the results and the paper.

Notes

The authors declare no competing financial interest.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (42377067, 42407089), the Excellent Youth Science Foundation of Henan Province (242300421148), the Young Backbone Teachers Program of Henan Province (2023GGJS028), the Scientific and Technological Project of Henan Province (242102320181), the Natural Science Foundation of Henan Province (242300420552, 242300420553), and the China Postdoctoral Science Foundation (2023M730988), as well as the Key Research Projects of Higher Education Institutions in Henan Province (25B610003). The theoretical calculations were supported by Dr. Xiaobiao Liu (Henan Agricultural University).

REFERENCES

- (1) Li, J.; Ren, S.; Qiu, X.; Zhao, S.; Wang, R.; Wang, Y. Electroactive ultrafiltration membrane for simultaneous removal of antibiotic, antibiotic resistant bacteria, and antibiotic resistance genes from wastewater effluent. *Environ. Sci. Technol.* **2022**, *56*, 15120–15129.
- (2) Spellman, C. D., Jr; Smyntek, P. M.; Cravotta, C. A., III; Tasker, T. L.; Strosnider, W. H. Pollutant co-attenuation via in-stream interactions between mine drainage and municipal wastewater. *Water Res.* **2022**, *214*, 118173.
- (3) Chen, C.; Yang, F.; Ma, Y.; Dai, L.; Zhang, Z.; Guo, H.; Ding, Y. Ball milling boosted magnetic cotton husk-derived biochar adsorptive removal of oxytetracycline and ciprofloxacin from water. *Carbon Res.* **2024**, *3* (1), 63.
- (4) Lin, Z.; Fu, Y.; Zhang, B.; Wang, F.; Shen, C. Copper single-atom catalysts for broad-spectrum antibiotic-resistant bacteria (ARBs) antimicrobial: Activation of peroxides and mechanism of ARBs inactivation. *J. Hazard. Mater.* **2024**, *477*, 135409.
- (5) Zhang, Z.; Zhang, Q.; Wang, T.; Xu, N.; Lu, T.; Hong, W.; Penuelas, J.; Gillings, M.; Wang, M.; Gao, W.; et al. Assessment of global health risk of antibiotic resistance genes. *Nat. Commun.* **2022**, *13*, 1553.
- (6) Hou, Y.; Li, X.; Zhao, Q.; Chen, G.; Raston, C. L. Role of hydroxyl radicals and mechanism of *Escherichia coli* inactivation on Ag/AgBr/TiO₂ nanotube array electrode under visible light irradiation. *Environ. Sci. Technol.* **2012**, *46*, 4042–4050.
- (7) Wang, W.; Wang, H.; Li, G.; An, T.; Zhao, H.; Wong, P. K. Catalyst-free activation of persulfate by visible light for water disinfection: Efficiency and mechanisms. *Water Res.* **2019**, *157*, 106–118.
- (8) Duan, R.; Ma, S.; Xu, S.; Wang, B.; He, M.; Li, G.; Fu, H.; Zhao, P. Soybean straw biochar activating peroxydisulfate to simultaneously eliminate tetracycline and tetracycline resistance bacteria: Insights on the mechanism. *Water Res.* **2022**, *218*, 118489.
- (9) Zhou, C. S.; Cao, G. L.; Wu, X. K.; Liu, B. F.; Qi, Q. Y.; Ma, W. L. Removal of antibiotic resistant bacteria and genes by nanoscale zero-valent iron activated persulfate: Implication for the contribution of pH decrease. *J. Hazard. Mater.* **2023**, *452*, 131343.
- (10) Liu, Y.; Gao, J.; Wang, Y.; Duan, W.; Liu, J.; Zhang, Y.; Zhang, H.; Zhao, M. The removal of antibiotic resistant bacteria and genes and inhibition of the horizontal gene transfer by contrastive research on sulfidated nanoscale zerovalent iron activating peroxydisulfate or peroxydisulfate. *J. Hazard. Mater.* **2022**, *423*, 126866.
- (11) Ma, Y.; Xu, S.; Huang, Y.; Du, J.; Wang, J.; Gao, B.; Song, J.; Ma, S.; Jia, H.; Zhan, S. The mechanism differences between sulfadiazine degradation and antibiotic resistant bacteria inactivation by iron-based graphitic biochar and peroxydisulfate system. *J. Hazard. Mater.* **2024**, *475*, 134907.
- (12) Li, N.; Ye, J.; Dai, H.; Shao, P.; Liang, L.; Kong, L.; Yan, B.; Chen, G.; Duan, X. A critical review on correlating active sites, oxidative species and degradation routes with persulfate-based antibiotics oxidation. *Water Res.* **2023**, *235*, 119926.
- (13) Hodges, B. C.; Cates, E. L.; Kim, J. H. Challenges and prospects of advanced oxidation water treatment processes using catalytic nanomaterials. *Nat. Nanotechnol.* **2018**, *13*, 642–650.
- (14) Thorning, F.; Henke, P.; Ogilby, P. R. Perturbed and activated decay: The lifetime of singlet oxygen in liquid organic solvents. *J. Am. Chem. Soc.* **2022**, *144*, 10902–10911.
- (15) Yang, L.; Yang, H.; Yin, S.; Wang, X.; Xu, M.; Lu, G.; Liu, Z.; Sun, H. Fe Single-atom catalyst for efficient and rapid Fenton-Like degradation of organics and disinfection against bacteria. *Small* **2022**, *18* (9), 2104941.
- (16) Jiang, Y.; Wang, Z.; Huang, J.; Yan, F.; Du, Y.; He, C.; Liu, Y.; Yao, G.; Lai, B. A singlet oxygen dominated process through photocatalysis of CuS-modified MIL-101 (Fe) assisted by peroxydisulfate for efficient water disinfection. *Chem. Eng. J.* **2022**, *439*, 135788.
- (17) Wang, J.; Zhang, J.; Li, Y.; Xia, X.; Yang, H.; Kim, J.-H.; Zhang, W. Silver single atoms and nanoparticles on floatable monolithic

论文收录引用

检索报告

(检索日期: 2025-09-12, 检索责任人: 刘明杰)

委托人: 黄岩
委托单位: 河南农业大学
发表单位: Henan Agr Univ
检索要求: 黄岩发表的论文被 SCI-E 收录
检索时段: 2025 年至今

检索结果

数据库	论文收录
Science Citation Index Expanded (SCI-E)	2 篇

声明: 本次检索根据黄岩提供的论文目录, 并按其提出的要求进行检索, 详情见附件, 若有不实, 由委托人承担全部责任。

武汉大学图书馆
检索验证专用章
(盖章)
二零二五年九月十四日

《科学引文索引》(SCI-E)收录2篇

第1条,共2条

标题:Electron Transfer Expressway from Peroxydisulfate to O₂ Mediated by Diatomic Sites Accelerating
¹O₂₂ Production for Disinfection
作者:Qi, WS(Qi, Wushuai);Tang, XD(Tang, Xiaodan);Huang, Y(Huang, Yan);Ma, SL(Ma, Shuanglong);Wang, JZ(Wang, Jingzhen);Gao, BQ(Gao, Boqiang);Pang, JL(Pang, Jiale);Du, JE(Du, Jinge);Wang, PF(Wang, Pengfei);Zhan, SH(Zhan, Sihui);Ni, BJ(Ni, Bing-Jie);Xu, SJ(Xu, Shengjun);
来源出版物:ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY 卷:59 期:30 页:15670-15679
DOI:10.1021/acs.est.5c01975 出版时间:AUG 5 2025 在线发表:JUL 2025
入藏号:WOS:001534240700001
文献类型:Article
地址:
[Qi, Wushuai; Tang, Xiaodan; Huang, Yan; Ma, Shuanglong; Wang, Jingzhen; Gao, Boqiang; Pang, Jiale] Henan Agr Univ, Coll Resources & Environm, Zhengzhou 450002, Peoples R China.
[Du, Jinge] Xinxiang Med Univ, Sch Publ Hlth, Xinxiang 453003, Peoples R China.
[Wang, Pengfei] Nankai Univ, Coll Environm Sci & Engn, Key Lab Pollut Proc & Environm Criteria, Minist Educ, Tianjin 300071, Peoples R China.
[Zhan, Sihui] Tianjin Univ, Coll Environm Sci & Engn, Minist Educ, Key Lab Pollut Proc & Environm Criteria, Tianjin 300071, Peoples R China.
[Ni, Bing-Jie] Univ New South Wales, Sch Civil & Environm Engrg, Sydney, NSW 2052, Australia.
[Xu, Shengjun] Chinese Acad Sci, Res Ctr Ecoenvironm Sci, Beijing 100085, Peoples R China.
通讯作者地址:
Huang, Y; Ma, SL (corresponding author), Henan Agr Univ, Coll Resources & Environm, Zhengzhou 450002, Peoples R China.; Xu, SJ (corresponding author), Chinese Acad Sci, Res Ctr Ecoenvironm Sci, Beijing 100085, Peoples R China.
电子邮件地址:yanhuang@henau.edu.cn; shuanglongma@henau.edu.cn; sjxu@rcees.ac.cn
IDS 号:5UD3S
ISSN:0013-936X
Web Of Science 核心集中的“被引频次”:0

委托人贡献:通讯作者

期刊《ENVIRON SCI TECHNOL》2024年的影响因子为11.3,五年影响因子为12.4。

期刊《ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY》2025年升级版的中科院期刊分区情况为:

刊名	ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY		
年份	2025		
ISSN	0013-936X		
Review	否		
Open Access	否		
	学科	分区	Top 期刊
大类	环境科学与工程	1	是
小类	ENGINEERING, ENVIRONMENTAL 工程: 环境	1	-
小类	ENVIRONMENTAL SCIENCES 环境科学	1	-

第2条,共2条

标题:Nitrogen removal and greenhouse gas emissions in constructed wetlands with different placement of wheat straw treating low C/N water
作者:Song, J(Song, Jia);Wang, J(Wang, Jing);Yang, QB(Yang, Qingbo);Ma, SL(Ma, Shuanglong);Wang, JZ(Wang, Jingzhen);Gao, BQ(Gao, Boqiang);Li, Q(Li, Qian);Zhang, JJ(Zhang, Jingjing);Huang, Y(Huang, Yan);
来源出版物:JOURNAL OF ENVIRONMENTAL CHEMICAL ENGINEERING 卷:13 期:5 文献号:118246
DOI:10.1016/j.jece.2025.118246 出版时间:OCT 2025 在线发表:JUL 2025
入藏号:WOS:001541143100003