

2020 年高等学校科学研究优秀成果奖（科学技术）

自然科学奖公示内容

一、项目名称

面向废水处理与资源化的微生物聚集机制与功能调控

二、提名单位

东北师范大学

三、项目简介

生物处理被普遍认为是最为经济的废水处理方法，是能源节约、环境友好和资能源回收的重要技术手段。然而，废水生物处理与资源化所涉及到的 3 个主要对象——废水、微生物和资源之间，存在着生物物质和废水高效分离与低耗之间的矛盾、有机污染物的毒性与维持生物活性的矛盾、废水资源化效率低与可持续性目标之间的矛盾。本项目针对上述矛盾问题，在国家自然科学基金重点项目、面上项目和青年基金项目等资助下，以提高生物物质聚集效率、强化毒性削减功能和增强资源转化特性等技术问题为研究主线，围绕面向废水生物处理与资源化的微生物聚集机制和微生物功能调控两大科学问题，历经十余年探索研究，取得了一系列重要的科学发现：(1) 率先探明了液相剪切力对微生物自凝聚具有关键作用，发现了生物选择压并非微生物颗粒化的必要条件；研发了连续流低曝气能耗颗粒污泥流化床，在连续流态下微生物颗粒化与稳定化方面取得重要突破，揭示了游离微生物聚集的动态随机过程；发现了微藻-细菌间的跨界胞间通讯行为，解析了微藻对废水中细菌信号分子的响应与相关机制，建立了微藻-细

菌协同颗粒化的新方法；(2) 首创了可见光响应光催化氧化与生物降解直接耦合新技术(ICPB)，探明了生物-化学近场协同深度降解有机物的路径与机制；建立了基于共基质策略的难降解与易降解废水混合处理方法，发现了其在强化高毒性有机物矿化的同时，显著削减了抗性基因的产生与传播；提出了氮饥饿磷补给策略提高微藻底物利用效率和生物质转化的调控策略，揭示了磷对微藻生长基因和油脂合成代谢的调节机制；(3) 研发了光催化氧化与生物降解近场耦合阳极电解池，阐明了阳极呼吸菌介导光生电子传递特性，解决了光电解池产能效率低和生物电解池对基质利用限制的难题；提出了采用营养基质调控手段定向提高微藻生物质资源定向转化效率的技术方案，明晰了营养基质调控对微藻的代谢调节原理；发现了废水中细菌信号分子对微藻胞内油脂含量的积极作用，揭示了酰基高丝氨酸内酯 (AHLs)对微藻油脂产量的影响机制，突破了细菌污染对微藻生物质转化影响的认知局限性。研究成果深入揭示了废水中典型微生物的自凝聚机制与稳定化方法，创新性提出了毒性有机物深度削减策略与资源定向转化原理，积极推动了高效、稳定、产物定向调控的废水资源化理论发展。

5 篇代表性论文中 2 篇环境发表于环境领域权威期刊 *Environ. Sci. Technol.*，1 篇曾入选 ESI 高被引论文，研究成果获吉林省自然科学学术成果二等奖两项、三等奖 1 项。研究成果得到了国内外同行的普遍好评，5 篇总他引 194 次，单篇最高总他引 71 次。第一完成人周丹丹为东北师范大学环境科学与工程学科带头人、吉林省水污染控制与资源化工程实验室主任、国家优秀青年基金获得者、吉林省

拔尖创新人才、吉林省首批优秀青苗人才，以第一或通讯作者在在环境领域顶级期刊发表论文 60 余篇，授权或公示发明专利 20 余项。

四、主要完成人情况

排名	姓名	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目重要科学发现的贡献
1	周丹丹	教授	东北师范大学	东北师范大学	本项目负责人，对重要科学发现 1、2、3 均作出创造性贡献，是代表性论文 1-5 的第一或通讯作者。提出并发展了微生物自凝聚与稳定化机制，探明了基于生物强化的废水毒性削减策略与调控机制，明晰了废水资源定向转化与产率提升原理。
2	董双石	教授	吉林大学	吉林大学	本项目主要完成人，对重要科学发现 2、3 均作出创造性贡献，是代表性论文 3 和 4 的共同通讯作者。研发了多种新型可见光相应催化剂，提出了自组装方法改善负载型可见光催化剂的光催化性能，构建了可见光响应的 ICPB 反应器及 ICPB-阳极反应器，解析了直接耦合反应机制与 ICPB-阳极的电子传递机制。
3	付亮	讲师	东北师范大学	东北师范大学	参与国家自然科学基金面上项目“氮饥饿胁迫下有机废水培养富油藻-菌生物颗粒的机制与调控”，研发微藻处理有机废水高效产油技术，促进微藻在废水处理及生物质能源生产中的应用。为“重要科学发现一”做出了重要贡献，是代表性论文 3 的第一作者。
4	霍明昕	教授	东北师范大学	东北师范大学	主持国家自然科学基金重点项目“再生水地下安全储存的水质调控原理”，为光催化与生物降解直接耦合技术在污水处理与资源化中的应用提出了设计思路。为“重要科学发现一”做出了重要贡献，是代表性论文 1 的通讯作者。

五、主要完成单位

东北师范大学、吉林大学

六、代表性论文（专著）目录

序号	论文（专著） 名称/刊名/作者
1	Microbial selection pressure is not a prerequisite for granulation: dynamic granulation and microbial community study in a complete mixing bioreactor/ <i>Bioresource Technol</i> / D.D. Zhou, S. Niu, Y.J. Xiong, Y. Yang, S.S. Dong
2	Responses of the microalga Chlorophyta sp. to bacterial quorum sensing molecules (N-acylhomoserine lactones): aromatic protein-induced self-aggregation/ <i>Environ Sci Technol</i> / D.D. Zhou, C.F. Zhang, L. Fu, L. Xu, X.C. Cui, Q.C. Li, J.C. Crittenden
3	Intimate coupling of photocatalysis and biodegradation for degrading phenol using different light types: visible light vs. UV light/ <i>Environ Sci Technol</i> / D.D. Zhou, Z.X. Xu, S.S. Dong, M.X. Huo, S.S. Dong, X.D. Tian, B. Cui, H.F. Xiong, T.T. Li
4	Enhancing degradation and mineralization of tetracycline using intimately coupled photocatalysis and biodegradation (ICPB)/ <i>Chem Eng J</i> / H.F., Xiong, D.L. Zou, D.D. Zhou, J.W. Wang, S.S. Dong, B.E. Rittmann
5	Excessive phosphorous enhances <i>Chlorella regularis</i> lipid production under nitrogen starvation stress during glucose heterotrophic cultivation/ <i>Chem Eng J</i> / L. Fu, X.C. Cui, Y.B. Li, L. Xu, C.F. Zhang, R.H., Xion, D.D. Zhou, .J.C. Crittenden