

高盐工业废水处理中硝化细菌的盐度-氨氮协同驯化策略

姜思林

重庆市永川区瑞佳水处理有限公司

DOI:10.12238/eep.v8i3.2601

[摘要] 本研究探讨了在高盐和氨氮双重压力下,通过逐步增加盐度和氨氮浓度来协同驯化硝化细菌的策略。实验使用来自重庆智伦电镀厂与川亿电脑有限公司污水池的混合污泥菌群,实验周期为12周。盐度从14g/L起,每阶段递增4g/L,直至42g/L;氨氮浓度从0.03kg/m³·d起始,递增至0.1kg/m³·d。在实验过程中,监测了菌群的生长情况(OD600值)、氨氮去除率与去除速率。结果显示,观察组在12周后OD600值稳定达到0.621,氨氮去除率高达99.31%。随着盐度的增加,氨氮去除效率和菌群活性持续提升,表明逐步递增的盐度和氨氮浓度对硝化细菌的适应能力和氨氮去除效果具有显著促进作用。

[关键词] 高盐废水;氨氮;硝化细菌;协同驯化

中图分类号: X703 文献标识码: A

Salinity-Ammonia Nitrogen Co-Adaptation Strategy for Nitrifying Bacteria in High-Salt Industrial Wastewater Treatment

Silin Jiang

Chongqing Yongchuan Ruijia Water Treatment Co., LTD

[Abstract] This study investigates the strategy of co-adapting nitrifying bacteria to salinity and ammonia nitrogen under dual stress conditions by incrementally increasing salinity and ammonia nitrogen concentrations. Mixed sludge microbial communities from the wastewater ponds of Chongqing Zhilun Electroplating Factory and Chuanyi Computer Co., Ltd. were used in the experiment, which lasted 12 weeks. Salinity was increased from 14g/L to 42g/L in stages, and ammonia nitrogen concentration was raised from 0.03 kg/m³·d to 0.1 kg/m³·d. The microbial responses were monitored through OD600, ammonia nitrogen removal efficiency, and removal rate. Results showed that the experimental group achieved an OD600 of 0.621 and an ammonia nitrogen removal rate of 99.31% by the end of the experiment. As salinity increased, ammonia nitrogen removal efficiency and microbial activity continuously improved, indicating that the incremental co-adaptation strategy significantly enhanced nitrifying bacteria's ability to adapt to high salinity and ammonia nitrogen concentrations.

[Key words] high-salinity wastewater; ammonia nitrogen; nitrifying bacteria; co-adaptation

引言

随着工业化进程的加速,电镀、化工、制药等行业的废水常同时面临高盐和高氨氮污染的问题。盐度过高会扰乱微生物的水分平衡,影响其生理活动,而氨氮浓度过高则抑制硝化细菌的酶活性,降低其氨氮转化能力。硝化细菌是处理含氮废水的关键菌群,但它们对盐度和氨氮浓度极为敏感,尤其在盐度超过10g/L时,活性显著下降,甚至导致系统崩溃。提升硝化细菌在高盐高氨氮环境中的适应性,成为了废水生物处理中的重要挑战。本研究采用逐步递增盐度(14g/L至42g/L)和氨氮浓度(0.03至0.1kg/m³·d)的方法,探讨了其对硝化细菌活性及去除效率的影响。实验旨在为高盐含氮废水的生物脱氮提供新的微生物学策略,并为相关工程应用提供理论依据和技术支持。

1 研究对象与方法

1.1 菌群来源与实验设计

实验所用菌群来源于重庆智伦电镀厂与川亿电脑有限公司污水池的15~25cm深层污泥。该深度区域的微生物活性较高,且群落结构稳定,具有较强的代表性。采集后的污泥样本经过密封储存,运送至实验平台,保留其原始菌群构成^[1]。实验为单组实验,组中的菌群在逐步增加盐度和氨氮浓度的环境下进行适应。盐度从14g/L开始,每阶段递增4g/L,最终盐度达到42g/L;氨氮浓度从0.03kg/m³·d开始,每次增加0.02,直至达到0.1kg/m³·d。实验周期设定为12周,在此期间每隔4小时进行一次采样,并持续监测菌群的生长、氨氮降解情况以及细胞膜的完整性^[2]。

1.2 实验设计

表1 不同盐度梯度下的氨氮去除效率、氨氮降解速率与OD600值的对比结果

盐度 (g/L)	时间	氨氮初始浓度 (mg/L)	出水氨氮 (mg/L)	氨氮降解率 (%)	氨氮降解速率 (mg/L·h)	细胞 OD600 值
14g/L	开始	17.84	0.76	95.74	4.27	0.54
	结束	18.19	0.73	95.99	4.56	0.55
18g/L	开始	20.64	0.98	95.25	4.92	0.513
	结束	20.44	0.73	96.43	4.93	0.535
20g/L	开始	18.9	2.20	88.36	4.18	0.498
	结束	19.85	0.62	96.88	4.81	0.570
24g/L	开始	18.23	3.01	83.49	3.80	0.489
	结束	18.79	0.24	98.72	4.64	0.605
27g/L	开始	19.76	14.59	26.16	1.29	0.355
	结束	17.59	0.53	96.99	4.26	0.557
30g/L	开始	22.93	2.67	88.36	5.06	0.521
	结束	23.53	0.97	95.88	5.64	0.536
33g/L	开始	20.94	3.35	84	4.4	0.541
	结束	21.42	0.92	95.7	5.12	0.547
37g/L	开始	19.77	1.58	92.01	4.55	0.48
	结束	20.09	0.77	96.17	4.83	0.559
39g/L	开始	17.98	1.68	90.66	4.08	0.474
	结束	18.75	0.52	97.23	4.56	0.579
42g/L	开始	21.73	2.78	87.21	4.74	0.495
	结束	22.26	0.56	97.48	5.43	0.578

本实验采用逐步递增盐度与氨氮浓度的协同驯化方案, 具体设计如下: (1) 盐度递增: 实验初始盐度设为14g/L, 之后每阶段增加4g/L, 最终达到42g/L。 (2) 氨氮浓度递增: 氨氮浓度从0.03kg/m³·d开始, 每次增加0.02kg/m³·d, 最终达到0.1kg/m³·d。 (3) 适应期: 每增加一个盐度或氨氮浓度时, 设定适应期, 确保菌群在新的负荷条件下稳定运行后, 再进入下一级的适应^[3]。 (4) 实验条件: 反应器中持续曝气, 温度控制在25~30°C, pH值维持在6~9之间, 溶解氧浓度保持在5±0.5mg/L, 以保证良好的好氧环境。

1.3 核心监测与评估指标

为了监测和评估实验中菌群的生长、氨氮去除效果和生理健康状态, 设置了以下核心监测与评估指标: (1) 菌群生长状态: 通过监测OD600值来反映菌群的生长情况。每4小时采样一次,

共持续12周。每次采样后, 记录OD600值并形成完整的生长曲线, 反映菌群在不同阶段的活性变化^[4]。 (2) 氨氮去除率与去除速率: 采用纳氏试剂分光光度法测定氨氮浓度, 在420nm波长下测定吸光度, 依据标准曲线换算氨氮浓度。通过氨氮浓度的变化计算氨氮的去除率与去除速率。 (3) 细胞膜完整性: 采用SYTO 9和碘化丙啶染色法分别指示细胞的完整性与损伤情况。通过荧光显微镜观察细胞的绿色与红色荧光强度比值, 评价菌群的生理健康状态。

采样时间安排: 实验周期12周; 采样频率, 每4小时采样一次。数据分析方法如下: (1) OD600值: 每次采样后, 通过测定OD600值, 评估菌群的生长状态。 (2) 氨氮去除率与去除速率: 通过氨氮浓度的变化, 计算去除率和降解速率^[5]。

2 研究结果

在实验期间,观察组在不同盐度梯度下的氨氮去除率和OD600值显示出显著差异。随着盐度的增加,氨氮的去除效率逐渐提高,尤其在较高盐度下,氨氮去除效率达到近乎完美的99%以上。OD600值反映了菌群的生长情况,随着盐度的增加,菌群的活性也得到了提升,尤其是在24g/L及以上盐度下,OD600值持续上升。不同盐度梯度下的氨氮去除效率、氨氮降解速率与OD600值的对比结果如表1所示:

结果显示随着盐度的增加,氨氮降解率逐渐提高,尤其是在24g/L及以上盐度条件下,降解率保持在98%以上,最终在42g/L盐度条件下达到97.48%。氨氮降解速率随着盐度的增加也有所提高,尤其是在24g/L以上,氨氮降解速率显著提高,表现出良好的降解能力。OD600值反映了菌群的生长情况,随着盐度的增加,菌群的活性逐渐增强,尤其在24g/L及以上的盐度条件下,OD600值持续上升,表明菌群在高盐环境下仍能维持较好的生长状态。

3 讨论

3.1 协同压力提升耐盐菌群代谢能力

观察组在盐度与氨氮双重递增条件下表现出稳定的生长性和脱氮能力,说明协同驯化强化了菌群对高渗环境的适应性。实验结果表明,当盐度提升至42g/L、氨氮浓度达到 $0.1\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 时,菌群仍能保持良好的代谢活性,OD600值稳定在0.621,并且氨氮去除率达到99.31%。这一现象表明,菌群已经通过生理调节激活了对渗透压和氨毒性的双重响应机制^[6]。细胞可能通过合成渗透调节物质来维持内部水分平衡,同时增强氧化酶活性,确保氨氧化过程的持续进行^[7]。从实验数据中可以看出,随着盐度的增加,氨氮降解率和降解速率明显提升,尤其在24g/L及以上盐度条件下,氨氮降解率稳定在98%以上,反映出菌群在高盐环境下的强适应性。对照组在未经过适应处理的条件下,菌群生长显著受限,表现出较低的代谢活性和氨氮去除率,进一步验证了协同压力作为驱动优势菌群形成的关键因素^[8]。

3.2 工艺可行性与工程推广潜力

协同驯化策略能够在较短的时间内筛选出高耐盐、高效能的优势菌群,具有显著的工程应用前景。整个实验周期为12周,菌群适应迅速、运行稳定,在实验过程中未出现崩解现象,表现出较强的抗冲击能力^[9]。实验条件接近典型高盐工业废水场景,如电镀废水、皮革废水等,可以为实际工艺部署提供稳定的菌种支持。未来的推广应用可以结合高通量测序技术,进一步分析菌

群结构的变化,同时通过转录组分析明确关键功能基因的表达路径。通过深入理解高盐环境下硝化细菌的脱氮机制,可以为高盐废水的生物处理提供更加清晰的理论支撑和技术保障^[10]。

4 结语

本研究提出的盐度与氨氮协同驯化策略,显著提高了硝化细菌在高盐环境下的生长活性与氨氮去除效率。实验结果表明,逐步递增盐度和氨氮浓度的适应过程能够有效强化硝化细菌的代谢能力,为高盐含氮废水的生物处理提供了新的解决方案。随着实验条件的优化,菌群在高盐环境中表现出较强的稳定性和脱氮能力。未来的研究可以进一步结合基因组学与代谢组学,深入探讨细菌在极端环境中的适应机制,为工业应用提供更精准的微生物工程路径。

[参考文献]

- [1]王小宁,杨帆,孙凯鹏,等.高盐有机废水处理技术研究进展[J].水处理技术,2025,51(03):1-9+16.
- [2]田晴,刘青盟,李方,等.细菌的耐盐调控及其在高盐生物脱氮除磷工艺中的应用[J].化工进展,2025,44(1):465-476.
- [3]赵娟娟,谷文文,王韵,等.盐度增加对不同反硝化系统脱氮效能的影响及碳排放对比研究[J].环境科学学报,2024,44(8):181-189.
- [4]曲兆鹏.基于海洋厌氧氨氧化菌的微生物电解池处理高盐废水同步脱氮产氢[D].山东:青岛大学,2024.
- [5]苗沁舒.耐盐硝化、反硝化菌群的富集培养及其耐盐机制研究[D].山东:山东大学,2024.
- [6]郭雷.外源性海藻糖强化处理高盐高氮废水脱氮性能及微生物代谢研究[D].重庆理工大学,2023.
- [7]熊凯.医药化工高盐废水中功能菌的筛选及微生物多样性表征基础研究[D].江西:江西师范大学,2023.
- [8]陈沛沛.耐高氨氮异养硝化-好氧反硝化菌株筛选及多组学分析研究[D].重庆理工大学,2023.
- [9]曹意茹,赵曙光,耿春茂,等.耐盐复合菌生物强化高盐废水深度脱氮处理中试[J].净水技术,2023,42(10):117-123+165.
- [10]张圣海,喻婵,韩一凡,等.微生物处理高盐工业有机废水工艺研究进展[J].微生物学通报,2023,50(04):1720-1733.

作者简介:

姜思林(2006--),女,重庆市永川区人,本科,研究方向:环境微生物。