

Effect of Microbubble Treatment on Nitrogen Removal in High Load Constructed Wetland Ecosystem

Lunming Long¹ Peng Wu¹ Xuefeng Gu¹ Luhai Chen² Linpeng Yang¹

1. Beijing Enterprises (Hangzhou) Ecological Environment Investment Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 311100, China

2. Shanghai Metallographic Environmental Technology Co., Ltd., Shanghai, 200062, China

Abstract

Micro bubble intermittent aeration was used to treat high load constructed wetland unit, and the effect of water flux on nitrogen removal efficiency of wetland ecosystem was studied. When the amount of microbubbles is 90m³/d and the flow rate is 300m³/d, 600m³/d and 900m³/d respectively, the total nitrogen removal rates reach 46.8%, 24.8% and 22.38% respectively, and the ammonia nitrogen removal rates reach 61.8%, 49.46% and 55.73% respectively. The results show that microbubbles can significantly improve the nitrogen removal capacity of high load wetland, but the total nitrogen removal efficiency is greatly affected by the impact of hydraulic load. When the initial average value of ammonia nitrogen is only 0.31mg/l, the removal performance is still significant. From the perspective of operation economy, when the hydraulic load is 1.6m³/(m²·d) and the ratio of microbubbles to water flow is 0.05, the total nitrogen removal rate is 34.5% and the ammonia nitrogen removal rate is 45.7%, which can effectively save land and operation cost while the nitrogen removal efficiency is acceptable.

Keywords

microbubbles; high load; constructed wetlands; hydraulic retention time; denitrification efficiency

微气泡处理高负荷人工湿地生态系统的脱氮影响

龙伦明¹ 吴鹏¹ 顾雪锋¹ 陈鲁海² 杨林鹏¹

1. 北控(杭州)生态环境投资有限公司, 中国·浙江 杭州 311100

2. 上海金相环境科技有限公司, 中国·上海 200062

摘要

采用微气泡间歇曝气的方式处理高负荷人工湿地单元, 通过通水量变化研究对湿地生态系统脱氮效率的影响。微气泡量为90m³/d, 通水量分别为300m³/d、600m³/d、900m³/d时, 总氮去除率分别达到46.8%、24.8%、22.38%, 氨氮去除率分别达到61.8%、49.46%、55.73%。结果表明, 微气泡对高负荷湿地脱氮能力有显著提升, 但是总氮去除效率受水力负荷冲击的影响较大, 氨氮初始平均值仅为0.31mg/L的情况下, 去除表现仍然显著。从运行经济角度考虑, 在水力负荷为1.6m³/(m²·d), 微气泡与通水量比为0.05时, 总氮去除率为34.5%, 氨氮去除率为45.7%, 能在脱氮效率尚可的同时有效节约用地和运行成本。

关键词

微气泡; 高负荷; 人工湿地; 水力停留时间; 脱氮效率

1 引言

人工湿地作为一种运行操作简便, 运营费用低, 生态效益佳的水质净化工艺, 在中国污水处理厂尾水深度处理已得到广泛的应用。但随着土地资源日益紧张, 人工湿地水力停留时间长, 占地面积大的缺点逐渐凸显^[1]。提高人工湿地脱氮效率, 加大水力负荷, 减少占地面积的高负荷人工湿地已成为研究重点。目前, 已有通过高效基质筛选^[2]、布水改良^[3]、与其他工艺耦合^[4-5]、碳源补充^[6]等方面来提升高负

荷人工湿地脱氮效率的研究。

此外, 溶解氧作为人工湿地水处理效果的重要影响因素之一, 通过控制溶解氧促进高负荷湿地的脱氮过程也成为重点研究对象^[7]。但常规的植物供氧和传统曝气方法氧气利用率低^[8], 难以满足高负荷湿地的净化需求。而微气泡具有比表面积大、停留时间长、界面 zeta 点位高、传质效率高等特性^[9], 恰好能弥补了传统曝气增氧的不足^[10], 但目前鲜有微气泡曝气促进高负荷湿地脱氮的报道。

论文在高负荷平潜流人工湿地中增加微气泡发生装置, 研究湿地单元在不同通水量条件下输入微气泡时, 人工湿地处理污水处理厂尾水的脱氮效率, 为微气泡高负荷人工湿地

【作者简介】龙伦明(1986-), 男, 中国重庆人, 硕士, 从事水生态修复研究。

的设计和运行提供参考依据。

2 试验材料与方法

2.1 试验装置

本试验在高负荷水平潜流湿地的两个并联单元上运行，两个单元并联对称，一个试验单元，一个对照单元，表面水力负荷高达 $1.6\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，该人工湿地已运行5年，表层无种植土，填料上栽种香蒲。试验单元规格为 $28\text{m} \times 20\text{m} \times 1\text{m}$ ，水力坡度为 0.5‰ 。采用 JXWNP-3-3.02 通用型微气泡发生器对试验单元进行曝气，为了提升微气泡效率，湿地单元蓄水 15cm ，微气泡发生器进水设在集水区中间，微气泡出口设在配水区中间，以 PU 软管连接微气泡发生器。微气泡出口在蓄水水面下 10cm ，距单元配水渠 100cm 。

2.2 试验水质

试验用水采用东营某城市生活污水处理厂巴氏计量槽出水，水质指标见表1。

表1 水质指标

指标	pH	DO	NH ₃ -N	TN	TP	COD
平均浓度(mg/L)	7.28	8.44	0.31	5.80	0.14	21

2.3 试验方法

微气泡装置于2021年5月上旬设置完成，6月初湿地单元中加入 1kg 特性菌剂对微生物系统进行重建。重建期间，对湿地单元进行封闭，打开微气泡发生器循环曝气，全天持续曝气，特性菌种投加频率为 $1\text{次}/3\text{d}$ 。30d后，7月上旬每天曝气 12h ，每天测1次封闭水体水质，持续30d曝气待水质相对稳定后，8月上旬进入试验阶段。试验分为3个阶段，每个阶段均为每天夜间曝气 12h ，单位时间微气泡量设定为 $7.5\text{m}^3/\text{h}$ ，第一阶段通水量为 $300\text{m}^3/\text{d}$ ，为低水量阶段，每天取样测定，运行周期 15d ；第二阶段通水量为 $600\text{m}^3/\text{d}$ ，为中

水量阶段，每天取样检测，运行周期 15d ；第三阶段通水量为 $900\text{m}^3/\text{d}$ ，为全水量阶段，每天取样检测，运行周期 15d 。

2.4 分析方法

本试验中单位时间微气泡循环量相同，通过控制微气泡发生器进水阀门控制微气泡量，用流量计显示瞬时微气泡量。出水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 、 COD 均采用国标法， pH 和 DO 使用六参数水质测定仪现场测定。

3 结果与分析

3.1 微气泡对总氮去除率的影响

图1为不同通水量条件下湿地单元中总氮的去除情况。由图1可知微气泡曝气单元对总氮的去除率显著高于未曝气单元，湿地单元通水量的增加显著降低系统对总氮的去除率。在低水量阶段 $Q=300\text{m}^3/\text{d}$ 时，总氮去除率由未曝气单元的 14.79% 提高到曝气单元的 46.8% ；在中水量阶段 $Q=600\text{m}^3/\text{d}$ 时，总氮去除率由未曝气单元的 9.92% 提高到曝气单元的 24.8% ；在全水量阶段 $Q=900\text{m}^3/\text{d}$ 时，总氮去除率由未曝气单元的 6.77% 提高到曝气单元的 22.38% ，低水量阶段比中、全水量阶段提升明显，中水量到全水量阶段提升不显著。这是由于低水量阶段，微气泡循环量更高，填料内部微生物活性更强。但是随着通水量的增加，中、全水量相比于低水量时总氮的去除率明显降低，其原因可以从图中得出，在曝气单元低水量阶段时，氨氮和总氮去除率均最大，说明在微气泡量一定的情况下，水力停留时间对污染物去除率起到关键作用，水体污染物与微气泡充分接触反应才能提升脱氮效率。水力负荷增加和微气泡间歇曝气的双重增氧情况下，说明溶解氧的增加严重破坏了其厌氧环境，从而抑制微生物反硝化的过程^[1]，从而使总氮的去除率迅速下降。为进一步提高总氮的去除率，可以通过增加湿地的水生来改变高负荷湿地填料底部的厌氧环境，降低水力负荷以促进反硝化作用，提高湿地脱氮效率，同时还可以节约用地。

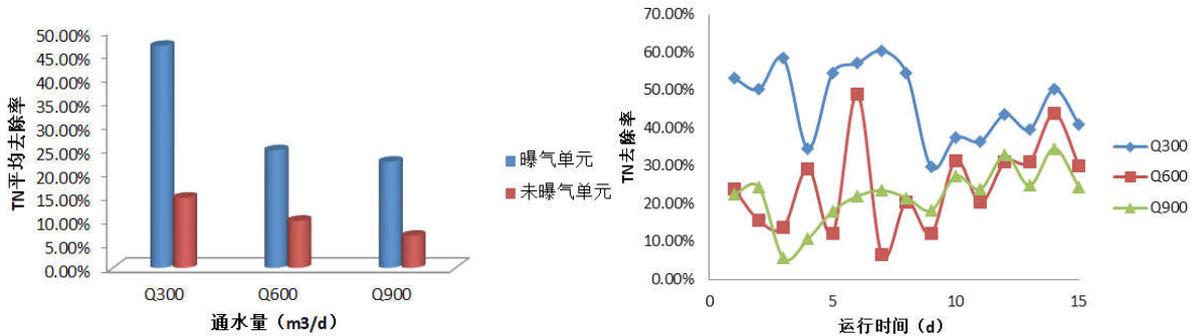


图1 湿地单元通水量对 TN 去除影响

3.2 微气泡对氨氮去除率的影响

不同通水量条件下,微气泡曝气对氨氮去除情况如图2所示。从图2可知,微气泡循环输入对湿地单元氨氮去除率提升不显著($P > 0.05$),但是通水量的改变,即水力负荷的改变对氨氮去除有一定影响。在低水量阶段 $Q=300\text{m}^3/\text{d}$ 时,氨氮去除率由未曝气单元的51.8%提高到曝气单元的61.84%;在中水量阶段 $Q=600\text{m}^3/\text{d}$ 时,氨氮去除率由未曝气单元的66.59%降低到曝气单元的49.46%;在全水量阶段 $Q=900\text{m}^3/\text{d}$ 时,总氮去除率由未曝气单元的68.4%提高到曝气单元的55.73%。结果表明,在低水量阶段,虽然水力负荷小,但微气泡显著增加了湿地单元溶氧,形成了良好的好氧环境;但是随着通水量增加,水力负荷也随着增加,由于湿地单元进水溶解氧平均在 $8.44\text{mg}/\text{L}$ 左右,快速的水流同样能显著改善湿地的硝化环境。说明微气泡能促进低水力负荷情况下的氨氮去除效率,而高水力负荷微气泡的作用明显削弱。

3.3 气水比与污染物去除率的关系

从图3可知,微气泡与通水量比和污染物去除率有一定的线性关系,气液比在 $0.05\sim 0.1$ 时,总氮去除率和气液比成反比,氨氮去除率和气液比成正比,说明在微气泡改善了湿地好氧环境,有利于氨氮去除,而抑制了总氮的去除;气液比在 $0.1\sim 0.15$ 时,总氮去除率和气液比成正比,氨氮去除率和气液比成反比,说明水力负荷减小的作用优于微气

泡的作用;气液比在 $0.15\sim 0.3$ 时,总氮和氨氮去除率均和气液比呈指数关系,说明在气泡液输入量一样时,湿地负荷越低,污染去除效果越好;气液比在 $0.3\sim 3$ 时,总氮去除率和气液比成正比,氨氮去除率和气液比成反比,说明在气泡液输入量一致时,湿地负荷越低,总氮去除效果越好,负荷越高,氨氮去除效果越好。

此外,从图3可以看出总氮和氨氮去除率在 1.8 时一致,均为 55.5% ,但是微气泡与通水量比太大,水力负荷仅为 $0.09\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,处理水量较少,能耗相对较高;气液比为 0.3 时,即湿地水力负荷为 $0.54\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时,污染物去除效率相对最高。

4 结论

①在 $1\sim 1.6\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 高负荷条件下,微气泡间歇曝气对氨氮和总氮均有显著的去除效果,总氮去除率在 $22.38\%\sim 34.4\%$ 之间,氨氮去除率在 $45.70\%\sim 55.73\%$ 之间。

②微气泡与通水量比越小,运行能耗越低,因此从经济技术角度考虑,在水力负荷为 $1.6\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,气水比为 0.05 时,总氮去除率为 34.5% ,氨氮去除率为 45.7% ,可有效节约高负荷湿地运行成本。

③微气泡预处理强化湿地单元生态系统后,水力负荷提高到 $1.2\sim 1.6\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 可稳定出水达标,相当于节省用地 $16.7\%\sim 37.5\%$,既可缓解用地压力,又可减少人工湿地建设投资。

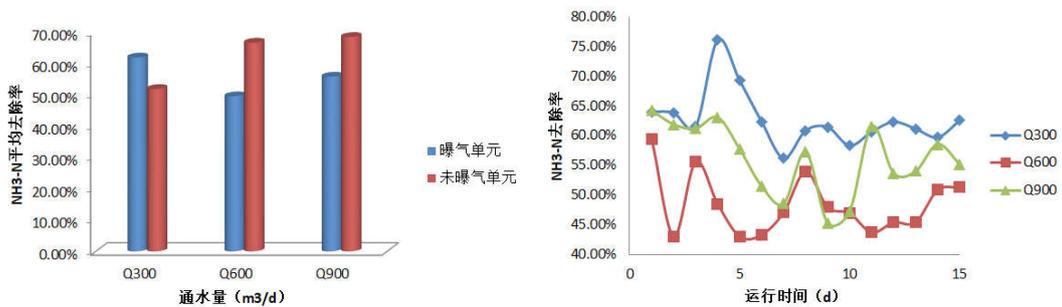


图2 湿地单元通水量对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除影响

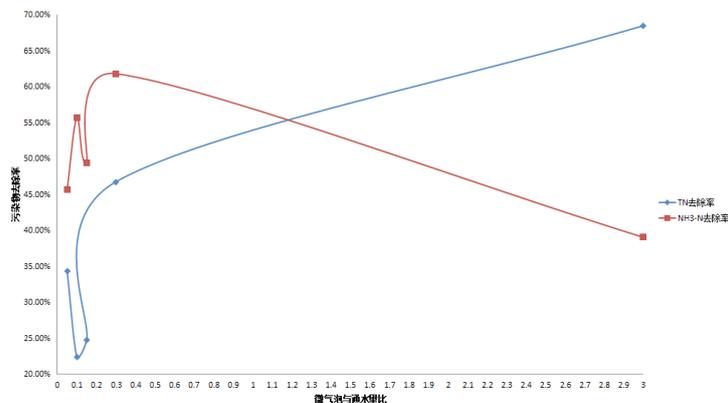


图3 微气泡与通水量比与污染物去除率的关系

参考文献

- [1] 成水平,王月圆,吴娟.人工湿地研究现状与展望[J].湖泊科学,2019,31(6):1489-1498.
- [2] 赵林丽,邵学新,吴明,等.人工湿地不同基质和粒径对污水净化效果的比较[J].环境科学,2018(9):1-8.
- [3] 唐孟煊,吴娟,代嫣然,等.组合式垂直流人工湿地工艺及其污水处理效果[J].环境工程学报,2016,10(3):1017-1022.
- [4] He Y, Wang Y, Song X. High-effective denitrification of low C/N wastewater by combined constructed wetland and biofilm electrode reactor (CW-BER)[J]. Bioresource Technology,2016,2(3):245.
- [5] Ding Y, Wang W, Liu X, et al. Intensified nitrogen removal of constructed wetland by novel integration of high rate algal pond biotechnology[J]. Bioresource Technology, 2016(219):757-761.
- [6] 赵联芳,贺丽,梅才华,等.外置植物碳源型人工湿地系统反硝化脱氮效果及 N_2O 释放[J].安全与环境学报,2018,18(1):276-281.
- [7] 刘佃娜,何圣兵,周伟丽,等.硫自养反硝化强化垂直流人工湿地脱氮性能研究[J].中国给水排水,2014(3):14-18.
- [8] 王江宽,于德爽,杨传修,等.非单一因素控制条件下短程硝化反硝化实现优越性和系统稳定性的探讨[J].科技信息,2011(7):14-18.
- [9] 官志杰,宋新山,赵志淼,等.微曝气技术在强化人工湿地脱氮中的应用[J].环境科学与技术,2017,40(4):132-135.
- [10] 孙茹,薛红俊.微纳米气泡技术在环保领域中的应用[J].技术研究,2021,(4):61-62.
- [11] 翟俊,李岳.微曝气强化人工湿地处理生活污水试验研究[J].土木与环境工程学报(中英文),2020,42(6):178-184.