

环境科学、安全科学

污水停留时间对多级人工湿地塘组合系统除氮的影响

王全金 万博阳¹ 戚晓波

(华东交通大学土木建筑学院,南昌 330013)

摘要 通过多级人工湿地-塘组合系统在不同的污水停留时间下处理污染水体,对各项出水污染物进行测试对比。结果表明:在初春低温条件下,COD、TN和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除率随着污水停留时间的增加显著提高,其中COD在污水停留时间达到5 d之后去除率开始趋于平缓,TN和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除率在污水停留时间达到5 d之后出现下降。表明在保证处理效果的前提下,污水停留时间选在4~5 d之间较为合理。这为实际处理污染水体提供了一定的参考。

关键词 多级人工湿地 塘 污水停留时间 除氮

中图分类号 X703; **文献标志码** A

目前处理污染水体的有化学处理,物理处理,生物处理和生态处理等方式^[1]。在生物处理方面,以活性污泥法为代表,在处理过程中会产生大量富含有害化学成分的淤泥、废渣影响环境^[2]。生态处理以人工湿地为代表,在处理过程中不会产生二次污染^[3],人工湿地污水处理的研究日益受到重视。随着人工湿地不断深入的发展,在这方面的研究已经不局限在单纯的湿地上面,引入了一些其他系统,逐渐形成了人工湿地组合系统,根据研究^[4]显示人工湿地组合系统在处理效果方面明显优于单独的人工湿地系统,具有更好的出水水质等优点。宋嘉骏,等^[5]利用人工湿地塘组合系统,处理COD为87.36~21.5 mg/L,TN为26.81~13.49 mg/L, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 为23.74~11.21 mg/L污水取得了较好的去除效果。乌兰托娅^[6]发现利用人工湿地处理高浓度的氨氮废水去除率到达90%。国外的Masi等^[7]发现多级人工湿地在二级处理时可以得出一个较好的效果,其中COD的去除率为86%,TN的去除率为60%,TP的去除率为43%,SS去除率为89%, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除率为76%。

但是大部分人研究的都是处理高浓度的生活污水,对低污染浓度的污染水体处理研究较少,目前在我国农村水体污染问题已严重影响当地的环境,国内一部分学者已经开始研究处理这种类型的污染,人工湿地组合系统作为一种新型的处理系统,有着投资少,消耗低,维护简单等优点,特别适合在农村

以及经济欠发达地区使用^[8]。所以本次试验的目的就是探究多级人工湿地-塘组合系统在低温环境下对低浓度污染水体的净化效果。

1 试验部分

1.1 试验装置

试验装置为多级人工湿地-塘组合系统,组合系统中各单体构筑物由1 cm厚U-PVC板焊接而成,制成以人工湿地为主体的生态处理系统,整个实验装置流程为高位水箱—生态塘A—表流湿地A—潜流湿地—表流湿地B—生态塘B,污水靠各构筑物高差流动。

高位水箱箱体尺寸为800 mm×800 mm×700 mm(长×宽×高),生态塘A、B内部尺寸为1 550 mm×400 mm×750 mm(长×宽×深),设计水深为550 mm。表流湿地A、B内部尺寸为1 550 mm×400 mm×750 mm(长×宽×深),装置内设计水深为0.3 m。潜流人工湿地内部尺寸为1 550 mm×400 mm×750 mm(长×宽×深),潜流人工湿地装置内设计的有效水深为0.6 m。

其中表流湿地底部铺设基质,基质采用两层设计,下层为200 mm厚,用100~200 mm砾石作为承托层,上层为200 mm厚泥土作为挺水植物扎根固定用,整个基质层总高度为0.4 m。潜流湿地底部铺设基质填料,填料层采用通常用的三层设计,下部为200 mm厚,用100~200 mm砾石作为承托层;中部为300 mm厚,用10~20 mm碎石作为填料层,供微生物挂膜使用;上部为200 mm厚沙土,供固定植物扎根使用。

2015年10月14日收到 国家自然科学基金(51169006)资助
第一作者简介:王全金(1956—),女,教授。E-mail:1362559920@qq.com。

* 通信作者简介:万博阳。E-mail:1024278982@qq.com。

各个装置里面的植物为生态塘 A 种植伊乐藻,生态塘 B 种植狐尾藻,表流湿地 A 种植美人蕉,表流湿地 B 种植芦苇,潜流人工湿地中种植的植物为美人蕉。

1.2 试验设计

选取 7 个污水停留时间测试整个装置的氮去除能力,7 个污水停留时间分别为 3 d、3.5 d、4 d、4.5 d、5 d、5.5 d 和 6 d。试验时间为初春,平均气温在 11 ℃左右。

1.3 试验水质及检测方法

试验用水采用人工配水模拟污染水体水质,涉及的主要药品为葡萄糖、尿素、氯化铵和碳酸氢钠等,配水水质为 TN 质量浓度 10 mg/L, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 质量浓度 2.5 mg/L, COD 为 60 mg/L。

试验过程中,对系统出水水质进行检测,所测项目和所测方法依次为:COD:微波密封消解法;TN:过硫酸钾氧化-紫外分光光度法; $\text{NH}_4^+\text{-N}$: 纳氏试剂分光光度法。测定方法参照《水与废水监测分析方法(第四版)》^[9]。

2 结果与讨论

2.1 COD 去除效果

污染水体中的 COD 首先是被基质直接拦截一部分以及在化学吸附作用下被基质吸附一部分,然后是植物通过光合作用和吸收同化作用将污水中的小分子有机化合物直接吸收、利用,最后是好氧微生物的分解作用^[10]。

图 1 为污水停留时间对 COD 的去除率的影响图,由图 1 可以看出:多级人工湿地-塘组合系统随着污水停留时间的延长,COD 的去除率逐渐提高,前期的去除率低是因为停留时间短,有机物和微生物接触之后未及时利用就随着水流流出^[11]。在 5.5 d、6 d 这两个停留时间出现去除率趋于平衡的现象,说明停留时间到达一定的时候,COD 的去除就会出现停滞现象,由此看出在利用多级人工湿地-塘组合系统去除有机物选取污水停留时间并不是越长越好,试验结果显示选取 5 ~ 5.5 d 可以达到最佳效果。

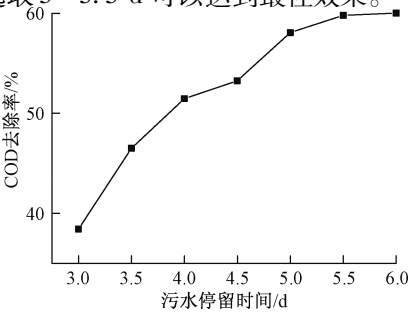


图 1 COD 去除效果

Fig. 1 The removal effect of COD

图 2 为污水停留时间对 COD 的出水浓度的影响图,由图 2 可以看出:选取 5 d 为污水停留时间,出水水质为 25.15 mg/L,达到 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》的 IV 类标准。而选取污水停留时间为 3 d,出水水质 36.94 mg/L,达到 V 类水质标准。说明污水停留时间为 3 d 处理效果好。

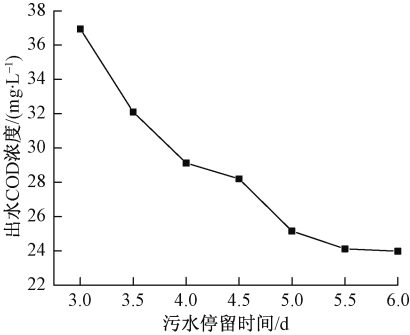


图 2 COD 出水水质

Fig. 2 Out water quality of COD

2.2 TN 去除效果

人工湿地中氮的去除机理比较复杂,是湿地植物、基质和微生物通过物理、化学及生物的协同作用的结果^[12]。尹连庆等^[13]研究发现,人工湿地的脱氮主要是依靠微生物的硝化与反硝化。硝化和反硝化菌存在细菌世代的问题,所以在实际处理中要考虑到污水停留时间的问题,Huett 等^[14]研究发现,污水停留时间为 3.5 ~ 7.0 d 的效果较好。

图 3 为污水停留时间对 TN 的去除率的影响图,由图 3 可以看出:多级人工湿地-塘组合系统对 TN 的去除率是随着污水停留时间的增加而提高,污水停留时间到达 5 d 的时候出现拐点,去除率开始随着污水停留时间的增加而降低。TN 的去除率出现拐点的原因可能是因为系统中的溶解氧随着污水停留时间的延长出现减少,从而抑制硝化反应的进行,同时系统中的碳氮比开始下降,直接制约了反硝化作用的进行^[15],导致 TN 的含量开始上升。由此看出多级人工湿地-塘组合系统对 TN 的去除,选取 5 d 停留时间为最佳。

图 4 为污水停留时间对 TN 出水水质的影响图,由图 4 可以看出,此时的出水水质为 5.3 mg/L,出水水质未达到《地表水环境质量标准》,原因在于微生物的生长对环境温度的要求比较高,温度的改变直接影响微生物的活性从而影响生物脱氮效果。硝化菌的最适宜温度为 30 ~ 35 ℃,反硝化菌的适宜温度为 34 ~ 37 ℃,当温度低于 15 ℃时,硝化/反硝化反应会明显受到抑制^[16],本次试验是在低温下进行,温度影响了多级人工湿地-塘组合系统对 TN 的处理效果。

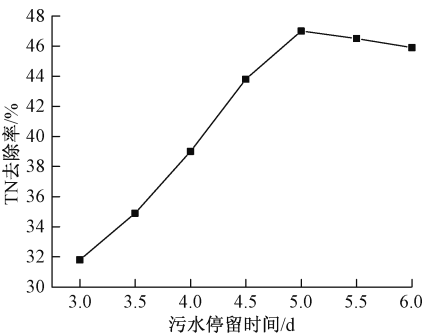


图3 TN 去除效果
Fig. 3 The removal effect of TN

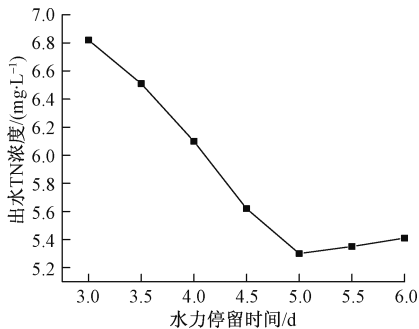


图4 TN 出水水质
Fig. 4 Out water quality of TN

2.3 NH₄⁺-N 去除效果

NH₄⁺-N 的去除主要依赖于硝化反应^[17],本次试验使用多个构筑物串联比单个构筑物有更明显的复氧作用,从而提高 NH₄⁺-N 去除效果。

图5为污水停留时间对 NH₄⁺-N 去除率的影响图,由图5可以看出:多级人工湿地-塘组合系统对 NH₄⁺-N 的去除率是随着污水停留时间的增加而提高,污水停留时间达到5 d是出现拐点,去除率开始随着污水停留时间的增加而降低。NH₄⁺-N 的去除主要有两个途径,第一是通过植物直接摄取合成植物蛋白,然后通过收割从湿地系统中去除,第二是利用硝化作用去除掉。随着污水停留时间的延长,多级人工湿地-塘组合系统会出现个别的厌氧区,在这其中就会抑制硝化作用,同时原本被根系吸附的 NH₄⁺-N 可能重新释放到水中^[18]。由此得出多级人工湿地-塘组合系统去除 NH₄⁺-N 的污水停留时间选在5 d为最佳。

图6为污水停留时间对 NH₄⁺-N 出水水质的影响图,由图6可以看出:当污水停留时间为5 d时 NH₄⁺-N 出水水质为1.7 mg/L,达到最佳效果,同时满足 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》的V类标准。而选取污水停留时间为4.5 d时, NH₄⁺-N 出水水质1.85 mg/L,达到V类水质标准。说明污水停留时间为4.5 d处理效果好。

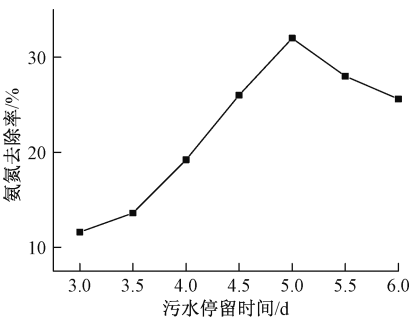


图5 NH₄⁺-N 去除效果
Fig. 5 The removal effect of NH₄⁺-N

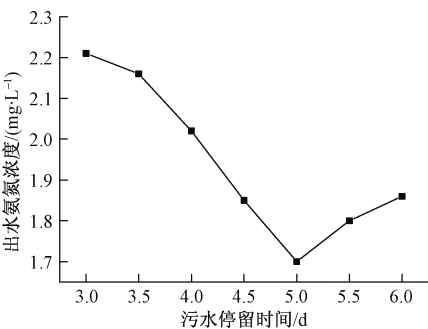


图6 NH₄⁺-N 出水水质
Fig. 6 Out water quality of NH₄⁺-N

3 结论

(1) COD 的去除,一部分是通过直接被基质附着去除,另一部分就是通过微生物的降解去除。COD 随着污水停留时间的增加去除率逐步提高,最后趋于平衡态,选取污水停留时间为3 d,出水水质36.94 mg/L,已经达到《地表水环境质量标准》V类水质标准。说明污水停留时间为3天处理COD的效果好。

(2) TN、NH₄⁺-N 的去除,在一定范围内,污水停留时间越长,去除效果越好。但是到达一个临界时间点之后就会出现下降的现象。原因就在于时间的延长,导致水中溶解氧下降,硝化作用被抑制,同时植物可能开始释放之前吸附的氨氮,致使 NH₄⁺-N 含量上升;另一方面,水中碳氮比的减少直接制约了反硝化作用的进行,加上氨氮的增多,TN 含量开始增加。本试验得出 NH₄⁺-N 在污水停留时间为4.5 d时,出水水质1.85 mg/L,达到V类水质标准。说明污水停留时间为4.5 d处理效果好。TN 的去除由于温度的限制,无法达到《地表水环境质量标准》,同时由于是低浓度污水,在处理方面有一定的难度,在去除率方面能达到47%,属于较好的处理效果。

(3) 试验得出在低温环境下,多级人工湿地-塘组合系统对氮污染程度低的水体的净化效果显

著,可以达到相关出水水质要求,对我国目前的农村径流水污染有一定的指导意义。

参 考 文 献

- 1 杨清海. 中国富营养化水体修复技术进展. 辽东学院学报(自然科学版), 2008;15(2):71—78
Yang Qinghai. Technical advances of eutrophic water restoration in China. Journal of Liaodong University (Natural Science), 2008;15(2):71—78
- 2 杨 勇,王玉明,王 琪,等. 我国城镇污水处理厂建设及运行现状分析. 给水排水, 2011;37(8):35—39
Yang Yong, Wang Yuming, Wang Qi, *et al.* Analysis on current municipal wastewater treatment plants operation in China. Water & Wastewater Engineering, 2011;37(8):35—39
- 3 Hunter J G, Banks M K, Kang D H, *et al.* Zero effluent constructed wetland for slag leachate Remediation. Transportation Research Board 93rd Annual Meeting, 2014
- 4 王全金,朱 平,宋嘉骏,等. 人工湿地组合系统在污染水体治理中的应用. 水处理技术, 2013;39(2):16—21
Wang Quanjin, Zhu Ping, Song Jiajun, *et al.* Combined process of constructed wetlands in the application of the polluted water treatment. Technology of Water Treatment, 2013;39(2):16—21
- 5 宋嘉骏,王全金,朱 平,等. 2 级潜流湿地—塘组合系统校园污水除氮实验. 水处理技术, 2014;40(7):85—87
Song Jiajun, Wang Quanjin, Zhu Ping, *et al.* Experiment research on nitrogen removal by two-stage subsurface flow constructed wetland-ecological pond combined system. Technology of Water Treatment, 2014;40(7):85—87
- 6 乌兰托娅. 水力停留时间对水平潜流人工湿地脱氮除磷的影响研究. 广东农业科学, 2012;39(12):177—178
Wulan tuoya. Effect of hydraulic retention time of horizontal subsurface flow constructed wetlands for nitrogen and phosphorus removal. Guangdong Agricultural Sciences, 2012;39(12):177—178
- 7 Masi F, Caffaz S, Ghrabi A. Multi-stage constructed wetland systems for municipal wastewater treatment. Water Science & Technology, 2013;67(7):1590—1598
- 8 王红强,朱慧杰,张列宇,等. 人工湿地工艺在农村生活污水治理中的应用. 安徽农业科学, 2011;39(22):13688—13690
Wang Hongqiang, Zhu Huijie, Zhang Lieyu, *et al.* Application of constructed wetland in rural sewage treatment. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011;39(22):13688—13690
- 9 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法. 北京:中国环境科学出版社, 2002:123—207
State Environmental Protection Administration. water and wastewater monitoring and analysis method. Beijing: China Environmental Science Press, 2002:123—207
- 10 徐 丽,葛大兵,谢小魁. 水力停留时间对人工湿地运行的影响. 中国农学通报, 2014;30(31):219—223
Xu Li, Ge Dabing, Xie Xiaokui. Impact of hydraulic retention time on wetland running. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014;30(31):219—223
- 11 王世和,王 薇,俞 燕. 水力条件对人工湿地处理效果的影响. 东南大学学报(自然科学版), 2003;33(3):359—362
Wang Shihe, Wang Wei, Yu Yan. Influence of hydraulic condition on treatment effect of constructed wetland. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2003;33(3):359—362
- 12 张列宇,饶本强,熊 瑛,等. 人工湿地黑臭水体处理系统微生物脱氮机理研究. 水生生物学报, 2010;34(2):256—261
Zhang Lieyu, Rao Benqiang, Xiong Ying, *et al.* The microbial mechanism of horizontal constructed wetland used to treated black-odour river. Acta Hydrobiologica Sinica, 2010;34(2):256—261
- 13 尹连庆,谷瑞华. 人工湿地去除氨氮机理及影响因素研究. 环境工程, 2008;26(S1):151—155
Yin Lianqing, Gu Ruihua. Ammonia nitrogen removal mechanism and affecting factors of constructed wetland. Environmental Engineering, 2008;26(S1):151—155
- 14 Huett D O, Morris S G, Smith G, *et al.* Nitrogen and phosphorus removal from plant nursery runoff in vegetated and unvegetated subsurface flow wetlands. Water Research, 2005;39(14):3259—3272
- 15 吴建强,周训华,王 敏,等. 水力停留时间变化对 2 种人工湿地净化效果的影响. 环境工程学报, 2012;6(10):3537—3542
Wu Jianqiang, Zhou Xunhua, Wang Min. Influence of hydraulic retention time variation on purification effects of two different constructed wetlands. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2012;6(10):3537—3542
- 16 李 超,李 卉. 人工湿地脱氮机理研究. 能源与环境, 2010;20(4):7—8
Li Chao, Li Hui. Study on the mechanism of nitrogen removal in constructed wetland. Energy and Environment, 2010;20(4):7—8
- 17 张 玲,崔理华. 人工湿地脱氮现状与研究进展. 中国农学通报, 2012;28(5):268—272
Zhang Ling, Cui Lihua. The denitrification status and its research progress of construction wetland. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012;28(5):268—272
- 18 李志杰,孙井梅,刘宝山. 人工湿地脱氮除磷机理及其研究进展. 工业水处理, 2012;32(4):1—5
Li Zhijie, Sun Jinmei, Liu baoshan. Mechanisms of denitrification and dephosphorization by constructed wetland and its research progress. Industrial Water Treatment, 2012;32(4):1—5

Influence of Hydraulic Retention Time on the Removal of Nitrogen in Multiple Constructed Wetland-pond Combined System

WANG Quan-jin, WAN Bo-yang^{*}, QI Xiao-bo

(School of Civil Engineering and Architecture, East China JiaoTong University, Nanchang 330013, P. R. China)

[**Abstract**] Through multiple constructed wetland-pond combined system dispose polluted water in different hydraulic retention time. Tested and contrasted concentration of the water pollutants. The results showed that in early spring with increasing hydraulic retention time the COD, TN and NH_4^+ -N removal rate increased significantly. When the hydraulic retention time up to 5 days, the COD removal rate began to flatten, TN and NH_4^+ -N removal rate began to decline. Ensure the treatment effect, the hydraulic retention time is reasonable between 4 days and 5 days. This provides a reference for the actual treatment of polluted water.

[**Key words**] multiple constructed wetland pond hydraulic retention time nitrogen removal

(上接第 236 页)

Zhang W, Gu D P, Wang Q M. Navigation analyzation and simulation in Yanshao waterway of Yangzhou segment. Port & Waterway Engineering, 2015;(5):123—128

8 李 瀛, 张 玮. 基于停船视距的船舶领域模型研究. 水运工程, 2014;(1): 36—40

Li Y, Z W. On model about ship domain based on stopping sight distance. Port & Waterway Engineering, 2014;(1): 36—40

9 刘金龙, 张 玮, 刘曙明. 基于停船视距和积分运算的船舶领域计算方法. 中国港湾建设, 2014;(9):1—4

Liu J L, Z W, L S M. Ship domain calculation based on stopping visual range and integral operation. China Harbour Engineering, 2014;(9):1—4

Research on Simulation of Navigation Safety of Restricted Channel in Yanbao Waterway of Yangzhou Segment

ZHANG Wei, SUN Hong-jie, LIU Jin-an, LIU Jie, YANG Song

(College of Harbor Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, P. R. China)

[**Abstract**] There are many critical nodes such as the Baoying lock and many old bridges in Yanbao waterway of Yangzhou segment, it is difficult to torn down and rebuilt due to a shortage of fund, and it will impact Safe navigation of the ship in Yanbao Waterway of Yangzhou Segment in a long time. Based on the channel condition of Yanbao waterway of Yangzhou segment, the analysis of ship safety navigation, and the revelation of road traffic lights, a joint simulation scheduling model of multi-bottleneck is established, which study current and optimized scheduling scheme respectively. The simulation results show that the optimized scheduling scheme is workable and the risk of channel congestion is reduced effectively.

[**Key words**] scheduling simulation inland waterway bridge district security