

孙 鹏,崔康平,许为义,等. 人工快渗-人工湿地-浮岛工艺处理农家乐生活污水[J]. 江苏农业科学,2016,44(6):519-521.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.06.150

人工快渗-人工湿地-浮岛工艺处理农家乐生活污水

孙 鹏¹, 崔康平², 许为义², 王 郑², 陈鸿汉¹

[1. 中国地质大学(北京) 水资源与环境学院, 北京 100083; 2. 合肥工业大学资源与环境工程学院, 安徽合肥 230009]

摘要:针对湖北省十堰市百二河沿途农家乐污水的水质特点,从当地水质规划要求出发,结合当地实际设计基于分散式生活污水处理方式的人工快渗-人工湿地-复合浮岛组合工艺对其进行处理。考察该组合工艺稳定运行过程中对化学需氧量(COD)、总氮(TN)、铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)和总磷(TP)的去除效果及各工艺对水体中污染物的去除贡献率。结果表明,该组合工艺对百二河流域周边农家乐生活污水处理效果较好,对 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN、TP 的平均去除率分别为 86.2%、88.3%、91.1%、89%,系统的抗冲击能力较强,出水的 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度、TN 浓度、TP 浓度达到 GB3838—2002《地表水环境质量标准》的Ⅳ类标准,是一种较好的组合工艺。这为百二河流域地区处理农家乐生活污水提供了重要的借鉴和参考。

关键词:人工快渗;人工湿地;复合浮岛;生活污水;污水处理

中图分类号:X703 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2016)06-0519-03

湖北省十堰市百二河作为丹江口水库重要的汇水河流,其水质是否安全直接威胁到下游作为水源地的百二河水库及神定河的水质。由于该地区经济发展相对落后,居民环保意识不强,基础污水处理设施缺乏,导致百二河沿岸大量农家乐生活污水未经任何处理直接排入河道,同时,按照南水北调中线输水工程的水质要求,当前该地区执行的污水排放标准与水源区规划目标水质落差很大,该地区的水污染控制和水质保障形势非常严峻。因此,采取有效措施开发一种低成本生态处理系统治理分散的农家乐生活污水对于保障水质的安全十分必要。针对该地区农家乐生活污水的特点及单一的生态处理系统效率不高、抗冲击性较弱等问题,提出人工快渗-人工湿地-复合浮岛的组合处理工艺。人工湿地和复合浮岛都是目前生态处理技术领域的研究热点,具有造价低廉、运行费用低、维护简单并具有一定的景观效益等优点,已经被广泛应用在不同水体的治理当中^[1-8]。但是由于生态处理的效果受到植物生长状况及气温等因素影响较大,因此对进水水质和水量的要求较高,而人工快渗处理系统(CRI)采用渗透性能良好的天然介质作为主要渗滤材料代替天然土层,提高了水力负荷的同时使系统抗冲击性更强、更稳定^[9-10]。因此,将 CRI 和生态处理方法结合,实现优势互补,形成抗冲击强、处理费用低、处理效果好的协同处理新工艺,以期更为广大地区的水质改善提供实践经验和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验工艺设计及水质

收稿日期:2016-01-15

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(编号:2012ZX07205-002)。

作者简介:孙 鹏(1987—),男,山东海阳人,博士研究生,主要从事水污染控制技术研究。E-mail: piaofeixue_sp@163.com。

通信作者:崔康平,男,博士,教授,主要从事水体污染控制研究。E-mail: cuikangping@163.com。

本研究采用人工快渗-潜流人工湿地(简称 SSF)-表面流人工湿地(简称 FWS)-复合浮岛(简称 AFB)组合工艺进行农家乐污水处理。其中,人工快渗设计尺寸为 6 座 $2\text{ m} \times 1\text{ m} \times 2\text{ m}$ 的处理池;潜流湿地设计尺寸为 $15\text{ m} \times 4\text{ m} \times 1.5\text{ m}$,表面种植菖蒲、美人蕉;表面流湿地设计尺寸为 $15\text{ m} \times 4\text{ m} \times 1\text{ m}$,水面种植水葱、再力花、梭鱼草等植物;复合浮岛设计尺寸为 $15\text{ m} \times 4\text{ m} \times 2.5\text{ m}$,其上种植菖蒲、美人蕉、千屈菜等,下面悬挂有弹性填料和组合填料;设计的 HRT 为 7 d。组合系统中 CRI 按照湿干比 1:5 交替运行,湿地系统和复合浮床则是连续运行。组合工艺流程见图 1。

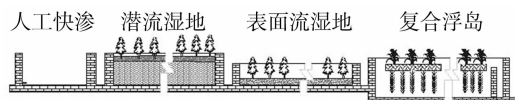


图1 工艺流程

试验于 2014 年 4—10 月在十堰市百二河流域某地区沿岸中试基地进行。试验水体收集于百二河沿途农家乐生活污水,水质水量季节差异较大。本研究用水的进水质:化学需氧量(COD)130~310 mg/L,总氮(TN)、铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)、总磷(TP)浓度分别为 15.6~28.5、9.8~19.1、1.4~5.2 mg/L。

1.2 数据采集处理与分析

每月采集各处理单元出水水样 4 次,分析其中的 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度、TN 浓度、TP 浓度等理化指标。水质指标 TN、TP、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度和 COD 的测定根据《水和废水监测分析方法》(第 4 版),TN 采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定,TP 浓度采用钼酸铵分光光度法, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度采用纳氏试剂分光光度法,COD 采用重铬酸钾法。试验数据为“ $\bar{x} \pm s$ ”,采用 Excel 和 SigmaPlot 12.5 软件进行处理分析。

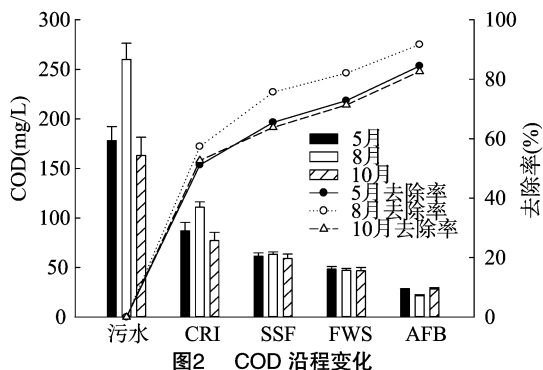
2 结果与分析

2.1 水体中 COD 的变化

系统启动初期,水质波动较大,主要因为处理初期各部分处理单元内部微生物种类和数量不足,而微生物降解是去除

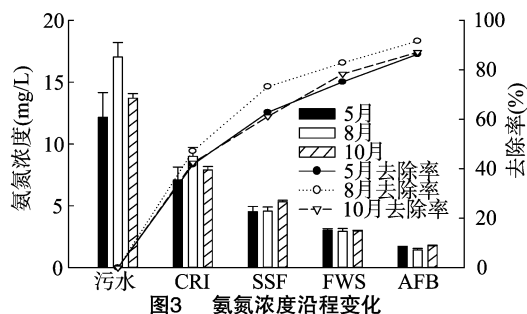
污染物的主要方式。经过1个月左右的启动运行,各滤层介质中的微生物种类和数量趋于稳定,对污染物的降解作用大大增强,同时也提高了生物膜及介质内部的生物絮体对污染物的吸附和截留^[11],系统的出水水质达到稳定,开始连续正常运行。每月采集各处理单元出水4次,本次研究采用5月、8月、10月3个具有相对代表性的时间段进行各单元出水的水质分析。

污水中的COD可以通过微生物降解、植物根际截留、物理吸附等形式去除,其中以微生物降解为主^[12-13]。其过程受水温、溶氧量、微生物种类和数量等因素影响,发生厌氧溶解、缺氧降解和好氧降解反应。系统进水的COD为163~260 mg/L,水质差异性较大,是由于农家乐经营特点决定的。夏天(8月)人流量最大,导致用水量最大,水质也最差,COD平均为260 mg/L,5月和10月则相差不大,人流量相差不大,此时气候处于转折节点,测得进水的COD平均为178、163 mg/L。由图2可知,出水的COD为21.67~28.33 mg/L,3个季节的出水均比较稳定,达到GB388—2002《地表水环境质量标准》的Ⅳ类标准。5月的去除率为84%,8月最高,达到91%,10月最低,为82.6%。可能是由于温度较低,微生物活性及植物活性均较其余月份低所致。对各处理单元进行分析可知,CRI对COD的去除贡献较大,去除率为51%~57%,潜流湿地去除率为11%~19%,表面流湿地为8%左右,复合浮床为12%左右。后续处理单元的植物和浮床生物膜均长势较好,复合浮床中填料的设置显著增加了系统内部微生物的数量和种类,强化了微生物与植物之间的协同作用,保证了系统出水的稳定性,最终得以达标排放。

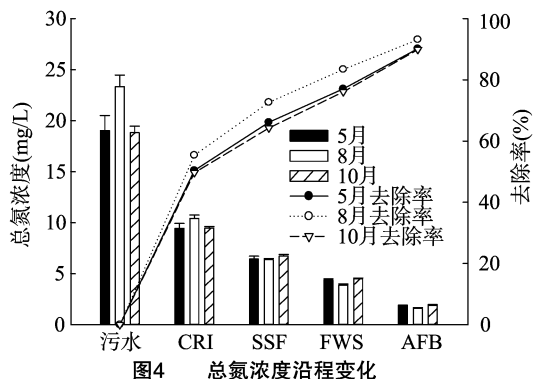


2.2 水体中氮素的浓度变化

氨氮以游离 NH_3 和 NH_4^+ 形式存在,是有机氮化物氧化分解的第1步产物,是水体受污染的一个重要标志, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除主要通过挥发、吸附、植物吸收和微生物硝化作用去除。由图3可知,系统进水的铵态氮浓度为12.17~17.03 mg/L,最终出水浓度为1.43~1.77 mg/L。出水浓度达到GB3838—2002《地表水质量标准》的Ⅳ类标准。去除率最低为5月86.2%,最高为8月91.6%。CRI系统的湿干比为1:5,具有较高的富氧效率,在基质内部落干期硝化细菌活性高,对铵态氮具有较高的去除效率,去除率为45%左右。然后进入潜流湿地,经过湿地内部微生物的硝化作用,去除率为22%左右,再经过表流湿地,去除率为13%左右,最后经过复合浮床系统达标排放。试验过程中,气候和季节的变化对表面流湿地影响最大,CRI和潜流湿地因其结构关系受影响较少。



氮素是水生生物必需的营养因素,也是研究认为引起水体富营养化的限制性因素之一^[14]。污水中总氮主要以有机氮、铵态氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮的形式存在。研究结果表明,水体中氮素的去除主要靠微生物的硝化-反硝化作用,而污水中参与氮循环的微生物大量附着在植物根系或者填料位点上,确保了硝化-反硝化的顺利进行^[15-17]。由图4可知,试验初期进水的总氮浓度为18.83~23.33 mg/L,经过CRI、潜流湿地、表面流湿地和复合浮床的处理,最终出水浓度为1.6~1.9 mg/L,出水水质达到GB3838—2002《地表水质量标准》的Ⅳ类标准。整个处理过程中,CRI的处理效率最高,处理率为49.7%~55.4%,8月的处理效率高于5月和10月,这是由于5月和10月温度相对较8月低,微生物活性相对不强,同时,8月是湿地植物生长最旺盛的季节,植物体对氮素和磷素的吸收也是生态法处理过程中重要的环节,并且发达的根系也为微生物提供了丰富的附着位点,使得8月的处理效率最高。污水经过CRI处理后进入潜流湿地过程中,通过湿地植物的吸收和内部硝化菌的硝化-反硝化作用,TN浓度降低了16%左右,后经表流湿地和复合浮床的进一步进化,最终出水达标排放。



2.3 水体中TP的浓度变化

污水中磷常见的存在状态有磷酸盐(H_2PO_4^- 、 HPO_4^{2-} 、 PO_4^{3-})、聚磷酸盐和有机磷,聚磷酸盐在水中能逐渐水解成磷酸盐。去除污水总磷主要通过植物吸收、基质过滤、吸附、共沉、离子交换和微生物分解来实现。组合工艺对总磷的去除效果见图5,由图5可知,系统对总磷的去除率为87%~92%,进水的总磷浓度为2.6~4.5 mg/L,水质水量随季节波动较大,经过各部分工艺处理,最终出水的总磷浓度为0.34~0.37 mg/L,出水水质达到GB3838—2002《地表水质量标准》的Ⅳ类标准。其中,CRI系统对总磷的去除率最高,平均为43%,潜流湿地平均去除率为17%,复合浮床的去除率

为20%左右,表面流湿地去除率最低,可能是因为植物的枯枝落叶在水中腐烂分解,将磷重新释放回到水体中。

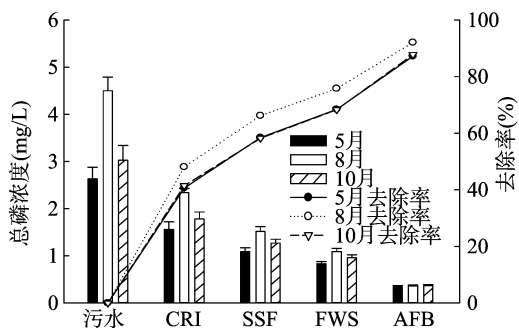


图5 总磷浓度沿程变化

2.4 温度的变化

试验的组合工艺对污染水体的净化主要依靠微生物降解完成,而温度对植物的生长发育及微生物的新陈代谢有重要影响,温度的高低直接决定微生物活性的强弱和数量的多少。因此,在自然状态下温度与系统对污染物的去除率成正相关。温度较高时,微生物活性强,湿地植物和浮床植物代谢旺盛,对污水的净化效果明显比温度低时要好。有研究表明,当水温低于9.2℃时,浮床植物美人蕉的生长基本处于停滞状态^[18]。Brdjanovic对微生物与温度的关系进行了研究,结果发现如果温度变化时间较长,则系统内部的微生物群落就会为适应新环境而进行调整,其群落种类和数量均会发生变化^[19]。Gao研究发现,异养细菌的生物量表现出明显的季节性变化^[20]。由图6可知,8月温度最高,此时微生物活性最强,植物处于代谢旺盛季节,因此处理效率最高。5月比10月平均气温稍高一些,同时5月处于转暖时期,而10月则相反,气温转凉,因此5月系统的处理效率要优于10月。另外,系统运行过程中经历过几次较强的降雨、降温过程,经过检测虽然去除率有所下降,但都保持在80%以上的去除率,最终出水效果均达到Ⅳ类水标准,说明系统的抗冲击能力较强。

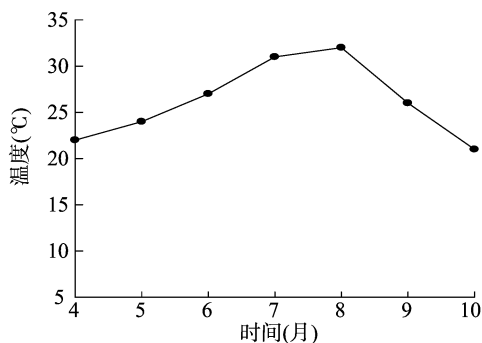


图6 温度变化

3 结论

CRI/人工湿地/复合浮岛组合工艺对百二河沿途农家乐排放生活污水具有很好的处理效果,对COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN、TP的平均去除率分别为86.2%、88.3%、91.1%、89%,出水的COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度、TN浓度、TP浓度达到了GB3838—2002《地表水环境质量标准》的Ⅳ类标准。组合工艺运行过程中,各工艺对水体中污染物的去除贡献率不同。其中,CRI的去除率最高,对污染物的去除贡献最大,潜流湿地和复合浮岛次之,复合浮岛对磷的去除要优于潜流湿地,而潜流湿地对

氮的去除则优于复合浮岛,表面流湿地受到环境影响较大,去除贡献率在组合工艺中最低。该组合工艺的抗冲击能力较强,出水水质稳定,同时运行维护费用低,管理方便,达到了当地对水质的较高要求,为百二河流域及其他地区处理农家乐生活污水提供了重要的借鉴和参考。

参考文献:

- [1] 周楠楠,高芮,张择瑞. 浮床植物系统对富营养化水体的净化效果[J]. 江苏农业科学,2013,41(3):337-339.
- [2] 李先宁,宋海亮,朱光灿,等. 组合型生态浮床的动态水质净化特性[J]. 环境科学,2007,28(11):2448-2452.
- [3] 蒋悦,童琰,由文辉,等. 3种浮床植物生长特性及氮、磷吸收的优化配置研究[J]. 中国环境科学,2011,31(5):774-780.
- [4] 王金丽,颜秀勤,郑兴灿,等. 人工强化改善滞留景观水体水质的研究[J]. 中国给水排水,2014,30(19):84-87.
- [5] 孙小锋,倪丽,陈宏观. 农村生活污水处理方式与运行模式的思考[J]. 江苏农业科学,2011(1):419-421.
- [6] 王忠敏,梅凯. 氮磷生态拦截技术在治理太湖流域农业面源污染中的应用[J]. 江苏农业科学,2012,40(8):336-339.
- [7] 陈华清,李义连,宁宇,等. 人工快速渗滤系统堵塞-恢复实验研究[J]. 环境污染与防治,2010,32(3):60-63.
- [8] Ye F, Li Y. Enhancement of nitrogen removal in towery hybrid constructed wetland to treat domestic wastewater for small rural communities[J]. Ecological Engineering,2009,35(7):1043-1050.
- [9] 潘彩萍,王小奇,钟佐桑. 人工快渗处理牛湖水体的实践[J]. 中国环境科学,2002(9):239-243.
- [10] 刘家宝,杨小毛,王波,等. 改进型人工快渗系统处理污染河水中试[J]. 中国给水排水,2006,22(13):14-17.
- [11] 曹明利,崔康平,许为义,等. 人工快渗/复合人工湿地工艺处理园区污水厂尾水[J]. 中国给水排水,2012,28(19):12-14.
- [12] 王国芳,汪详静,吴磊. 组合型生态浮床中各生物单位对污染物去除的贡献及净化机理[J]. 水土保持与环境工程,2012,34(4):136-141.
- [13] Hoppe H G, Kim S J, Gocke K. Microbial decomposition in aquatic environments: combined process of extracellular enzyme activity and substrate uptake[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1998,54(3):784-790.
- [14] Conley D J, Paerl H W, Howarth R W, et al. Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus[J]. Science,2009,323(5917):1014-1015.
- [15] 王琨,王慧玲,孙小磊,等. 微生物与植物在河道模型中的黑臭水治理效果[J]. 环境科学与技术,2012,35(6):126-129.
- [16] Gruber N, Galloway J N. An earth-system perspective of the global nitrogen cycle[J]. Nature,2008,451(7176):293-296.
- [17] Wu J, Zhang J, Jia W L, et al. Impact of COD/N ratio on nitrous oxide emission from microcosm wetlands and their performance in removing nitrogen from wastewater[J]. Bioresource Technology, 2009,100(12):2910-2917.
- [18] 韩锡荣,黄浩,周大众,等. 低温条件下组式生态浮床系统净化微污染水体的特性研究[J]. 节水灌溉,2015(1):76-81.
- [19] Brdjanovic D, Logemann S, Loosdrecht MCMV, et al. Influence of temperature on biological phosphorus removal process and molecular ecological studies[J]. Water Research,1998,32(4):1035-1048.
- [20] Gao G. The mineralization of heterotrophic bacteria in low-wetland fish ponds[J]. Journal of Lake Sciences,1998,10(3):61-67.