

文章编号:1671-6833(2012)01-0079-05

土壤生态系统处理生活污水的应用研究

蒋利伟, 燕启社, 黄 飞, 张瑞芹

(郑州大学 环境科学研究院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 对土壤生态处理技术处理生活污水进行了研究, 在不同时期对系统进水和出水中化学需氧量(COD_{cr})、总氮(TN)、总磷(TP)和悬浮物(SS)的浓度进行了监测, 监测结果表明: 由于采用地埋式设计, 系统在不同季节受环境变化影响较小, 运行稳定, 当进水污染物浓度在一定范围内时, 出水水质达到城镇污水处理厂污染物排放标准一级(B)标准, 运行过程同时表明土壤生态处理技术具有能耗低、零排放、景观和谐等特点。

关键词: 生活污水; 土壤生态系统; COD_{cr} ; TN; TP

中图分类号: X506 **文献标志码:** A doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2012.01.020

0 引言

随着社会经济的发展, 农村及偏远地区分散性污水的治理逐步引起人们的重视, 传统的活性污泥法由于建设费用、运行成本及管理方面的原因, 不适合在这些地区推广应用, 土壤生态处理技术由于具有低能耗、零排放、景观和谐等特点, 适用于这些地区的生活污水的处理。土壤生态处理技术属于一种土地处理法^[1-5], 是一项不断发展的传统污水处理技术, 该技术利用土壤—微生物—植物等构成的生态系统自我调控机制和对污染物的综合净化功能, 实现污水资源化与无害化。充分利用当地地形和地貌^[6-7], 可以降低工程建设量, 投资为常规二级处理的 $1/2 \sim 1/3$; 无需特殊管理, 能耗为常规方法的 $1/3 \sim 1/5$; 出水水质与二级处理相当, 且效果稳定, 在国外已有推广应用, 目前河南省没有发现该技术的应用报道, 本研究将为该技术的推广应用提供理论和实践基础。

1 实验部分

1.1 工程设计

在郑州大学新校区内, 建立 120 m^2 污水生态处理工程, 处理学生宿舍洗手间排放的污水。土壤生态处理技术主要由布水系统、复合填料土壤层、

集水系统3部分组成。土壤生态处理技术的关键是配制复合土壤。通过土柱实验, 优选复合填料土壤层的合适配比。复合填料土壤层采用肥力较高的耕作土、质轻多孔的陶粒、用作补充碳源的农作物秸秆以及一定形状的炉渣按一定比例配制而成; 在复合土壤层上部回填原土; 其上种植生长快、耐水、耐肥的牧用型草——黑麦草, 土壤生态处理技术的复合土壤层深度为 0.6 m 。为了有效回收利用水资源以及防止二次污染, 在土壤生态系统底部敷设收集系统和高分子防水抗渗材料。净化后的出水汇入收集系统, 收集系统由砂滤层、集水渠、收集井组成。

学生生活污水从化粪池经潜污泵提升进入调节池, 经过均匀水质水量和初级厌氧处理, 去除大部分颗粒悬浮物, 降低了土壤生态处理系统堵塞的几率。污水经由布水系统被均匀分配到复合填料土壤层, 由于土壤的物理吸附、微生物降解、植物根系吸收等综合作用得到净化; 净化后的出水由集水系统收集, 自流进入集水井, 经消毒后用于冲厕、景观水体或绿化灌溉。化粪池和调节池底部沉淀的污泥可用于农业施肥。在工程正常运转期间对其处理效果、运行状况进行考察。

1.2 工艺流程

污水处理流程如图1所示。

收稿日期: 2011-09-08; 修订日期: 2011-11-16

基金项目: 教育部重点实验室开放基金资助项目(KL-PPEC-2010-4)

作者简介: 蒋利伟(1981-), 男, 河南新乡人, 硕士, 研究方向为水污染防治研究与技术; 通信作者: 张瑞芹(1965-), 女, 郑州大学教授, 主要从事环境污染控制与治理研究。E-mail: rqzhang@zzu.edu.cn.

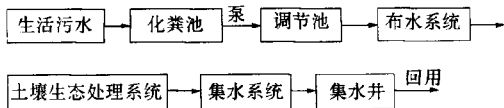


图1 土壤生态系统处理工艺流程

Fig.1 Process flow diagram of soil ecological system

1.3 工程运行概况

系统设计进水量为 $5 \text{ m}^3/\text{d}$, 水力负荷为 $0.042 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$. 自 2009 年 9 月至 2010 年 6 月对系统运行状况进行了连续监测, 系统的出水率保持在 50% ~ 90% 之间. 在天气炎热蒸发量大的情况下出水量有所降低, 通常情况下出水率不高于 90%, 当有降雨时, 由于雨水的下渗, 系统出水量有所增加.

1.4 实验方法

通过对进水、出水中 COD_{Cr} 、TN、TP 和 SS 水质指标的分析, 考察该系统对生活污水的处理效果.

COD_{Cr} 的测定采用微波密封消解法.

TN、TP 的测定采用微波消解联合测定法.

SS 的测定参考《水和废水监测分析方法》(第四版).

2 结果与讨论

2.1 土壤生态处理系统对 COD_{Cr} 的去除

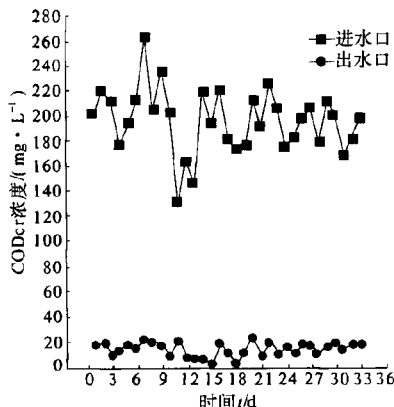
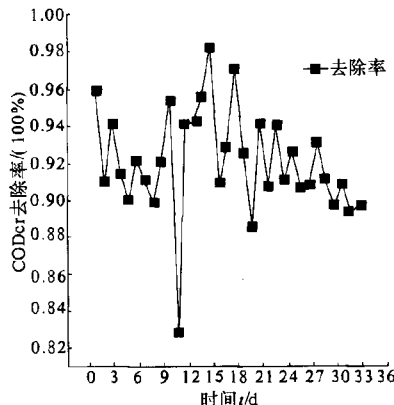
土壤生态处理系统对有机物的去除主要是靠异养微生物的代谢作用^[8-10], 土壤吸附和植物根系的吸收. 系统运行稳定后, 进水口 COD_{Cr} 为 121 ~ 252 mg/L 范围内, 平均为 215 mg/L . 出水口 COD_{Cr} 稳定在 13 ~ 47 mg/L , 平均浓度为 28 mg/L , 达到设计出水水质的要求(小于 50 mg/L), COD_{Cr} 去除率保持在 60% ~ 98% 之间, 平均去除率为 91%, 结果如图 2、图 3 所示.

在土壤生态处理系统中, 有机物首先被渗滤介质及其表面的微生物过滤吸附而截留在系统内^[11], 最终通过微生物的作用特别是好氧微生物的降解作用得以去除.

首先, 填料通过机械过滤与吸附作用将有机污染物从污水中去除, 其中吸附有两方面的内容: ①介质颗粒对悬浮物和溶解固体的吸附作用; ②介质颗粒表面的生物膜以及颗粒之间的生物絮体对有机污染物的吸附作用. 正是由于系统的这种过滤和吸附功能为水中有机污染物的进一步氧化分解和生物吸收创造了条件.

其次, 在①中被截留与吸附的有机物颗粒逐步被水解成无机小分子, 最终被微生物氧化分解.

好氧微生物的氧化分解是有机物的主要去除途径, 在有氧条件下, 这些微生物先把有机物氧化分解成中间产物, 有些中间产物被合成细胞物质, 有的被直接氧化为无机物, 此过程是耗氧过程, 需要有足够的溶解氧, 因此, 为了提高系统对有机污染物的去除效果, 需要保证系统有良好的透气性, 这也是土壤生态处理技术需要不断完善与发展的方面之一.

图2 土壤生态处理系统对 COD_{Cr} 的去除Fig.2 COD_{Cr} removal of soil ecological system图3 土壤生态处理系统对 COD_{Cr} 的去除率Fig.3 COD_{Cr} removal rate of soil ecological system

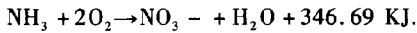
2.2 土壤生态处理系统对总氮(TN)的去除

生活污水的进水 TN 浓度范围为 27 ~ 68 mg/L , 平均浓度为 47.1 mg/L . 出水 TN 平均浓度为 15.9 mg/L . 平均去除率达到 62%. 达到设计出水水质要求(小于 20 mg/L). 结果如图 4、图 5 所示.

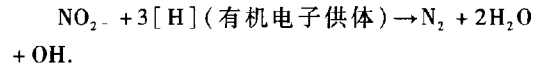
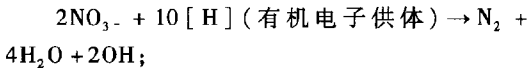
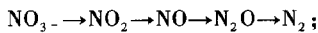
生活污水中氮主要以有机氮和铵态氮的形式存在, 氮的主要去除途径有植物吸收、生物脱氮以及氨氮挥发, 其中生物脱氮起主要作用, 微生物脱氮分为 3 个相互关联的过程.

(1)氨化作用 即在微生物作用下将污水中的有机氮转化为 $\text{NH}_4\text{-N}$,氨化作用非常迅速,在一般污水处理设施中都可以完成,所以微生物除氮的关键是硝化—反硝化作用。

(2)硝化作用 即将氨化过程产生的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 在好氧条件下^[12] ($\text{DO} > 0.5 \text{ mg/L}$) 首先氧化为 $\text{NO}_2\text{-N}$ 再进一步氧化为 $\text{NO}_3\text{-N}$,此过程由亚硝化菌和硝化菌共同完成,该反应为



(3)反硝化作用 反硝化是指在缺氧或厌氧 ($\text{DO} < 0.3 \sim 0.5 \text{ mg/L}$) 条件下, $\text{NO}_3\text{-N}$ 在微生物作用下作为电子受体被还原为 N_2 或者 N_2O ,反应式为:



虽然植物生长需要一定的氮,例如植物可以直接利用硝酸氮和氨氮,但是植物吸收对总氮的去除率很有限,一般不超过总去除率的 20%^[13],在很大程度上植物的存在只是为微生物的生长提供了较好的生长环境^[14],氮的去除主要还是通过硝化—反硝化作用来完成,因此依靠植物吸收氮,提高系统对总氮的去除能力空间不大;为系统提供良好的硝化—反硝化条件即好氧—厌氧条件是提高系统对氮去除的根本途径^[15]。

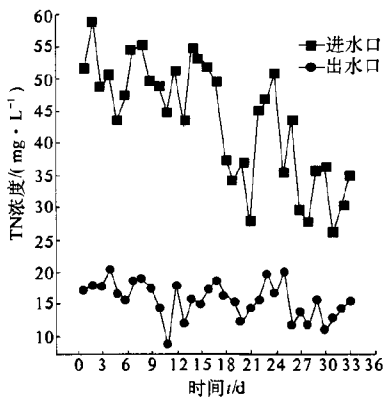


图4 土壤生态处理系统对 TN 的去除

Fig. 4 TN removal of soil ecological system

2.3 土壤生态处理系统对总磷 (TP) 的去除

系统进水口的 TP 浓度为 $2.9 \sim 8.2 \text{ mg/L}$,平均浓度为 4.58 mg/L . 系统稳定运行期间,出水口 TP 浓度为 $0.01 \sim 0.90 \text{ mg/L}$,平均浓度为 0.34 mg/L . TP 的去除率稳定,平均去除率达到 90%,

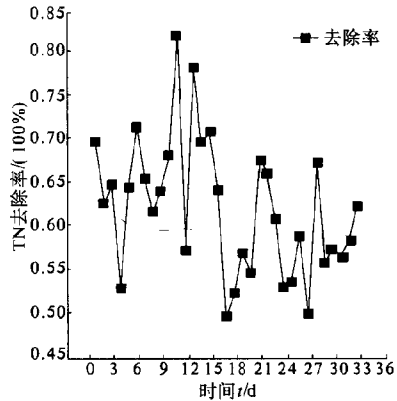


图5 土壤生态处理系统对 TN 的去除率

Fig. 5 TN removal rate of soil ecological system

实验结果如图 6 所示。

土壤生态处理系统对磷的去除包括植物的吸收、微生物作用和土壤化学固磷。在土壤生态处理系统中,绝大部分磷是通过土壤化学固磷作用而被去除的。土壤固磷与土壤所含的 Al、Fe 和 Ca 等金属离子的数量以及土壤的 pH 值和氧化还原状态等有关^[16-17]。土壤中 Al、Fe 和 Ca 等矿物质含量多,在还原条件和较高的 pH 情况下有利于土壤固磷^[18]。污水中溶解性的磷可被植物直接吸收,通过植物的收割从土壤生态处理系统中去除。磷的另一去除途径是通过微生物的作用,一方面通过微生物正常代谢,磷被微生物正常同化吸收;另一方面是通过聚磷菌的过量摄磷作用而使磷得到去除。再就是磷被介质(土壤或填料)通过吸附或离子交换作用去除。

土壤生态处理系统中磷的去除机理主要是土壤吸附固定,土壤作为一个磷的储存库,对磷具有极大的吸附固定能力,污水中 99% 的磷可吸附而贮存于土壤中^[19]。土壤对磷的吸附容量与土壤所含的配土成分、土壤中的铝、铁、钙等金属离子数量以及土壤 pH 值有关。一般情况,含有矿物质多并具有团粒结构的土壤对磷具有更大的吸附固定能力。污水土地处理系统除磷过程中 BOD_5/TP 或 COD/TP 值是有一定范围的,土壤生态处理系统除磷工艺主要是在缺氧及厌氧条件下运行的,因此缺氧及厌氧条件下微生物对基质的利用率是该工艺在低碳源情况下正常运行的主要因素,控制进水的 BOD_5/TP 或 COD/TP 以及污水在土壤中的停留时间,是提高除磷效果的关键。

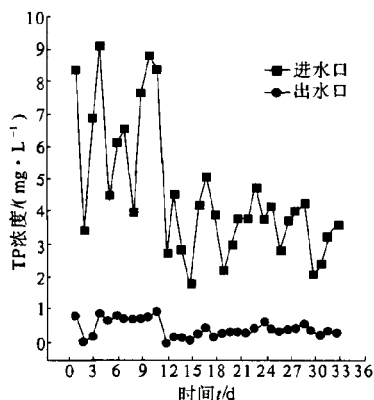


图6 土壤生态处理系统对TP的去除

Fig. 6 TP removal of soil ecological system

2.4 土壤生态系统对悬浮物的去除

土壤生态处理系统去除悬浮物的途径主要是填料的过滤作用,土壤颗粒间的孔隙具有截留、滤除水中悬浮颗粒的性能。影响土壤物理过滤净化的因素有土壤颗粒大小、颗粒间孔隙形状和大小、孔隙分布、污水中悬浮颗粒性质、多少、大小等。

系统对SS的去除十分有效,进水口悬浮物浓度为200~300 mg/L,出口水中悬浮物的浓度可降低到20~30 mg/L,去除率达92%。悬浮物大量进入系统容易造成系统堵塞,因此在进入系统之前应该对污水进行预处理以降低进入系统中悬浮物含量,大量研究表明渗滤系统间歇运行可以延长系统寿命,因为,在系统落干期进入系统的有机悬浮颗粒被微生物充分降解,可以有效延缓系统堵塞。

2.5 温度的影响

温度对微生物的活性有着很大的影响,温度过高和过低都会影响微生物活性,导致系统处理效果降低。郑州属温带季风气候,冬季寒冷。为了抵御低温对微生物活动的影响,系统采用地埋式设计,整个系统处于冻土层以下。检测结果表明:系统几乎不受冬季低温的影响,处理效果没有明显降低,因此系统全年都能够有效运行。

3 结论

对土壤生态系统的连续监测表明,当水力负荷以及进水中 COD_{cr} 、TN、TP、SS浓度在所述范围内变化时,其平均去除率分别为91%、62%、90%和92%,出水浓度分别小于50、20、1.0和20 mg/L,符合《城市污水处理厂水质排放标准(一级B标准)》,优化系统内部厌氧—好氧环境是提高土壤生态处理技术对氮去除的关键。监测数据表

明采用地下式设计很好地解决了低温对土壤生态处理技术造成的消极影响。

参考文献:

- [1] 杨余维,赵婷,谢可军,等.植物—土壤渗滤法对农村生活污水的处理工艺研究[J].安全与环境工程,2009,16(1):51-54.
- [2] 谭海周.土地渗滤系统处理生活污水的研究[D].天津:南开大学环境科学与工程学院,2008.4-10.
- [3] 冯明雷,张志勇,杨林,等.低负荷人工湿地对城市生活污水处理效果的研究[J].扬州大学学报,2007,3(28):72-76.
- [4] 陈艺,陈昕.用土壤法进行生活污水的深度处理[J].环境科学与管理,2008,33(6):87-91.
- [5] HERNÁNDEZ A F, URKIAGA A, FUENTES L D, et al. Feasibility studies for water reuse projects: an economical approach[J]. Desalination, 2006, 187(1-3): 253-261.
- [6] 刘建斌,范飞,楚尚辉,等.北京师范大学亚太实验学校生活污水处理工程改造[J].中国给水排水,2007,2(23):33-35.
- [7] 朱丽,孙理密.地下渗滤在大学园区生活污水处理中的应用[J].环境工程,2007,3(25):96-98.
- [8] 吴晓磊.人工湿地废水处理机理[J].环境科学,1995,16(3):83-86.
- [9] EKAMA G A, SOTEMANN S W, WENTZEL M C. Biodegradability of activated sludge organics under anaerobic conditions[J]. Water Research, 2007, 41(1): 244-252.
- [10] JOSS A, ZABCZYNSKI S, GOBEL A, et al. Biological degradation of pharmaceuticals in municipal wastewater treatment; Proposing a classification scheme[J]. Water Research, 2006, 40(10): 1686-1696.
- [11] RONALD D D, REZA P. Effects of soil oxidation reduction conditions on internal oxygen transport, root aeration, and growth of wetland plants. proceedings of a conference on sustainability of wetlands and water resources[J]. USA: University of Mississippi, 2000.
- [12] 周群英,高廷耀.环境工程微生物学[M].北京:高等教育出版社,2000:250-254.
- [13] 王书文,刘庆玉,焦银珠,等.生活污水土壤渗滤就地处理技术研究进展[J].水处理技术,2006,32(3):5-10.
- [14] ZHANG Dong-qing, RICHARD G, TAN S K. Constructed wetlands in China[J]. Ecological Engineering, 2009(35):1367-1368.
- [15] 张建,黄霞,施汉昌,等.地下渗滤系统污水处理中的应用研究进展[J].环境污染治理技术与设备,2002,39(4):47-51.

- [16] SAKADEVAN K, BAVOR H J. Phosphate adsorption characteristics of soils, slags and zeolite to be used as substrates in constructed wetland systems [J]. *Water Research*, 1998, 32(2):393-399.
- [17] ARIAS C A, BUBBA M D, BRIX H. Phosphorus removal by sands for use as media in subsurface flow constructed reed beds [J]. *Water Research*, 2001, 35(3):1159-1168.
- [18] WERKER A G, DOUGHERTY J M. Treatment variability for wetland wastewater treatment design in cold climates. *Ecological Engineering* [J], 2002, 19(1): 1-11.
- [19] 董泽琴. 土壤地下渗滤净化沟污水除磷脱氮工艺及影响因素初探[J]. *贵州环保科技*, 2002, 8(3):18-25.

Application of Soil Infiltration System for Domestic Sewage

JIANG Li-wei YAN Qi-she HUANG-Fei ZHANG Rui-qin

(Institute of Environmental Sciences, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to evaluate the removal efficiency of soil ecological system for contaminants, concentrations of COD_{cr}, TN, TP and SS which were from inflow and effluent were monitored continuously in different seasons, respectively. The results showed that the operation situation was affected hardly by temperature change because of the under-ground design of the system, and the water quality of effluent content with the "urban sewage treatment plant pollutant discharge standard (GB18918-2002)" when the concentration of inflow was limited within a certain range. The operation process also showed that the technology had characteristics of less energy consumption, less wastes discharge, and landscape harmony. Soil ecological wastewater treatment technology has opened up a new approach for the dispersive sewage management of tourist resorts, remote villages and other areas.

Key words: domestic sewage; soil ecological system; COD_{cr}; TN; TP

(上接第70页)

- [4] 赵天增. 核磁共振氢谱[M]. 北京: 北京大学出版社, 1983: 80-86.
- [5] 赵天增. 核磁共振碳谱[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1993: 204-213.
- [6] 方起程, 赵天增, 秦海林. 天然药物化学研究[M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2006: 28-54.

NMR Numerical Analysis of Sutchuenoside A

WU Ming-jian¹, ZHANG Yan^{1,2}, ZHANG Hai-yan², ZHAO Tian-zeng^{2*}

(1. College of Chemical Engineering and Energy, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Key Laboratory of Natural Products, Henan Academy of Science, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Sutchuenoside A, one of the flavonol glycosides, was studied using the NMR data analysis method and was detected through 1D (¹H, ¹³C NMR and DEPT) and 2D NMR (¹H-¹H COSY, HSQC, and HMBC) techniques. The results show that the ¹H and ¹³C NMR spectra are completely analyzed and assigned, and the structures of sutchuenoside A are further identified. This research provided not only NMR data analysis methods and evidences, but also structures information for the structures identification of flavonol glycosides.

Key words: NMR; assignment; 2D NMR; sutchuenoside A