

土壤过滤系统处理农村生活污水过程中 污染物的变化规律

裴亮¹, 梁晶², 周翀²

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;

2. 水利部综合事业局 新华水利控股集团公司, 北京 100053)

摘要: 采用一种土壤过滤系统处理农村生活污水, 分析了该工艺处理过程中 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、全氮(TN)和全磷(TP)的时空变化规律。实验结果表明: 去除季节效果由高到低依次为: 夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季。土壤过滤系统对 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 和 TP 的最高去除率分别达到 87.3%、88.2%、75.9%、59.3% 和 74.1%; 在土壤过滤系统内, 沿着水流的水平方向, 各物质去除率逐渐增大。采用该技术处理后, 排水中 TN、TP 的浓度较高, 用于灌溉可减少化肥使用量和节省淡水资源。

关键词: 土壤过滤系统; 时空变化规律; 农村生活污水

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)02-0054-03

Variation rule of pollutant in treatment process of rural domestic sewage by soil filter system

PEI Liang¹, LIANG Jing², ZHOU Chong²

(1. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Process, Institute of Geographic Sciences and

Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Xinhua Hydraulic

Holding Company, Bureau of Comprehensive Development of Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China)

Abstract: By using a soil filter system to treat rural domestic sewage. The paper analyzed the change rules of space and time of COD_{Cr} , BOD_5 , $\text{NH}_3\text{-N}$, TN and TP in the process of treatment. The result shows that removal efficiency from high to low is summer > autumn > spring > winter. The highest removal efficiencies of COD_{Cr} , BOD_5 , $\text{NH}_3\text{-N}$, TN and TP in the process were 87.3%, 88.2%, 75.9%, 59.3% and 74.1% respectively. Within the soil filter system, the removal efficiency every substance increase with water flow direction. The concentrations of TN and TP in treated water are higher. These treated water that is used as irrigation can reduce the amount of fertilizer and save freshwater resources.

Key words: system of soil filter; change rule of space and time; rural domestic sewage

富营养化是水体污染的重要特征, 未经处理就直接排放的农村生活污水是造成水体富营养化的主要原因之一。农村生活污水具有量少、分散、远离排污管网等特点, 因此选择一种适宜的技术对水域周边地区的农村生活污水进行处理, 是缓解富营养化的有效方式^[1-2]之一。土壤过滤系统处理技术是一种利用土壤处理污水的方法^[3-5], 是一项不断发展的传统污水处理技术, 利用土壤-微生物-植物等构成的土壤过滤系统自我调控机制和对污染物的综合净化功能, 可实现污水资源化与无害化。该技术充分利用当地地形、地貌^[6-7], 可以降低工程建设

量, 投资为常规二级处理的一半; 无需特殊管理, 能耗为常规方法的 1/4; 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。本研究提出用一种简易土壤过滤系统处理再生农村生活污水, 流程短、速度快、水质好、富集比大、成本低、能耗低, 用处理后的再生水进行灌溉也可以减少化肥使用量, 节省淡水资源, 具有广阔的应用前景。

1 试验部分

1.1 试验装置和方法

土壤过滤系统主要由布水系统、复合填料土壤

收稿日期: 2013-11-11; 修回日期: 2013-11-19

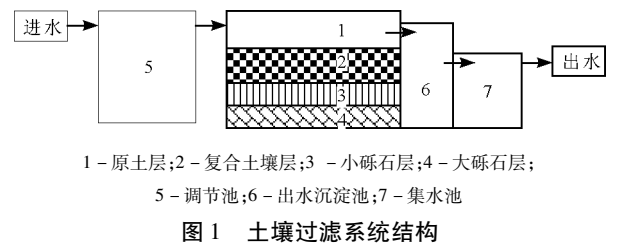
基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(51109197); 国务院南水北调办公室政策及技术研究中心委托项目

作者简介: 裴亮(1982-), 男, 江苏南京人, 博士, 助理研究员, 主要从事水资源高效利用研究。

通讯作者: 梁晶(1983-), 女, 陕西西安人, 硕士, 工程师, 主要从事水资源高效利用研究。

层、集水系统 3 部分组成,其关键是配制复合土壤。复合土壤层由肥力较高的耕作土、质轻多孔的陶粒、用作补充碳源的农作物秸秆以及炉渣按一定比例配制而成,该复合土壤层深度为 30 cm,在其上部回填原土。为了有效回收利用水资源以及防止二次污染,在土壤过滤系统底部铺设收集系统和高分子防水抗渗材料。收集系统由砂滤层、集水渠、收集井组成。农村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,防止土壤过滤系统堵塞。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、化学作用、微生物降解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。

土壤过滤系统结构见图 1。土池高度为 90 cm、长 150 cm、宽 110 m,原土层高 30 cm,复合土壤层高 30 cm,小砾石层高 15 cm、大砾石层高 15 cm。农村生活污水通过进水管进入土池后先进入大砾石层,而后自下而上依次经过小砾石层、复合土壤层、原土层过滤处理后,溢出到出水沉淀池,再进入集水池。装置经过 2010 年 4 月-2011 年 8 月的运行,运行情况良好。



1.2 测试项目和方法

该试验采用农村生活污水为原水,原水水质和分析方法见表 1。在土壤池中间距进水口 50 cm 和 100 cm 处竖向设置了穿孔取样管,用于取水样和测定系统内的参数。

2 结果与分析

2.1 不同季节污染物的去除效果

生活污水中污染物的去除效果随季节发生变化(表 2)。由表 2 可知,污水中 COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N、TN 和 TP 的去除效果由高到低依次为:夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季。采用土壤过滤系统,夏季、秋季 COD_{Cr} 的去除率均在 80% 以上,冬季为 76.8%,COD_{Cr} 的去除效果随季节变化较小。BOD₅ 的平均去除率夏季在 85% 以上,冬季为 61.2%。NH₃-N 的

平均去除率夏季为 75.9%,但冬季仅为 43.1%,季节变化比较明显。系统全氮、全磷去除率随季节也有一定波动,全氮、全磷去除率夏季最高分别为 59.3% 和 74.1%,春秋季系统对全氮、全磷的去除率分别保持在 50% 和 60% 以上,冬季相对较低。

表 1 测试项目、方法及原水水质			mg/L
项目	数值	分析方法	
COD _{Cr}	181 ~ 301	重铬酸盐法测定	
BOD ₅	79 ~ 154	稀释接种法	
NH ₃ -N	41 ~ 91	纳氏试剂法测定	
TN	54 ~ 112	紫外分光光度法	
TP	2.8 ~ 11.3	铝酸按分光光度法	

表 2 不同季节各污染物的去除率						%
	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP	
2010 年夏季	87.3	88.2	75.9	59.3	74.1	
2010 年秋季	81.2	74.8	57.3	54.4	69.8	
2010 年冬季	76.8	61.2	43.1	45.5	61.6	
2011 年春季	78.6	71.5	53.2	51.2	64.4	

2.2 污染物在土壤过滤系统水流方向的沿程变化规律

2.2.1 COD_{Cr} 和 BOD₅ 在土壤过滤系统水流方向的沿程变化规律 试验期间,不同月份各污染物浓度变化趋势基本一致,以 7 月份的监测数据结果为例进行分析。表 3 可知,进水中 COD_{Cr} 浓度有一定的波动,由于 COD_{Cr} 夏季平均去除率为 87.3%,所以出水 COD_{Cr} 浓度稳定在 40 mg/L 以下,满足农田灌溉用水水质标准(GB5084-2005)。土壤过滤系统的前端去除效果较明显,大约 55.6% 的 COD_{Cr} 在进入土壤过滤系统的前 1/3 段即被有效去除。同样,从图 4 可以看出,进水 BOD₅ 浓度有一定的波动,但出水 BOD₅ 浓度稳定在 20 mg/L 以下,满足农田灌溉水质标准(GB5084-2005)。大约 44.2% 的 BOD₅ 在进入土壤过滤系统的前 1/3 段即被有效去除,76.1% 左右的 BOD₅ 在进入土壤过滤系统的前 2/3 段被去除。

表 3 水平方向不同取样点 COD _{Cr} 的浓度 cm, mg/L					
	7 月 5 日	7 月 9 日	7 月 13 日	7 月 17 日	7 月 21 日
0	244.7	201.8	196.5	278.2	226.3
50	102.3	90.2	87.1	124.3	105.5
100	69.8	61.4	49.9	45.5	61.7
150	32.5	24.2	25.6	35.1	21.2

实验还发现,同样条件下进行长时间的试验后,COD_{Cr} 去除率会逐渐降低,这可能因为土壤过滤系统中大部分有机物首先被下层颗粒和填料表面的生物膜吸附,继而被微生物逐步降解。随水力负荷升高,部分吸

附在生物膜表面的有机物未来得及被降解(即降解滞后)即随出水带出,故使 COD_{Cr} 去除率略下降^[5]。

表 4 水平方向不同取样点 BOD_5 的浓度 cm, mg/L					
	7 月 5 日	7 月 9 日	7 月 13 日	7 月 17 日	7 月 21 日
0	111.2	138.3	88.3	135.8	97.2
50	62.2	68.4	48.3	70.7	65.0
100	31.4	22.4	23.4	35.5	21.7
150	13.1	18.9	11.7	11.3	12.8

2.2.2 NH_3-N 在土壤过滤系统水流方向的沿程变化规律 土壤过滤系统中 NH_3-N 与 COD_{Cr} 及 BOD_5 的沿程变化规律相似,土壤过滤系统的前 1/3 段去除效果比较明显,去除率高达 49%。出水水质在 20 mg/L 以下,水质达到城镇污水二级排放标准(GB18918-2002)。试验在室温左右进行,适宜的温度也有利于微生物的繁殖生长且微生物活性高,有利于氨氮的去除^[5]。

表 5 水平方向不同取样点 NH_3-N 的浓度 cm, mg/L					
	7 月 5 日	7 月 9 日	7 月 13 日	7 月 17 日	7 月 21 日
0	78.2	49.5	85.7	72.3	46.5
50	35.6	28.9	40.6	31.3	27.9
100	23.5	16.8	26.4	21.4	16.5
150	18.3	9.6	19.8	16.4	10.2

2.2.3 TN 和 TP 在土壤过滤系统水流方向的沿程变化规律 土壤过滤系统沿水流方向全氮(TN)和全磷(TP)浓度的变化情况见表 6 和表 7。出水 TN 浓度很高,大于水质排放标准(15 mg/L)。大约 30.5% 的 TN 在进入土壤过滤系统的前 1/3 段即被有效去除,中端和后端的降低幅度基本相同。TP 浓度随沿程逐渐降低,前端、中端和后端降低的幅度基本相同,稳定在 25% 左右,出水低于 3.0 mg/L,满足城镇污水二级排放标准(GB18918-2002)。

表 6 水平方向不同取样点全氮(TN)的浓度 cm, mg/L					
	7 月 5 日	7 月 9 日	7 月 13 日	7 月 17 日	7 月 21 日
0	66.3	88.3	57.2	76.2	78.2
50	48.2	61.2	42.3	53.1	48.2
100	36.8	48.9	32.7	44.5	35.6
150	25.9	35.8	23.5	30.2	29.8

表 7 水平方向不同取样点全磷(TP)的浓度 cm, mg/L					
	7 月 5 日	7 月 9 日	7 月 13 日	7 月 17 日	7 月 21 日
0	8.4	6.2	5.5	7.6	10.2
50	5.8	4.4	3.7	5.8	7.6
100	3.1	2.9	2.6	4.3	4.8
150	1.6	1.9	1.2	2.1	2.5

3 结 语

(1)土壤过滤系统处理农村生活污水过程中,去除 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 NH_3-N 、TN 和 TP 的效果季节变化由高到低依次为:夏季>秋季>春季>冬季。

(2)土壤过滤系统对 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 NH_3-N 、TN 和 TP 的最高去除率分别达到 87.3%、88.2%、75.9%、59.3% 和 74.1%,在土壤过滤系统内,沿着水流的水平方向,各物质去除率逐渐增大。

(3)采用该技术处理后,排水中 TN、TP 的浓度较高,用于灌溉可减少化肥使用量,节省淡水资源,具有一定的应用前景。

参考文献:

[1] 连小莹,金 秋,李先宁,等.人工湿地对农村生活污水的处理效果研究[J]. 中国农村水利水电, 2011(2):1-7.

[2] 裴 亮,刘慧明,莫家玉,等.一体化膜生物反应器(IMBR)处理农村生活污水的试验研究[J]. 水处理技术, 2012,38(2):104-111.

[3] 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,2008.

[4] 裴 亮,刘慧明,颜 明,等.潜流人工湿地对农村生活污水的处理特性试验研究[J]. 水处理技术, 2012,38(3):84-86.

[5] 裴 亮,江培福,梁 晶,等.土壤过滤系统处理农村生活污水的试验研究[J]. 水利水电技术, 2012,43(12):15-18.

[6] 刘建斌,范 飞,楚尚烨,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, 2007,23(2):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, 2007,25(3):96-98.

[8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB5084-2005, 农田灌溉水质标准[S]. 北京:中国标准出版社,2006.

[9] 胡小兵,周 俊.三种湿地植物处理餐饮废水试验[J]. 环保科技, 2011,17(1):44-48.

[10] 张洪洋,于水利,修春海,等.水平潜流人工湿地系统处理微污染原水研究[J]. 环境工程学报, 2008,2(11):1447-1450.

[11] 谷先坤,王国祥,刘 波,等.复合垂直流人工湿地净化污水厂尾水研究[J]. 中国给水排水, 2011,27(3):8-11.

[12] Reddy K R, De Busk W F. Nutrient removal potential of selected aquatic macrophytes[J]. Journal of Environmental Quality, 1985,14(4):459-462.

[13] Zhu T, Jenssen P D, Mahlum T, et al. Phosphorus sorption and chemical characteristics of lightweight aggregates - potential filter media in treatment wetlands[J]. Water Science and Technology, 1997,35(5):103-108.