

徐 显, 鲍安红, 张晓明. 生物炭对多介质土壤层系统(MSL)处理农村生活污水的效果[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(3): 262–265.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.03.062

生物炭对多介质土壤层系统(MSL) 处理农村生活污水的效果

徐 显, 鲍安红, 张晓明
(西南大学工程技术学院, 重庆北碚 400716)

摘要:为了提高多介质土壤层(MSL)系统对农村生活污水的处理效果,利用稻壳生物炭为研究对象,探究生物炭对MSL系统处理农村生活污水效果的影响。结果表明,稻壳生物炭作为MSL系统填料时对污水中化学需氧量(COD)、氨态氮(NH₃-N)、总氮(TN)、总磷(TP)的去除效率有明显的提高,COD、NH₃-N、TN、TP去除率分别为木屑填料组的1.10、1.11、1.07、1.09倍,为稻秆填料组的1.20、1.25、1.16、1.16倍,且去除性能稳定。添加了生物炭的MSL系统中COD、NH₃-N、TN、TP的降解过程符合一级反应动力学模型。

关键词:生物炭;多介质土壤层系统(MSL);农村生活污水处理

中图分类号: X703 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)03-0262-03

农村生活污水的主要特点是污染物含量较低,水质时间和地域性差异大,生活污水中的有毒有害物质较少,含有一定量的氮和磷,可生化性较强。农村人口居住分散,生活污水呈分散式排放的特点。大量农村地区尚无完善的污水处理设施,生活污水直接排放进入河流湖泊,对水生态环境造成了极大的危害。因此,发展适宜农村地区的低能耗分散型小型污水处理设施设备对保护农村生态环境具有重要的意义^[1-2]。多介质土壤层(MSL)系统是20世纪在日本兴起的一种可就地取材、占地面积小、对污水处理负荷高的土壤净化污水技术,可以作为一种较好的农村生活污水分散型处理方式^[2-3]。MSL系统主要由通水层和土壤混合层交替填充形成,主要通过物理吸附和交换以及生物分解等作用去除生活污水中的化学需氧量(COD)、氨态氮(NH₃-N)、总氮(TN)、总磷(TP)等污染物^[4-7],该系统在处理农村生活污水、餐饮废水、低污染河水等方面均有研究和报道^[2,8-15]。就地取材制作的MSL系统如何具有最大化去除COD、NH₃-N、TN、TP的能力,提高污染物去除效率是目前较为关心的问题。

生物炭是生物质(如秸秆、畜禽粪便等)在限氧条件下通过热化学转化产生的一种固体富碳物。生物炭本身是一种较好的吸附材料,具有较大的比表面积,对水体中的重金属、有机物氨态氮均有一定的吸附作用^[16-20]。同时,生物炭的孔隙结构可以为系统中的好氧微生物提供有利的生存条件,有利于污水中污染物的去除。本研究利用重庆地区大量可以获得的稻壳制备稻壳生物炭作为土壤混合层添加材料进行试验,以期提高土壤渗滤系统处理农村生活污水的能力,解决农村

污水处理难的问题。

1 材料与方法

1.1 材料

3个MSL系统填充材料组成见表1。土壤混合层材料所用土壤为普通紫色土,取自重庆市北碚区西南大学竹园后山;木屑,购自南宁市欧彩工艺品制造有限公司;生物炭,购自上海美飞园艺有限公司;稻秆,取自西南大学水稻研究所;铁屑,购自广州市大顺金属环保再生资源有限公司;通水层材料为沸石,购自河南弘之源净水材料有限公司;普通砾石,取自嘉陵江。

表1 MSL系统材料组成

编号	PL层 (通水层)	土壤混合层各组成材料质量(kg)				
		土壤	铁屑	生物炭	木屑	稻秆
A	沸石	18.4(8)	2.3(1)	2.3(1)		
B	沸石	18.4(8)	2.3(1)		2.3(1)	
C	沸石	18.4(8)	2.3(1)			2.3(1)

注:括号中的数字表示3种添加材料的质量比。

1.2 MSL系统构建

供试的3个MSL试验装置均采用有机玻璃加工而成,长30 cm,宽20 cm,高70 cm。试验设计的MSL系统由土壤混合层和通水层交叠填充而成,从下到上共计7层,依次为砾石层、土壤混合层、沸石层、土壤混合层、沸石层、土壤混合层、砾石层,其中土壤混合层和沸石层厚度均为10 cm,砾石层厚度为5 cm,系统顶部不封顶,系统装置见图1。

1.3 试验运行条件

在MSL系统稳定运行后,以土壤混合层添加料为木屑和秸秆的组作为对照组。于2017年10月初,气温在15~20℃条件下,追踪测定MSL系统出水中COD、NH₃-N、TN、TP等污染物浓度,并构建污水处理的一级动力学模型。污水取自重庆北碚缙云山脚下的农户家中,供水水质指标见表2。

1.4 水质指标测定

COD的测定采用重铬酸钾氧化法;NH₃-N的测定采用

收稿日期:2018-05-14
基金项目:重庆市社会事业与民生保障科技创新专项(编号: cstc2017shms-zdyfX0001)。
作者简介:徐 显(1993—),男,湖北恩施人,硕士研究生,从事污水处理和建筑材料等研究。E-mail:1532967423@qq.com。
通信作者:鲍安红,博士,教授,主要从事污水处理工程和结构工程等方面的研究。E-mail:baohong@163.com。

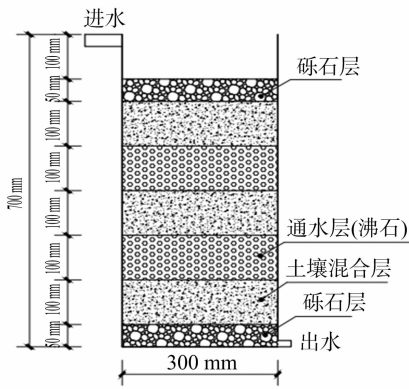


图1 MSL 系统装置示意

表 2 供水水质特征

	mg/L
COD 浓度	540
氨氮浓度	36
总氮浓度	72
总磷浓度	204

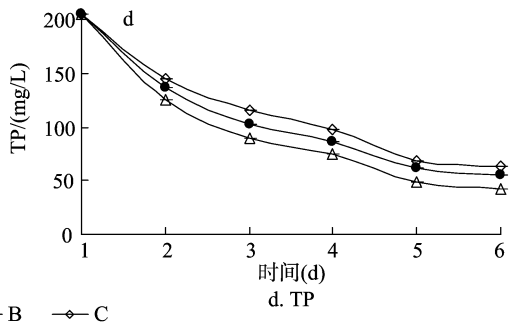
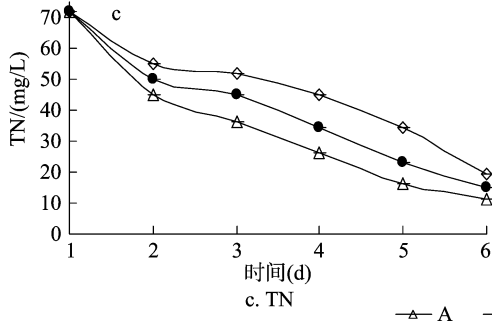
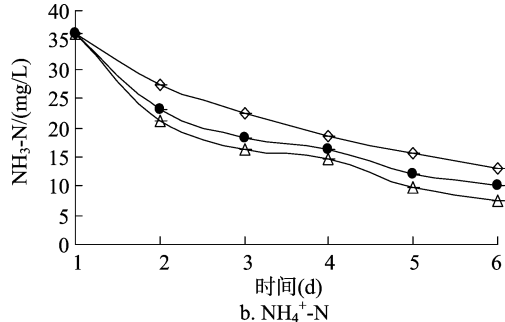
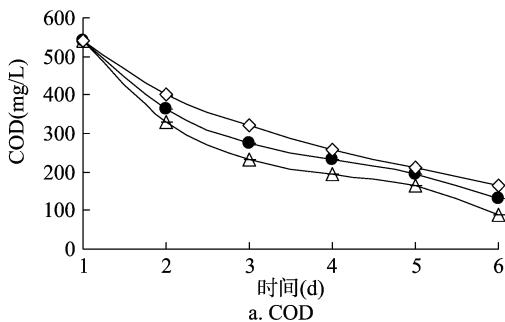


图2 不同 MSL 装置污染物浓度随时间的变化

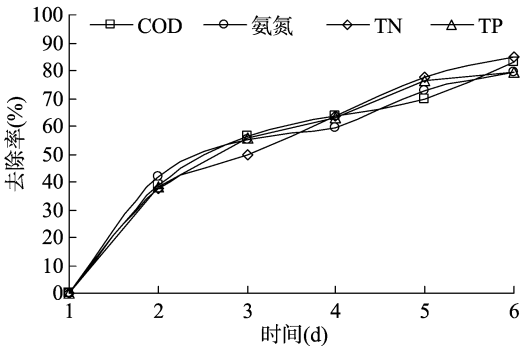


图3 装置污染物去除效率随时间的变化

纳氏试剂分光光度法；TN 的测定采用紫外可见分光光度法；TP 的测定采用钼酸铵分光光度法，不同指标测定的具体操作步骤见《水和废水监测分析方法（第 4 版）》。

2 结果与分析

2.1 MSL 系统污水处理效果分析

在水温为 15 ~ 20 ℃ 时，MSL 装置污水中的 COD、NH₄⁺-N、TN、TP 浓度随时间的变化见图 2，其中添加生物炭为土壤混合层填料的 A 装置中 COD、NH₃-N、TN、TP 等污染物的去除率见图 3。从图 2、图 3 可以看出，在水力停留时间内，随着时间的延长，MSL 装置对生活污水中的 COD、NH₃-N、TN、TP 去除率逐渐增加，最终 A 装置对 COD、NH₃-N、TN、TP 的去除率可达到 83.30%、79.68%、84.71%、79.41%，且各指标去除率分别为 B 装置的 1.10、1.11、1.07、1.09 倍，分别为 C 装置的 1.20、1.25、1.16、1.16 倍。

试验结果表明，在 MSL 系统中添加生物炭，相比以木屑和稻秆为 MSL 系统土壤混合层填料时，对生活污水中 COD、NH₃-N、TN、TP 的去除效果有明显的提高，且去除性能较稳

巨大的比表面积，可以作为消解污染物的相关微生物固定化的载体，富集大量的有利于生活污水处理的细菌，给其一个稳定的生存环境，从而能提高微生物的活性，最终提高系统的污水处理效果^[18]。

2.2 MSL 系统污水处理的一级动力学模型

污水处理的动力学模型研究主要在建立合适污染物降解模型的基础上进行，优化其污水处理工艺，为后期的工艺参数和流程提供参考依据。目前应用较多的是在湿地设计中常用的一级动力学模型，其基本设计方程在欧美等许多发达国家均被广泛应用在了湿地设计和对湿地污染物去除效果的预测上^[18]。虽然该模型具有一定的局限，但是由于简单的计算和求解过程，目前仍把一级动力学模型作为描述湿地中污染物去除过程的常用模型^[18,20]：

定。其原因可能是：(1)生物炭本身对 COD、NH₃-N、TN、TP 等污染物有一定的吸附作用；(2)生物炭具有较多的孔隙和

$C_o = C_i \exp(-k_e \cdot t);$ (1)

$k_e = -1/t \ln(C_o/C_i).$ (2)

式中: k_e 为污染物体积去除速率常数, d^{-1} ; C_i 为污染物进水浓度,mg/L; C_o 为污染物出水浓度,mg/L; t 为水力停留时间,d。

湿地系统和 MSL 系统污染物处理的方式基本一致,本研究 MSL 系统污染物降解的动力学模型建立,借鉴湿地系统的

一级动力学模型方程。将污染物在 MSL 系统中的出水浓度记作 C_o (水力停留时间内),进水浓度记作 C_e ,以 $\ln(C_o/C_e)$ 为纵坐标,以时间 t 为横坐标,绘制二者之间的变化曲线,结果见图 4,可见 $\ln(C_o/C_e)$ 和时间 t 之间为一次函数关系。同时,将在第 5 天的 $\ln(C_o/C_e)$ 值测定结果代入公式(2),计算出的 k_e 值见表 3。

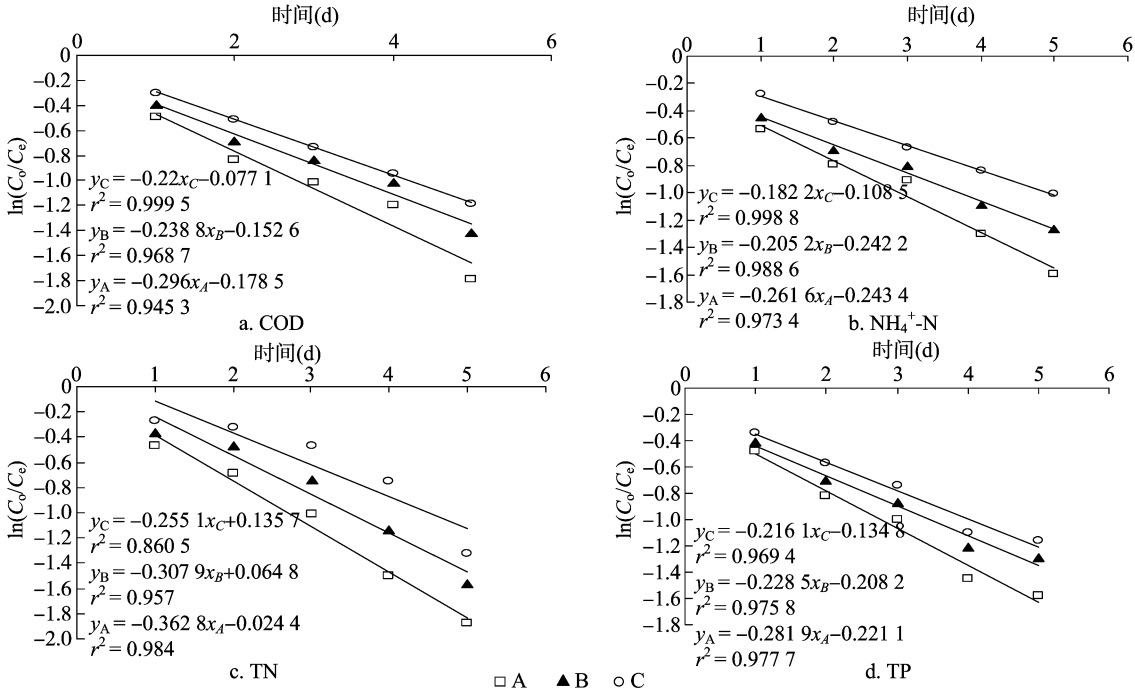


图4 不同 MSL 装置污染物浓度随时间的变化

表3 MSL 中污染物的去除一级动力学速率常数

装置	$k_e (d^{-1})$			
	COD	$NH_3 - N$	TN	TP
A	0.36	0.32	0.38	0.32
B	0.28	0.25	0.31	0.26
C	0.24	0.20	0.26	0.23

常数 k_e 值的大小代表着装置中污染物降解速率的大小,在水力停留时间内,以生物炭作为土壤混合层填料的 MSL 系统中的污染物有着较大的降解速率,A 装置 COD 降解速率为 $0.36 d^{-1}$,分别是 B 装置、C 装置的 1.29、1.50 倍;A 装置 $NH_3 - N$ 降解速率为 $0.32 d^{-1}$,分别是 B 装置、C 装置的 1.28、1.60 倍;A 装置 TN 降解速率为 $0.38 d^{-1}$,分别是 B 装置、C 装置的 1.23、1.46 倍;A 装置 TP 降解速率为 $0.32 d^{-1}$,分别是 B 装置、C 装置的 1.23、1.39 倍。

3 结论

稻壳生物炭作为 MSL 系统土壤混合层填料时,对农村生活污水有着较好的净化效果。相比添加木屑和稻秆为土壤混合层填料时,生物炭作为 MSL 系统填料时对农村生活污水中的 COD、 $NH_3 - N$ 、TN、TP 去除效率有明显提高,最终对 COD、 $NH_3 - N$ 、TN、TP 的去除率可达到 83.30%、79.68%、84.71%、79.41%,各指标去除率分别为 B 装置的 1.10、1.11、1.07、1.09 倍,分别为 C 装置的 1.20、1.25、1.16、1.16 倍。

生物炭作为 MSL 系统填料时,污水的 COD、 $NH_3 - N$ 、TN

和 TP 降解过程符合一级反应动力学模型,体积去除速率常数 k_e 分别为 0.36、0.32、0.38、0.32 d^{-1} 。

参考文献:

[1] 邹俊,陈昕,张毅敏,等. 多介质土壤层系统(MSL)的材料选对生活污水处理效率的影响[J]. 生态与农村环境学报,2010,26(增刊1):14-18.

[2] 罗伟. 沸石层滴滤-多介质土壤层系统处理分散生活污水的研究[D]. 长沙:湖南大学,2014.

[3] Latrach L, Ouazzani N, Hejjaj A, et al. Two-stage vertical flow multi-soil-layering (MSL) technology for efficient removal of coliforms and human pathogens from domestic wastewater in rural areas under arid climate[J]. International Journal of Hygiene and Environmental Health,2018,221(1):64-80.

[4] 魏才健,吴为中,杨逢乐,等. 多级土壤渗滤系统技术研究现状及发展[J]. 环境科学学报,2009,29(7):1351-1357.

[5] 吴浩恩,魏才健,吴为中. 多级土壤渗滤系统处理低有机污染水的脱氮效果与机理解析[J]. 环境科学学报,2016,36(12):4392-4399.

[6] 张春娣. MSL 系统对猪场废水中 C、N、P 的去除效果及去除途径研究[D]. 杭州:浙江大学,2010.

[7] Latrach L, Ouazzani N, Masunaga T, et al. Domestic wastewater disinfection by combined treatment using multi-soil-layering system and sand filters (MSL-SF): a laboratory pilot study[J]. Ecological Engineering,2016,91:294-301.

刘胤序,罗绪强,贾佳丽,等. 喀斯特石漠化过程中土壤重金属铬的含量特征[J]. 江苏农业科学,2019,47(3):265-268.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.03.063

喀斯特石漠化过程中土壤重金属铬的含量特征

刘胤序^{1,2}, 罗绪强^{3,4}, 贾佳丽^{1,2}, 刘海红^{1,2}, 李 军²

(1. 天津师范大学地理与环境科学学院, 天津 300387; 2. 天津师范大学水资源与水环境重点实验室, 天津 300387;

3. 贵州师范学院地理与资源学院, 贵州贵阳 550018; 4. 中国科学院普定喀斯特生态系统观测研究站, 贵州普定 562100)

摘要:铬(Cr)是一种分布较广的重金属元素,可以通过母岩风化进入土壤。铬在食物链中通过植物的吸收,进入人体或动物体内而对其造成直接或间接危害。以贵州省清镇市王家寨峰丛洼地小流域为样地,对流域内不同等级、不同土壤类型、不同坡位及不同干扰方式下,石漠化的土壤 Cr 含量进行分析。结果表明:土壤重金属 Cr 含量变化范围为 4.46~174.32 $\mu\text{g/g}$,均值为 95.20 $\mu\text{g/g}$,有 57.7% 的样地超出贵州省土壤背景值。除强度石漠化外,随着石漠化程度的加深,Cr 含量呈降低趋势;强度石漠化与中度石漠化的土壤 Cr 含量有显著差异($P < 0.05$),其他石漠化等级间差异不显著。黄壤区 Cr 含量平均为 107.22 $\mu\text{g/g}$,其不同坡位 Cr 含量特征表现为下坡 > 中坡 > 上坡;黑色石灰土区 Cr 含量平均为 81.15 $\mu\text{g/g}$,其下坡位含量最低,上坡位和中坡位含量相当。在不同干扰方式下石漠化样地中,重金属 Cr 含量均值变化趋势为开垦 > 火烧 > 放牧 > 樵采,Cr 含量在不同坡位和不同干扰方式的石漠化间均无显著差异。随着土壤 pH 值和有机质含量的增加,重金属 Cr 含量有减小的趋势。

关键词:喀斯特石漠化;土壤重金属;铬;含量特征

中图分类号: X142;X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)03-0265-04

喀斯特石漠化(karst rocky desertification,简称 KRD)是指在亚热带脆弱的喀斯特环境背景下,由于不合理的人为干扰,造成的土壤侵蚀、基岩外露,植被覆盖率降低,土地质量下降,地表呈现为类似荒漠化的土壤退化过程^[1-2]。在陆地生态系统中,土壤是多种生态过程的载体,也是植物生存的物质基础

之一,重金属对土壤的污染具有隐蔽、不可逆、难以降解的特性^[3],严重危害人类健康。铬(Cr)是一种分布较广的重金属元素,主要分布于土壤、大气、水及动植物体中^[4]。铬可以通过母岩风化进入土壤,也会通过工业废水、废渣和农业施肥等致使土壤受到不同程度的污染,引起土壤板结、作物生长受阻^[5]。铬在食物链中通过植物对土壤重金属的吸收,进入人体或动物体内而对其造成直接或间接危害。在国际抗癌研究中心和美国毒理学组织公布的致癌物中,铬及其化合物在人体内蓄积具有致癌性并且可能诱发基因突变,危害极大^[6]。本研究以贵州省清镇市王家寨峰丛洼地小流域为样地,对流域内不同等级、不同土壤类型、不同坡位及不同干扰方式下,石漠化间土壤 Cr 含量分布特征进行研究,以期对喀斯特地区土壤重金属铬的污染状况及防治提供理论基础和科学依据。

收稿日期:2018-08-31

基金项目:国家重大科学研究计划(编号:2013CB956401);国际(地区)合作与交流项目(编号:4161101324);国家自然科学基金(编号:41172315);天津市水资源与水环境重点实验室开放基金。

作者简介:刘胤序(1992—),女,河北唐山人,硕士研究生,主要从事环境地球化学研究。E-mail:18786023253@163.com。

通信作者:李 军,博士,副研究员,主要从事环境地球化学研究。Tel:(022)23766028;E-mail:lijun5931@163.com。

[8] Ho C C, Wang P H. Efficiency of a multi-soil-layering system on wastewater treatment using environment-friendly filter materials[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2015, 12(3):3362-3380.

[9] 宋 颖,黄玉婷,葛 川,等. 多介质土壤滤层系统(MSL)与潜流式人工湿地技术处理海水养殖废水的效能比较[J]. 环境科学, 2014, 35(9):3436-3442.

[10] 罗安程,张春娣,杜叶红,等. 多基质土壤混合层技术研究应用[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2011,37(4):460-464.

[11] 李 森. 多介质土壤层系统(MSL)处理污染河水的试验研究[D]. 马鞍山:安徽工业大学,2012.

[12] 宋 颖. 水产养殖污染源强及多介质土壤层技术废水处理效果与机理研究[D]. 杭州:浙江大学,2016.

[13] 邹 俊. 生活污水的多介质土壤层处理技术研究及其应用[D]. 扬州:扬州大学,2011.

[14] 张春娣,张 帅,聂新军,等. 多基质土壤混合层技术系统(MSL)对猪场废水的处理效果[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2012,38(3):336-346.

[15] 张 浩. 集约化海水养殖废水多介质土壤滤层(MSL)与人工湿地技术处理效能的对比研究[D]. 杭州:浙江大学,2013.

[16] 唐登勇,黄 越,胥瑞晨,等. 改性芦苇生物炭对水中低浓度磷的吸附特征[J]. 环境科学,2016,37(6):2195-2201.

[17] 孙丽丽,李文英,李 夏,等. 固废生物炭净化处理猪场废水研究初探[J]. 中国农学通报,2015,31(23):122-126.

[18] 唐美珍,汪文飞,李如如,等. 生物炭对 Pseudomonas flava WD-3 的固定化及其强化人工湿地污水处理研究[J]. 环境科学学报, 2017, 37(9):3441-3448.

[19] 马锋锋,赵保卫,刁静茹,等. 牛粪生物炭对水中氨氮的吸附特性[J]. 环境科学,2015,36(5):1678-1685.

[20] 王小晓,鲍建国,龚路军,等. 潜流人工湿地处理农村生活污水动力学研究[J]. 环境科学与技术,2013,36(3):111-115.