

不同填料对阶梯式人工湿地降解农业废水的影响

裴亮¹, 孙莉英¹, 梁晶², 麦荣幸¹

(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. 新华水力发电有限公司, 北京 100070)

摘要: 针对人工湿地填料对农业废水污染物降解效果不稳定的问题, 采用阶梯式人工湿地方法对农业废水进行降解, 选择钢渣、石灰石、麦饭石、竹炭粒 4 种常见填料用于阶梯式人工湿地, 研究了它们对农业废水中主要污染物的降解能力。试验结果表明: 当污水停留时间(HRT)为 7 d 时, 对污水中 COD、浊度、TP、TN 和 NH₃-N 的降解率, 钢渣分别为 79.7%、88.7%、83.5%、74.4% 和 81.2%, 石灰石分别为 73.6%、70.7%、55.2%、50.1% 和 56.9%, 麦饭石分别为 81.3%、89.7%、78.6%、79.2% 和 81.5%, 竹炭粒分别为 67.6%、88.5%、68.3%、69.2% 和 73.2%, 出水水质基本达到城镇污水处理厂污染物排放标准(GB 18918-2002)的一级 A 标准的要求。

关键词: 农业废水处理; 阶梯式人工湿地; 钢渣; 石灰石; 麦饭石; 竹炭粒

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2018)01-0232-04

Effect of different matrix in steps constructed wetland system for degradation of agricultural waste water

PEI Liang¹, SUN Liying¹, LIANG Jing², MAI Rongxing¹

(1. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
2. Xinhua Hydropower Company Limited, Beijing 100070, China.)

Abstract: In view of the unstable effects of artificial wetland system on the degradation of agricultural wastewater pollutants, a steps constructed wetland system was used to degrade agricultural wastewater. Four kinds of common stuffing slag, such as steel slag, limestone, maifanite and bamboo charcoal, were selected as the steps constructed wetland matrix. Their degradability to the main pollutants in agricultural waste water was studied. The results showed that when the water retention time(HRT) was seven days, the degradation rates of COD, turbidity, TP, TN and NH₃-N in waste water were 79.7%, 88.7%, 83.5%, 74.4% and 81.2% for steel slag, respectively. For limestone, the degradation rates of COD, turbidity, TP, TN and NH₃-N were 73.6%, 70.7%, 55.2%, 50.1% and 56.9%, respectively. And for maifanite were 81.3%, 89.7%, 78.6%, 79.2% and 81.5%, respectively. And for bamboo charcoal were 67.6%, 88.5%, 68.3%, 69.2% and 73.2%, respectively. The indicators of the final effluent basically met the requirements of the A level of discharge standard of the urban sewage treatment plant pollutant discharge standard (GB 18918-2002).

Key words: treatment of agricultural waste water; steps constructed wetland; slag; limestone; maifanite; charcoal

1 研究背景

近 20 年来,人工湿地广泛应用于国内新兴污水

处理技术领域,新型的湿地技术也大量涌现,该技术适用于处理水量不大、水质变化较小、管理水平不高的污废水降解^[1-4]。人工湿地技术属于生态处理方

收稿日期:2016-11-21; 修回日期:2017-09-04

基金项目:国家高技术研究发展计划项目(2011AA100507);国家自然科学基金青年基金项目(41471229、511109197);国家科技支撑计划课题(2012BAD08B02、2013BAC02B02);

作者简介:裴亮(1982-),男,江苏南京人,博士,副研究员,硕士生导师,主要从事水沙环境风险分析与控制研究。

通讯作者:孙莉英(1978-),女,河北灵寿人,博士,助理研究员,主要从事水沙环境风险分析与控制研究。

式,可对工农业生产过程中所产生的污水进行有效的降解,尤其针对农业废水的降解效果更为显著,是农业面源污染控制中途截留的主要方法之一^[5-9]。

人工湿地用于农业废水降解中的关键要素是植物和填料的选择^[10],其中,填料可通过沉淀、过滤、吸附作用截留污水中的污染物质,也是人工湿地其他有效元素(植物和微生物)生存的介质。因此,填料的选择对人工湿地发挥水质净化效果起到了关键性的作用。目前已有报道的人工湿地填料主要有沸石、草木灰、砾石粒、石灰渣、煤粉灰、矿石粒、黏土矿渣和个别工业副产品颗粒等^[11-15]。

本试验针对人工湿地填料对农业废水污染物降解效果不稳定的问题,采用阶梯式人工湿地方法对农业废水进行降解。在其他参数及条件相同情况下,选择了 4 种不同填料来构建阶梯式人工湿地体系,对农业废水进行降解研究,考查其对污染物的降解效果。

2 试验部分

2.1 试验装置与方法

试验采用阶梯式人工湿地,该人工湿地类型属于垂直复合上行流潜流湿地,湿地构造见图 1。湿地的基本参数及运行情况见课题组以前的研究成果,即参考文献^[8]。梯形水泥池高度 160 cm、上边缘长 3 m、底部边缘长 1.7 m,填料层厚度共 80 cm,填料层上面有 40 cm 的土壤覆盖层。进水蓄水池隔板高度 140 cm、进水污水一级沉淀池的隔板长为 120 cm,进水污水一级沉淀池隔挡板下方立于大砾石层上,且大砾石层的一部分与进水通道贯通,出水沉淀池隔挡板高度为 100 cm、出水蓄水池隔挡板高度为 80 cm^[3,5]。

装置工作的原理:农村废水通过进水管进入混凝土池后先进入污水一级沉淀池沉淀,后从进水蓄水池隔挡板溢出通过进水通道渗透进入填料层,即从进水污水一级沉淀池隔挡板下面渗入填料^[3],自下而上依次经过基质填料层、土壤层过滤处理后,溢出出水沉积池挡板后流入出水沉积池,蓄满后再溢入出水蓄水池。湿地土壤层上种水生植物。在床体中间沿程竖向设置了小孔样本管,以收集水样和测定湿地内的温度、溶解氧、pH 值等数据。装置经过 2012 年 4 月 - 2012 年 8 月的运行,运行情况良好^[3,8-9]。

试验中,保持其他影响因素恒定,设定水力停留

时间(*HRT*)7 d 为 1 个周期,连续 7 次检测进水和出水的 COD、浊度、NH₃-N、TN、TP,随后计算出降解率。

2.2 测试项目与方法

该试验用水采用农村废水,其分析方法和水质情况见表 1。

表 1 分析方法和水质情况^[8]

项目	数值	分析方法
COD _{Cr} / (mg · L ⁻¹)	186 ~ 341	重铬酸盐法
BOD ₅ / (mg · L ⁻¹)	82 ~ 166	稀释接种法
NH ₃ -N / (mg · L ⁻¹)	38 ~ 97	纳氏试剂法
TN / (mg · L ⁻¹)	59 ~ 134	紫外分光法
TP / (mg · L ⁻¹)	3.4 ~ 13.9	钼酸铵光度法
温度/°C	16 ~ 35	温度计
pH	6 ~ 9	玻璃电极法

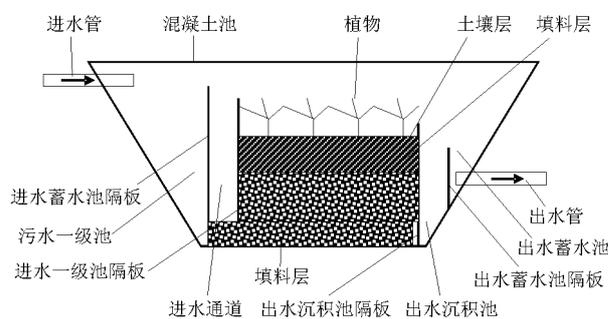


图 1 阶梯式人工湿地结构

3 结果与分析

3.1 不同填料对农业废水 COD 的影响

图 2 为 COD 降解率随水力停留时间 *HRT* 的变化情况。

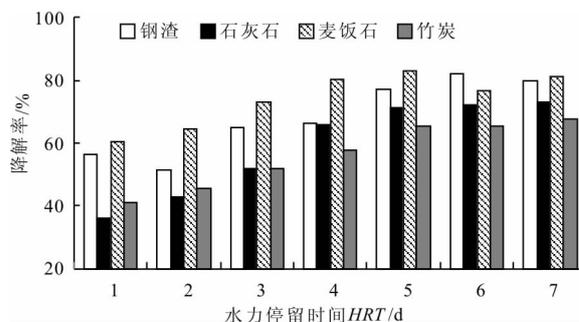


图 2 COD 降解率随水力停留时间的变化

研究表明^[8],不同填料对 COD 的降解有一定的作用,因为填料本身能吸收部分无机污染物质,而且填料具有较大的比表面积,可为微生物的繁殖和发

生作用提供有利的生存条件,使得微生物对农业废水中污染物能进行有效地吸附和吸收降解^[9]。

由图2可以看出,4种填料中麦饭石和钢渣降解COD的效果都较好,且麦饭石系统降解效果好于钢渣系统,随着HRT的增加,降解率逐渐增长,到一定阶段会渐趋平缓;石灰石系统的降解率较低,随HRT增加,COD降解率变化不大,当HRT在4d以后,降解率基本保持不变,当HRT为5d时,4种填料降解COD效果达到稳定。取HRT=7d时,钢渣、石灰石、麦饭石和竹炭粒系统对COD的降解率分别为79.7%、73.0%、81.3%和67.6%,最终出水平均COD浓度为:51.2、61.3、53.2和93.4 mg/L。4种填料中,麦饭石和钢渣比表面积大,麦饭石比较松软,对污染物的拦截、吸附及吸收效果较好,微生物的生长环境更优越^[13,16],因此在对COD的降解效果方面麦饭石和钢渣较石灰石和竹炭粒要好。

3.2 不同填料对农业废水浊度的影响

对不同填料情况下,浊度降解率随水力停留时间的变化情况进行了研究,具体见图3。

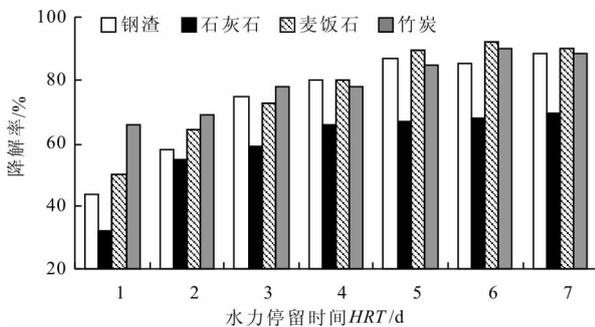


图3 浊度降解率随水力停留时间的变化

从图3可以看出,钢渣、麦饭石和竹炭填料对浊度的降解率曲线趋势很接近。随HRT增加,浊度降解率也增加。当HRT在4d时,钢渣、石灰石、麦饭石和竹炭粒系统对浊度的降解率分别为80.3%、66.7%、80.6%和77.6%,HRT继续增加,浊度降解率增高就不明显了。填料对浊度的降解作用主要是靠填料的比表面积吸附和固着大量的微生物,从而形成大片的生物膜起到过滤作用,因此粒径小、形状不规则的填料对浊度的降解率会更高^[12,15]。钢渣、麦饭石和竹炭粒3种填料粒径都小、形状不规则,而且麦饭石和竹炭粒材质偏软,更易于吸附污染物,故对浊度的降解效果更好。当HRT到5d时,4种填料的出水浊度平均值达到16.4、26.3、11.5和13.3 NTU。

采用4种填料的阶梯式人工湿地处理农业废

水,出水浊度指标达到了城镇污水处理厂污染物排放标准(GB 18918-2002)^[11]的一级A标准要求。

3.3 不同填料对农业废水TP的影响

人工湿地对TP^[13]的降解主要靠人工湿地的填料层填料、水生植物和微生物以及三者之间的联合作用,人工湿地中填料层对TP去除作用最大,水生植物与微生物的结合及耦合作用降解TP的作用仅次于填料层填料的作用。在4种填料系统中,微生物对含磷化合物的转化在TP的净化过程中是一个限制性因子,湿地中填料稳定性也强化了微生物对TP的吸附和吸收积累^[13]。钢渣填料对磷的降解能力要比其他填料强,随着水力停留时间的延长,钢渣系统对磷的降解率保持在一个较高的水平,石灰石、麦饭石和竹炭粒系统降解效果较差。对不同填料条件下,TP降解率随水力停留时间的变化情况进行了研究,具体见图4。

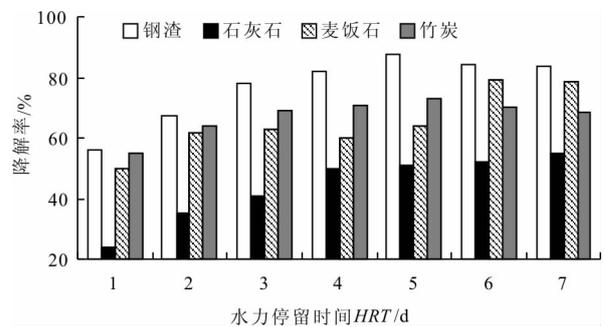


图4 TP降解率随水力停留时间的变化

从图4可以看出,当HRT到5d的时候,石灰石系统对TP的降解率开始趋于平稳,这可能是因为石灰石比表面积小,填料吸附达到饱和,TP的降解单靠吸附降解。当HRT超过6d时,钢渣和竹炭粒填料对TP的降解效果也有所下降,同时麦饭石系统的降解能力也逐渐平稳趋于饱和,表明HRT在6d左右时对污水中TP的降解来说是较合理的水力停留时间。因此HRT取6d,此时,钢渣、石灰石、麦饭石和竹炭粒系统对TP的降解率可分别达到83.5%、55.2%、78.6%和69.2%。最终出水TP平均指标为:0.21、0.59、0.38和0.40 mg/L。

3.4 不同填料对农业废水TN的影响

TN是农业废水中最重要且最难降解的污染物,对TN的降解,是通过填料及土壤中微生物的硝化和反硝化作用进行。图5为TN降解率随水力停留时间变化的情况。

从图5可看出,水力停留时间增加过程中,4种填料对TN的降解率一直保持增长,当HRT大于5d

时,4种填料对TN的降解达到稳定。除了填料和植物吸收外,TN的降解还受其他因素的影响,如氨的挥发、填料的吸附与过滤、硝化与反硝化反应等,其中TN降解主要是靠微生物的硝化反硝化作用^[13],根系越发达的水生植物和稳定性越强、比表面越大的填料,越能为硝化细菌提供一个良好的环境,即一个好的好氧微环境,更利于TN硝化充分,因此钢渣和麦饭石的降解效果要好于石灰石和竹炭粒^[14]。当HRT到7d时,钢渣、石灰石、麦饭石和竹炭粒系统对TN的降解率分别可达74.4%、50.1%、79.2%和69.2%。最终出水TN平均指标为:6.92、13.71、8.87和11.40 mg/L。

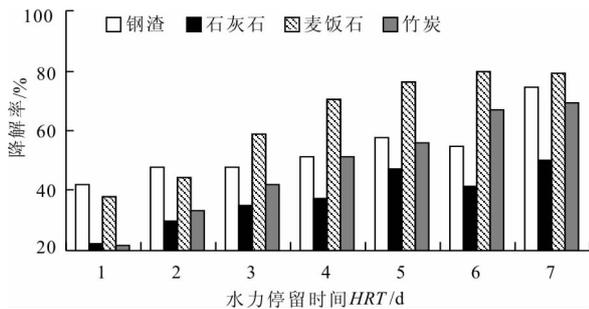


图 5 TN 降解率随水力停留时间的变化

3.5 不同填料对农业废水 NH₃-N 的影响

研究发现^[3],湿地整体系统的污水降解效果与湿地的填料之间存在显著关系。湿地系统中微生物量越多,污废水中污染物降解效率越高;硝化细菌和反硝化细菌的数量影响 NH₃-N 的降解率,硝化和反硝化作用是湿地系统主要除 TP 和 TN 的方式,而填料与水生植物共同提供的微生物温床决定了微生物的生长状况。但是,NH₃-N 的降解率还会受到其他因素的影响,使得人工湿地填料系统对 NH₃-N 的降解率不稳定^[14]。

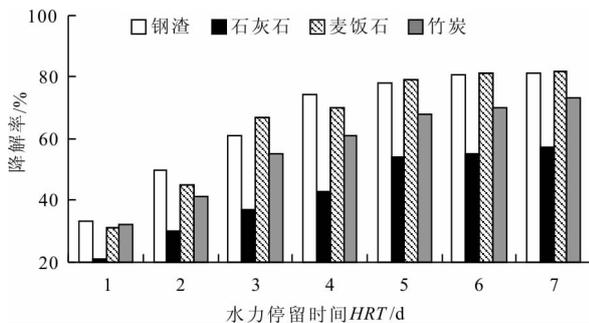


图 6 NH₃-N 降解率随水力停留时间的变化

从图 6 可以看出,随 HRT 延长,4 种填料的 NH₃-N 降解率都在增加。HRT 在 1~3 d 内,降解率不高,HRT 到 4 d 时,降解率有了较大幅度的增

加,HRT 大于 4 d 后,钢渣和麦饭石的氨氮降解率都在 80% 左右,竹炭粒系统的降解率也达到 75% 左右,所以这 3 种填料系统对 NH₃-N 的降解效果都比较好。当系统 HRT 大于 4 d 时,4 种填料系统对 NH₃-N 的降解率达到稳定。当 HRT 到 6 d 时,最终出水 NH₃-N 浓度平均指标为:2.9、6.3、3.6 和 4.7 mg/L。

4 结 论

阶梯式人工湿地方法对农业废水进行降解研究结果表明:在其他参数及条件相同情况下,选择 4 种不同填料来构建阶梯式人工湿地体系,对农业废水进行降解,4 种填料在农业废水处理中均具有较好的效果,4 种填料湿地系统都能有效地降解农业废水中的 COD、浊度、TP、TN 和 NH₃-N。当污水停留时间(HRT)为 7d 时,对污水中 COD、浊度、TN、TP 和 NH₃-N 的降解率,钢渣分别为 79.7%、88.7%、83.5%、74.4% 和 81.2%,石灰石分别为 73.6%、70.7%、55.2%、50.1% 和 56.9%,麦饭石分别为 81.3%、89.7%、78.6%、79.2% 和 81.5%,竹炭粒分别为 67.6%、88.5%、68.3%、69.2% 和 73.2%,出水水质基本达到城镇污水处理厂污染物排放标准(GB18918-2002)的一级 A 标准要求。麦饭石湿地系统的降解效果最佳,石灰石湿地系统降解效果略差,但可以推测,石灰石系统的出水再经过一级湿地处理也可达标。说明 4 种填料应用于处理农业废水是可行的。

参考文献:

- [1] 孙永明,李蒙英,成中芹. 滨河湿地在城市河道治理中的价值探索[J]. 水利规划与设计,2016(9):9-11+15.
- [2] KONNERUP D, KOOTTATEP T, BRIX H. Treatment of domestic wastewater in tropical, subsurface flow constructed wetlands planted with Canna and Heliconia[J]. Ecological Engineering,2009,35(2):248-257.
- [3] 裴亮,孙莉英. 水生植物在人工湿地处理农村生活污水中的应用研究[J]. 中国农村水利水电,2014(10):26-29.
- [4] 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.
- [5] 裴亮,梁晶,刘慧明,等. 新型阶梯式人工湿地处理生活污水的研究[J]. 环境工程学报,2013,7(1):86-90.
- [6] 倪盈,邵海波,韩子乾,等. 浮动湿地对再生水接纳的景观水体水质净化作用研究[J]. 水利规划与设计,2016(7):55-57+79.

(下转第 241 页)

个月为界限,呈现两种不同的分布规律。干旱程度较低(历时小于3个月)时,流域干旱发生概率由东南向西北逐渐减小;干旱程度较高(历时大于3个月)时,流域干旱发生概率由东南向西北逐渐增加。

(2)淮河流域干旱损失量在不同干旱程度下的规律基本一致,呈现由东南向西北逐渐增加的规律。

(3)干旱程度较低(历时小于3个月)时,流域风险高风险带在西南部和东北部,干旱程度较高(历时大于3个月)时,流域气象干旱风险由东南到西北逐渐增加,尤其是“王蚌区间北岸”的北部地区和“湖西区”的西北部地区,始终处于高风险地带。

参考文献:

[1] 顾颖,刘静楠,林锦.近60年来我国干旱灾害特点和形势分析[J].水利水电技术,2010,41(1):71-74.

[2] 黄会平.1949-2007年全国干旱灾害特征、成因及减灾对策[J].干旱区资源与环境,2010,24(11):94-98.

[3] OKADA N, TATANO H, HAGIHARA Y, et al. Integrated research on methodological development of urban diagnosis for disaster risk and its application[J]. Disaster Prevention Research Institute Annuals, Kyoto University, 2004, 47 (C):1-8.

[4] 冯波,章光新,李峰平.松花江流域季节性气象干旱特征及风险区划研究[J].地理科学,2016,36(3):466-474.

[5] 王莺,王劲松,姚玉璧.甘肃省河东地区气象干旱灾害风险评估与区划[J].中国沙漠,2014,34(4):1115-

1124.

[6] TOBIN G A, MONTZ B E. Natural hazards: explanation and integration[M]. New York: The Guilford Press, 1997.

[7] 杜云,蒋尚明,金菊良,等.淮河流域农业干旱旱灾风险评估研究[J].水电能源科学,2013,31(4):1-4.

[8] 孙鹏,张强,邓晓宇,等.塔里木河流域干旱风险评估与区划[J].中山大学学报(自然科学版),2014,53(3):121-127.

[9] 陈守煜,王子茹.基于对立统一与质量互变定理的水资源系统可变模糊评价新方法[J].水利学报,2011,42(3):253-261+270.

[10] 李敏,陈守煜,王运涛,等.基于可变集的汛期分期多指标识别方法[J].水利学报,2013,44(12):1420-1424.

[11] 雷江群,黄强,王义民,等.基于可变模糊评价法的渭河流域综合干旱分区研究[J].水利学报,2014,45(5):574-584.

[12] 杨好周,梁忠民,胡义明,等.游程理论在云南省干旱重现期分析中的应用[J].水电能源科学,2013,31(12):8-12.

[13] 李天水,王顺,庄文化,等.游程理论和Copula函数在二维干旱变量联合分布中的应用[J].干旱区资源与环境,2016,30(6):77-82.

[14] 马秀峰,夏军.游程概率统计原理及其应用[M].北京:科学出版社,2011.

[15] 卢晓宁,洪佳,王玲玲,等.复杂地形地貌背景区干旱风险评价[J].农业工程学报,2015,31(1):162-169.

(上接第235页)

[7] 李建波.汾河太原城区湿地水环境治理探讨[J].水利规划与设计,2015(7):1-2+7.

[8] 裴亮,刘慧明,颜明,等.潜流人工湿地对农村生活污水处理特性试验研究[J].水处理技术,2012,38(3):84-86+90.

[9] 裴亮,梁晶,周翀.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[J].水资源与水工程学报,2014,25(2):54-56.

[10] 王伟.汾河流域生态修复湿地工程对水生态的影响分析[J].水利规划与设计,2016(9):31-35.

[11] 李洪利.石佛寺平原水库人工湿地核心区生态治理措施研究[J].水利规划与设计,2015(5):73-75+121.

[12] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局.

GB 18918-2002 城镇污水处理厂污染物排放标准[S].北京:中国环境出版社,2003.

[13] 卢少勇,金相灿,余刚.人工湿地的氮去除机理[J].生态学报,2006,26(8):2670-2677.

[14] 李晓东,孙铁珩,李海波.人工湿地除磷研究进展[J].生态学报,2007,27(3):1226-1230.

[15] 郑洁敏,黄国宁,牛天新.不同人工湿地填料对水体中铵氮吸附能力的比较[J].杭州农业与科技,2011(1):30-32.

[16] ZHANG Y S, WANG J, QIU J Q. Effectiveness of a sub-surface constructed wetland on the treatment of saline waste water[J]. Journal of Environmental Science and Engineering, 2010, 4(1): 9-13.