

蚯蚓生态滤池污泥减量技术的研究进展

李洪枚

(首都经济贸易大学安全与环境工程学院 中国 北京 100070)

【摘要】蚯蚓生态滤池具有流程简单、操作方便、成本低等优点,在保证出水水质的前提下,能有效减少系统污泥产量。但其除磷或除磷脱氮的能力还有待提高。工艺上还存在着布水不均匀、局部积水和污泥堵塞等问题。蚯蚓生态滤池的污水污泥降解机理有待进一步深入研究。选择更适宜的填料,优化滤池的污染物负荷、水力负荷和温度等条件,有利于提高滤池污泥减量效率。

【关键词】蚯蚓生态滤池;污泥减量技术;研究进展

Review of Sludge Reduction Technology Based on Vermifiltration

LI Hong-mei

(School of Security and Environmental Engineering, Capital University of Economics and Business, Beijing, 100070, China)

【Abstract】With simple process, convenient operation and lower costs, vermifiltration has been used in industrial practice and proved to be effective in sludge reduction without affecting treated water quality. Further researches have to be conducted for decreasing the concentration of P and N in treated water in vermifiltration process. Problems of uneven water distribution, impounded water and vermifiltration bed clogging by sludge needed to be solved. Further researches on conversion of pollutants or sludge in the vermifiltration system needed to be conducted. To improve the sludge reduction efficiency, it is necessary to optimize the conditions of hydraulic loading, pollutant loading and temperature during vermifiltration process.

【Key words】Vermifiltration; Sludge reduction process; Research development

截止2009年年底,全国年污水排放量已达到589.2亿吨^[1],城镇污水处理厂已超过1817个^[2]。伴随我国城镇污水处理率的不断提高,每天将产生大量的剩余污泥,如何处理这些剩余污泥已成为制约我国污水处理工程持续发展的障碍^[3]。污泥浓缩、脱水、焚烧和污泥农用等处理处置综合利用技术,因能耗大、成本高和二次污染等问题而难以广泛推广^[4]。开发低碳环保污泥减量技术是解决我国污泥难题的首选。

污泥减量是指利用物理、化学和生物学原理减少污水处理系统的污泥产量,同时保证污水处理效果。近年来,蚯蚓生态滤池以其工艺简单、操作方便、污泥少和成本低等优点而受到关注^[5]。本文对蚯蚓生态滤池污泥减量技术的研究现状进行了分析总结。

1 蚯蚓生态滤池概述

蚯蚓生态滤池是在常规生物滤池中接种蚯蚓后构成的人工生态系统。滤池常设3层滤料,上层为蚯蚓分解处理层,由富含有机物质的松软无定型、吸水力强的物质构成;中间为补充层,主要由木屑、谷壳和树皮等材料构成;底层为承托层,由粗、细2种石英砂构成,污水或污泥由上部进入,从下部排出。

蚯蚓生态滤池污泥减量机理:滤池中的微生物降解水中胶体态和有机物,并在填料表面形成生物膜。蚯蚓捕食分解生物膜,使生物污泥减量和稳定^[6]。另外,蚯蚓和微生物之间存在协同共生作用:①细菌广泛分布于蚯蚓体消化道内^[7],在肠道内由前向后移动,部分种群数量成倍上升^[8]。粪囊中的细菌进入环境后,数量随时间的延长和有机物质增多而增加,有机物质分解速率越大^[9]。②蚯蚓杀死微生物释放养分,使微生物群落年轻化,提高了微生物活性,加快微生物代谢^[10]。③蚯蚓在觅食过程中上下钻动,疏松填料,有利于微生物迁移和对污染物的降解。

2 蚯蚓生态滤池处理污水

蚯蚓生态滤池处理生活污水基本上不外排剩余污泥,污泥产率远低于普通活性污泥法^[11]。当水力负荷大于 $6.7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时,出水的COD、氨氮和TP浓度明显增大,蚯蚓出现严重不透气现象;水力负荷为 $4.8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时,蚯蚓相对摄食能力最大,有机物去除效果良好^[12];一定水力负荷下,用陶粒做滤池滤料,蚯蚓生长好,污泥减量率高,但过高水力负荷会导致蚯蚓死亡^[13,14]。

蚯蚓生物滤池滤床温度过低不利于硝化过程。温度为 $16.6 \sim 29.5^\circ\text{C}$ 时,滤池硝化速率为 $0.2 \sim 0.5 \text{ mgNH}_4^+ \cdot \text{N}/(\text{g} \cdot \text{h})$;当滤床温度为 10°C 时,硝化速率为 $0.1 \text{ mgNH}_4^+ \cdot \text{N}/(\text{g} \cdot \text{h})$,最小值仅为 $0.0456 \text{ mgNH}_4^+ \cdot \text{N}/(\text{g} \cdot \text{h})$ 。蚯蚓密度与硝化菌数量呈线性正相关,蚯蚓与硝化菌之间存在协同生长效应^[15]。

向蚯蚓生物滤池投加聚合氯化铝(PAC)可提高TP去除率,但出水氨氮增加,TN基本没有变化^[16]。PAC对蚯蚓有一定的毒害作用,导

致生物量和摄食消化能力有所下降,适应一段时间后,蚯蚓抵御PAC胁迫的能力增强。

蚯蚓生物滤池使用粗滤料(粗木屑、泥炭、石英砂、谷壳)处理城市生活污水的效果要好于使用细滤料^[17]。

一定水力负荷条件下,蚯蚓生物滤池处理城市生活污水,出水COD_{Cr}和BOD₅平均去除率高,但NH₃-N、TN和TP的平均去除率较低^[18]。

单级蚯蚓生态滤池处理某农村生活污水,COD、总氮、氨氮和总磷的去除率分别在81%、66%、82%和89%左右^[19]。江苏宜兴16座塔式蚯蚓生态滤池处理农村生活污水试验好,COD、氨氮、总氮和总磷的平均去除率分别为86.7%、91.3%、72.4%和96.2%。处理规模为 $10 \text{ m}^3/\text{d}$ 的滤池系统建设成本(不含管网费)为 $1656.1 \text{ 元}/\text{m}^3$,总运行成本为 $0.671 \text{ 元}/\text{m}^3$ ^[20]。

戴一琦等^[21]设计了一种新型的分层式蚯蚓生物滤池,在水力负荷为 $1.0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 、高有机负荷条件下,系统对COD、氨氮、SS和总磷的平均去除率分别达到86%、70%、67%、91%。滤池系统各层中蚯蚓数量呈现一个上升过程直至平衡,并与有机物的去除率表现出一定相关性。

方彩霞等^[22]实验发现蚯蚓生态滤池系统硝态氮大量积累,亚硝态氮少量积累,表明系统硝化作用强,反硝化作用受到抑制,总体脱氮能力较差。方彩霞等^[23]以土壤、砂、碎青石、鹅卵石为滤料,在一定的工艺条件下,用单级蚯蚓生态滤池处理生活污水,COD、氨氮和TP的平均去除率分别为83.1%、85.8%和78.1%。系统具有工艺简单、处理效果好、操作方便、无剩余污泥产生等优点。

控制适宜的水力负荷,蚯蚓生态滤池中的蚯蚓摄食能力强,污泥减量效率高,污染物去除效果良好(氮、磷除外)^[11,12,18-23]。滤料的粗细和性质对蚯蚓生长活性有明显影响^[13,16,17]。蚯蚓与硝化菌之间存在协同生长效应^[14]。蚯蚓生态滤池具有工艺简单、处理效果好、操作方便、成本低和污泥少等优点^[19,20,22]。

3 影响滤池中蚯蚓生长因素

蚯蚓生物滤池的水力冲刷和滤料对蚯蚓体壁组织结构会造成一定程度的损伤,可能是滤料的物理磨损作用造成的。陶粒滤料对蚯蚓体壁组织结构的损伤较小^[24]。

蚯蚓生物滤池在启动驯化阶段蚯蚓的数量和生物量先逐渐下降,后逐渐增加,说明蚯蚓接种到滤池后有一个适应过程。蚯蚓密度和滤池含水率之间存在着极显著负相关。滤池温度低于 15°C 时,蚯蚓呼吸率大幅度下降,不利于蚯蚓捕食污泥。提高滤池内蚯蚓密度,并使蚯蚓分布均匀,能提高污泥处理效率^[25]。

杨健^[26,27]水力负荷大于 $6.7 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 时,滤池蚯蚓的数量和生物量均大幅度减少,池中蚯蚓呼吸水平显著下降,降低了捕食污泥的能力。进一步考察蚯蚓体内抗氧化酶和消化酶活性对水力负荷胁迫的响应

情况发现,水力负荷为 $4.8 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 时,蚯蚓具有较高的碱性磷酸酶(AKP)和纤维素酶(FP)活性,消化率、污泥减量率和污泥有机质分解率均达到最高值;水力负荷 $\geq 6.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 时, AKP、FP活性受到明显抑制,污泥减量率和有机质分解率均有一定程度的下降。蚯蚓生物滤池运行水力负荷不宜超过 $6.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。

可见,蚯蚓接种到滤池后经历了一个适应新环境的过程,环境条件适宜时,滤池中蚯蚓数量和生物量会不断增加。填料的性质[24]、水力负荷[25,26]和温度[27]等工艺条件和环境条件都影响蚯蚓生理生态状态,从而影响滤池的污泥减量率。工艺条件和环境条件对蚯蚓生态滤池总体的影响还有待进一步研究。

4 结语

综上所述,蚯蚓生态滤池在工程上已得到了应用,能够在保证系统出水水质的前提下减少污泥产量,工艺简单、操作方便、成本低和二次污染小等优点。笔者认为,进一步解决以下问题,将有利于蚯蚓生态滤池污泥减量技术的广泛推广。

(1) 蚯蚓生态滤池工程应用中出现的布水不均匀、局部积水和污泥堵塞(包括堵塞水管)^[9],以及磷释放等问题有待进一步解决。

(2) 蚯蚓生态滤池处理系统中蚯蚓等微型动物捕食污泥减量机理,尤其是食物链动态平衡代谢机理和食物链生长动力学有待深入研究,选择更适宜的填料,优化蚯蚓生态滤池的污染物负荷、水力负荷和温度等工艺条件和环境条件,有利于强化微蚯蚓生态滤池污泥减量过程,提高污泥减量效率。

【参考文献】

- [1] 中华人民共和国环境保护部. 中国环境公告. 北京, 2009: 14.
- [2] 仇保兴. 我国城镇污水处理发展的状况和面临的挑战. 中国给水排水, 2010, 36(2): 1-3.
- [3] Low E U, Chase H A. Reducing production of excess biomass during wastewater treatment [J]. Wat. Res., 1999, 33(5): 1119-1132.
- [4] H. ?egaard. Sludge minimization technologies—an overview [J]. Water Science & Technology, 2004, 49(10): 31-40.
- [5] 邢美燕. 蚯蚓生物滤池处理城市合流污水工艺性能研究[D]. 上海: 同济大学, 2008: 139.
- [6] 杨健, 钟耀祖, 吴敏. 城镇污水—污泥同步生物处理研究[J]. 环境污染与防治, 2004, 26(6): 427-429.
- [7] Domsch K H and Banse H J. Mykologische untersuchungen am regenwurm exkrementen[J]. Soil Biol. Biochem. 1972, 69: 223-234.
- [8] Barois I, Lavelle P. Changes in respiration rate and some physiochemical properties of a tropical soil during transit through Pontoscolex corethrurus (Glossoscolecidae, Oligochaeta) [J]. Soil Biol Biochem., 1986, 18: 539-541.
- [9] 张立宏, 许光辉. 微生物和蚯蚓协同作用对土壤肥力影响的研究[J]. 生态学报, 1990, 10(2): 116-120.

- [10] 张宝贵, 李贵桐, 申天寿. 威廉环毛蚯蚓对土壤微生物量及活性的影响[J]. 生态学报, 2000, 20(1): 168-172.
- [11] 杨健, 施鼎方. 城镇污水处理绿色技术及其进展[J]. 环境污染与防治, 2001, 23(3): 107-120.
- [12] 杨健, 杨居川, 陈巧燕, 等. 水力负荷对蚯蚓生物滤池污水处理效果的影响[J]. 环境科学, 2008, (7): 1890-1896.
- [13] 杨健, 赵丽敏, 陈巧燕, 等. 石英砂和陶粒蚯蚓生物滤池的污泥减量化效果比较[J]. 中国给水排水, 2008, (7): 12-15.
- [14] 吴敏, 姜山杰, 杨健, 等. 蚯蚓生物滤池的污泥减量化效果及其影响因素[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2008, (4): 514-518.
- [15] 邢美燕, 杨健, 马小杰, 等. 蚯蚓生物滤池的硝化性能及其影响因素研究[J]. 中国给水排水, 2008, (3): 9-12.
- [16] 易当皓, 张杰, 杨健, 等. 蚯蚓生物滤池的化学除磷可行性研究[J]. 中国给水排水, 2008, (19): 32-36.
- [17] 陈旸, 肖亿群, 邱江平. 蚯蚓生物滤池处理城市污水初步试验. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2003, 21(4): 336-339.
- [18] 李旭东, 邱江平, 何小娟, 等. 蚯蚓生物滤池处理生活污水的中试研究[J]. 净水技术, 2008, (4): 36-39.
- [19] 李军状, 罗兴章, 郑正, 等. 蚯蚓生态滤池处理农村生活污水现场试验研究[J]. 环境污染与防治, 2008, 30(2): 11-16.
- [20] 李军状, 罗兴章, 郑正, 等. 塔式蚯蚓生态滤池处理集中型农村生活污水工程设计[J]. 中国给水排水, 2009, 25(4): 35-38.
- [21] 戴一琦, 李银生, 李旭东, 等. 不同有机负荷条件下分层蚯蚓生物滤池对生活污水的处理效果[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2010, 28(1): 35-40.
- [22] 方彩霞, 罗兴章, 郭飞宏, 等. 蚯蚓生态滤池对生活污水中氮的去除作用[J]. 环境科学, 2010, 31(2): 352-356.
- [23] 方彩霞, 罗兴章, 郑正, 等. 改进型蚯蚓生态滤池处理生活污水研究[J]. 中国给水排水, 2009, 25(1): 22-25.
- [24] 陆志波, 姜山杰, 杨健, 等. 蚯蚓生物滤池两种滤料中蚯蚓体壁损伤的比较[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2008, (8): 1089-1093.
- [25] 杨健, 邓德汉, 陈巧燕, 等. 蚯蚓生物滤池启动驯化阶段蚯蚓生理生态适应性研究[J]. 环境科学, 2009, (8): 2358-2365.
- [26] 杨健, 赵丽敏, 陈巧燕, 等. 水力负荷对滤池中蚯蚓生态生理适应性的影响[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2009, (8): 1049-1054.
- [27] 杨健, 赵丽敏, 陈巧燕, 等. 水力负荷对生物滤池中蚯蚓抗氧化酶和消化酶活性的影响[J]. 环境科学, 2009, (4): 1029-1035.

作者简介: 李洪枚, 首都经济贸易大学安全与环境工程学院, 副教授。

※基金项目: 北京市教委劳动卫生与环境卫生科技创新平台资助(PXM2009-014205-074352)。

[责任编辑: 张慧]

(上接第464页) 2 实验结果分析

通过插值、拟合,可以解决预报图像中的不连续等问题,本文分别对三种预报方法进行了对比分析。如图1所示,图(a)是2006年6月24日18点51分实际测量所得雷达组合反射率图像,图(b)是对18点21分的雷达图像采用单纯的线性外推方法所得的半小时之后预报图像,可以看出,图(b)中存在很多无效点(白色的点)。这些无效点大大的降低了预报的效率,因此,本文将运动矢量为无效的那些点保留其上一时刻的回波值,如图(c)所示,这样使无效点保留了雷达图像上一时刻的属性,相对来说改善了预报的效果,但是,可以看出,由于这些无效点保留的是上一时刻的值,可能与当前时刻的反射率因子有一定的差距,表现在图上即为图像的不连续性。图(d)所示是利用改进的插值外推预报法所得的预报图像,可以看出,插值外推不仅解决了图像的不连续性,而且使预报图像变得更为准确。

3 总结

本文分析了当前的外推预报算法的优缺点,在利用光流法生成雷达图像中每个像素点的运动矢量的基础上,提出将插值和拟合的方法应用于雷达图像的外推预报,从而解决了原始外推方法所得预报图像中存在无效点或图像不连续的问题。图像中每个像素的运动矢量对预

报的结果也有十分重要的作用,本文下一步的工作重点将放在如何进一步提高图像中像素的运动矢量的准确性。

【参考文献】

- [1] 韩雷, 王洪庆, 等. 基于雷达数据的风暴体识别、追踪及预警的研究进展[J]. 气象, 2007, 33(1): 3-10.
- [2] 王改利, 刘黎平, 阮征. 多普勒雷达资料在暴雨临近预报中的应用[J]. 应用气象学报, 2007, 18(3): 388-395.
- [3] Barton J L, Fleet D J, Beauchemin S S. Performance of optical flow techniques [J]. International Journal of Computer Vision, 1994, 12(1): 43-77.
- [4] Lucas B., Kanade T. An interactive image registration technique with an application to stereo vision [J]. Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1981, 2: 121-130.
- [5] 刘国锋, 诸昌铃. 光流计算技术[J]. 西南交通大学学报, 1997, 32(6): 656-662.
- [6] 陈宝平, 赵俊岗, 尹志凌. 双线性插值算法的一种快速实现方式. 北京电子科技学院学报, 2004, 12(4): 21-23.

作者简介: 王敏, 女, 中国海洋大学青岛学院, 助教, 研究方向为图像处理、模式识别。

[责任编辑: 王静]