

蚯蚓生物滤池技术处理污水研究现状

储雪飞^{1,2}, 邢美燕^{1,2}

¹同济大学, 长江水环境教育部重点实验室, 上海

²同济大学, 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海

Email: cxfpingchangxin@163.com

收稿日期: 2020年12月14日; 录用日期: 2021年1月13日; 发布日期: 2021年1月20日

摘要

随着社会的发展, 小城镇水环境污染越来越严重。蚯蚓生物滤池属于污水处理生物膜法一种, 是基于普通生物滤池开发的一项实用性技术。其具有工艺简单, 管理方便, 占地面积小等优点, 是一种适合应用于小城镇及农村污水分散式就地处理的技术。概述了蚯蚓生物滤池的基本原理; 介绍了蚯蚓生物滤池处理污水的作用效果; 从蚯蚓生物滤池运行角度, 总结了蚯蚓生物滤池运行的工况条件; 并且对蚯蚓生物滤池技术的应用进行了展望; 最后, 为蚯蚓生物滤池的后续研究提供了建议。

关键词

小城镇, 污水, 蚯蚓生物滤池, 运行条件

Research Status of Wastewater Treatment by Vermifilter

Xuefei Chu^{1,2}, Meiyian Xing^{1,2}

¹Key Laboratory of Yangtze River Water Environment, Ministry of Education, State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai

²State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai

Email: cxfpingchangxin@163.com

Received: Dec. 14th, 2020; accepted: Jan. 13th, 2021; published: Jan. 20th, 2021

Abstract

With the development of society, water pollution in small towns is becoming more and more serious. Vermifilter is a kind of biofilm method. It is a practical technology based on Biofilter, which has the advantages of simple process, convenient management, small floor area and so on. It is a

kind of technology suitable for the small town and rural sewage decentralized local treatment. The basic principle of earthworm biofilter was summarized. The effect of earthworm biological filter on sewage treatment was introduced. The operating conditions of earthworm biofilter were summarized from the operating point of earthworm biofilter. The application of earthworm biofilter technology was prospected. Suggestions were proposed for the future research direction of Vermifilter.

Keywords

Small Town, Waste Water, Vermifiliter, Operation Conditions

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

中国是全球小城镇最多的国家，与小城镇相关的污水排放、收集、处理等问题也是影响我国生态环境发展的重要因素[1]。在我国大部分小城镇管网覆盖率低、污水收集系统不完善、污水处理厂技术较落后、水处理工艺运行稳定性差，绝大多数小城镇污水得不到有效处理，使得小城镇周边水体污染严重，水环境日益恶化，严重制约了小城镇的经济发展。调查表明，由于污水处理不达标，国内 90%以上小城镇水资源受到了不同程度的污染，大部分小城镇河流不可作为饮用水水源[2]。因此小城镇污水处理问题成为了目前亟待解决的问题之一。基于小城镇地方区域环境、经济、污水特性等因素，适合的污水处理技术应满足以下要求：1) 低处理处置成本；2) 少运行管理和维护；3) 生态处理效果好等。小城镇污水处理国外比较典型的技术如：澳大利亚 Filter 污水处理系统、法国蚯蚓生态滤池、美国高效藻类塘、荷兰一体化氧化沟、日本净化槽、韩国人工湿地等[3] [4]。国内处理技术包括 SBR、CASS、MBBR、人工湿地、稳定塘等。综上，寻求经济有效实用的小城镇污水处理技术是目前国内外研究者关注的热点。

2. 蚯蚓生物滤池技术简介

蚯蚓生物滤池(Vermifilter, VF)是基于普通生物滤池和蚯蚓堆肥技术的原理组合形成的新型的污水污泥生物处理技术[5]。VF 是法国和智利科学家开发的主要针对生活污水和有机废水的生物处理技术，以蚯蚓具有提高土壤通气透水性能和促进有机物分解转化等生态功能作为设计依据。蚯蚓生物滤池在我国的首次应用和研究始于 1999 年由同济大学承担的国家科技部中法合作项目。课题组近 20 年来一直坚持对该技术的研究，对蚯蚓生物滤池直接处理污水及剩余污泥从工艺条件的角度，分析了不同滤料种类、滤料粒径、滤料级配、滤池高度、有机负荷、水力负荷、蚯蚓密度等因素对蚯蚓生物滤处理效果的影响，初步确定了蚯蚓生物滤池运行的工况条件。VF 净水机制包括物理、化学、生物三重作用，污水自上而下滤过，滤料将悬浮固体以及污染物截留吸附，经过沉淀、离子交换和氧化还原等一系列化学反应去除污染物，同时滤料表层形成的生物膜也可以对污水中的有机污染物进行生物降解，蚯蚓引入生物滤池，通过其穿梭、掘洞及选择性摄食与微生物的协同作用，一方面可有效解决滤池堵塞、卫生条件差、处理效率低等问题，另一方面可实现更高效率净化污水的目的(图 1 [6]，VF 处理污水流程)。VF 技术设备简单、运行管理和设备维护检修方便，可大幅降低工程造价和运行费用，因此基于蚯蚓生物滤池技术实现小城镇污水分散式就地处理具有巨大发展空间和应用前景。

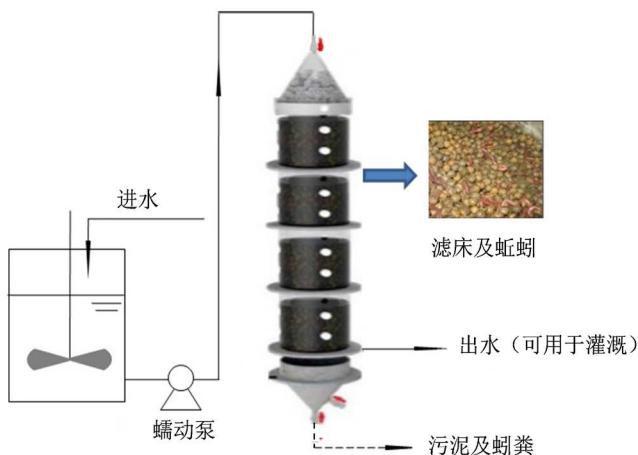


Figure 1. Flow chart of vermicilter for sewage treatment
图 1. 蚯蚓生物滤池处理污水技术流程图

3. 蚯蚓生物滤池处理污水效果

同济大学杨健课题组, 利用联合工艺“厌氧水解 - 高负荷生物滤池”处理污水, 并且认为联合工艺可以使出水水质全部达《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)的二级排放标准, 部分指标达 GB 18918-2002 的一级 B 排放标准。李旭东[7]的研究表明, 在水力负荷为 $1.3\sim1.5 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ 时, 利用蚯蚓生物滤池工艺可以有效处理未经复杂预处理的污水。COD、BOD 去除率分别达 80.37% 和 90.66%, 总氮和氨氮去除率达 30.23% 和 42.91%, 总磷去除率为 19.96%, 各项指标均达国家《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)二级标准, 与杨健研究一致。综合来看, 蚯蚓生物滤池技术能够对污水进行有效处理并且达到国家规范标准要求。

4. 蚯蚓生物滤池运行工况条件研究现状

4.1. 蚯蚓种类

蚯蚓经人工引入滤池以后, 延长了生物食物链, 优化了微生物群落结构, 强化了微生物的活性, 提高了处理水水质。应用于蚯蚓滤池的蚯蚓应该同时具备环境适应能力强、速率快、价格低廉易获得等优点。目前, 广泛应用于蚯蚓滤池及蚯蚓堆肥的蚓种为赤子爱胜蚓。赤子爱胜蚓为正科蚓, 爱胜属, 俗称红蚯蚓, 属粪蚯蚓类。个体较小, 体长 40~150 mm, 体宽 3~5 mm, 体节 80~110 个。

4.2. 滤料的选择

滤料在过滤过程中既是蚯蚓和微生物生存的介质也是起过滤作用的主体。合适的滤料应具备较合适的比表面积和粒径, 一定的机械强度, 适合的空隙率及表面粗糙度等, 同时应用于蚯蚓生物滤池的滤料也要考虑其对蚯蚓的磨损作用, 因此选择合适的滤料应用于蚯蚓生物滤池是必要的。

同济大学邢美燕、陆志波等[8][9]从滤池蚯蚓受损情况分析, 得出了在其他条件一定时, 陶粒较石英砂对蚯蚓的胁迫作用更低, 更适合应用于蚯蚓生物滤池, 杨居川[10]也得到了相同的结论。王夙[11]的研究概述了无机填料(如石英砂、陶粒)代替有机填料(如锯末、稻草)的原因, 指出了有机填料应用于蚯蚓滤池时, 滤池效率较低, 运行费用较高等缺点, 强调了石英砂具有比表面积大, 强度高等优点。上海交通大学戴一琦等[12]采用有机滤料不同配比试验分层蚯蚓生物滤池出水效果, 结论为可以进行有机滤料和无机滤料组合进行污水处理。同时在有机负荷为 $2.11 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ 的条件下[13][14], 对比木珠、瓷球和鲍尔环 3 种填料对污泥的处理情况, 结论为木珠填料利于蚯蚓生物滤池工艺效能的发挥。

4.3. 温度

温度是生物处理必须要考虑的因素, 适宜的温度有利于生化反应的进行, 有助于提高生物处理效率。一般而言, 较高的温度能够提高微生物的新陈代谢活性, 但是, 蚯蚓是变温动物, 较高或较低温度都会对蚯蚓正常生长繁殖产生影响。邢美燕[8]分别考察了不同温度对石英砂和陶粒蚯蚓滤池处理污水效果的影响, 认为石英砂滤床的最佳温度范围为 15℃~24℃, 陶粒的最佳温度范围为 18℃~26℃。郭一令[15] (温度对蚯蚓生物滤池处理小城镇污泥效果影响)设置了 9℃~10℃, 14℃~15℃, 18℃~19℃, 24℃~25℃四个温度水平, 探究温度对蚯蚓生物滤池处理小城镇污泥的影响, 结果表明温度的升高可以提高 VF 处理效果。吴敏等[16]研究表明, 温度为 23℃~28℃时, VF 处理污泥效果最好。

4.4. 水力负荷

滤池水力负荷是指单位面积滤池每天所处理的污水量, 可以用来表征滤池处理污废水的能力。通过研究不同水力负荷下滤池的处理污水的效果, 肖亿群[17]等分析得出水力负荷为 1.3~1.5 m³/m²·d 时, VF 处理出水可以达国家污水综合排放标准(GB8978-1996)二级排放标准。邢美燕[5]的研究表明, 处理“厌氧水解 - 高负荷生物滤池”作为预处理的城市污水时, 石英砂蚯蚓生物滤池最佳水力负荷范围为 4.8~6.0 m³/m²·d, 陶粒的最佳水力范围为 4.8~5.5 m³/m²·d。杨健等[18]研究了不同水力负荷对出水水质及蚯蚓生长状况的影响, 结果表明水力负荷为 4.8~6.7 m³/m²·d 时, VF 处理效果较佳。陈少华[19]的研究表明水力负荷为 1.0 m³/m²·d 时, 出水可达二级排放标准, 水力负荷超过 4.0 m³/m²·d 时, 滤池处理效果显著降低。

4.5. 有机负荷

有机负荷是生物滤池运行控制的重要参数之一, 是综合反映滤除降解有机物能力的指标。李银生[12]采用高低两种有机负荷研究了蚯蚓生物滤池对污水的处理效果, 结果表明, 在高低有机负荷下, VF 对污水各项指标均有较好的去除效果, 但是高低负荷对滤池内部蚯蚓的影响不同。邢美燕[8]的研究表明, 滤池有机负荷为 0.46~0.93 kg BOD₅·m⁻³·d⁻¹ 时, 石英砂滤池对进水有较好的处理效果。综合来看, 合适的有机负荷是 VF 发挥最大效能的前提。

5. 蚯蚓生物滤池的应用展望

蚯蚓生物滤池工艺因其设计规模的灵活性, 是一种很适合应用于农村及小型污水处理的工艺技术。对于广大农村地区, 因为经济、地理位置、发展水平等条件的制约, 使得污水处理难以直接应用某些主流工艺, 但是大量的农村人口产生的大量生活污水若不经有效处理直接排放, 势必对环境造成巨大的不利影响, 蚯蚓生物滤池工艺简单、操作方便、运行费用低、处理效果好, 适合应用于农村及小型城镇的污水处理。另外, 将蚯蚓生物滤池与其它主流工艺组成联合工艺处理污废水也是蚯蚓生物滤池发展的一个方向, 利用蚯蚓生物滤池技术的优点, 配合使用其它水处理工艺实现污废水的有效处理。

6. 结语

随着社会的发展, 人民生活水平不断提高, 污水产生量也逐渐攀升, 其中农村及城镇地区污水因其特殊性, 其处理得到了广泛地关注。蚯蚓生物滤池具有建设费用低、运行费用低, 管理方便, 二次污染小等优点, 是一种可以应用于中小型污水处理厂的绿色环保技术。通过选取合适的蚯蚓种类、滤料种类, 控制运行过程中的温度、水力负荷、有机负荷等运行参数, 可以使蚯蚓滤池发挥其最大作用。

另外, 虽然国内蚯蚓生物滤池取得一定的进展, 但近些年有关蚯蚓生物滤池研究相对较少。滤池滤料、运行条件、蚯蚓选择仍然有待优化。

参考文献

- [1] 杨方灿, 郭飞宇, 王若飞. AAO 处理小城镇污水的工艺优化措施[J]. 工程建设与设计, 2020(19): 151-154.
- [2] 严伟. UNITANK 处理技术在乡镇污水处理中的应用[J]. 河北农机, 2010(2): 33-34.
- [3] 苏东辉, 郑正, 王勇, 等. 农村生活污水处理技术探讨[J]. 环境科学与技术, 2005, 28(1): 79-81.
- [4] 许春莲, 宋乾武, 王文君, 等. 日本净化槽技术管理体系经验及启示[J]. 中国给水排水, 2008, 4(14): 1-4.
- [5] 俞庭康, 杨健. 城镇污水处理最佳实用技术新进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2000, 1(5): 54-60.
- [6] 袁亚楠. 蚯蚓生物滤池污泥减量的生物粒径谱特性及其能量驱动机制[D]: [博士学位论文]. 上海: 同济大学, 2019.
- [7] 李旭东, 邱江平, 何小娟, 肖亿群. 蚯蚓生物滤池处理生活污水的中试研究[J]. 净水技术, 2008, 27(4): 36-39.
- [8] 邢美燕. 蚯蚓生物滤池处理城市合流污水工艺性能研究[D]: [博士学位论文]. 上海: 同济大学, 2008.
- [9] 陆志波, 娄山杰, 杨健, 陈巧燕. 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, 36(8): 1089-1093+1100.
- [10] 杨居川. 陶粒滤料蚯蚓生态滤池的工艺性能研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 同济大学, 2007.
- [11] 王夙, 邹斌, 杨健, 邢美燕. 蚯蚓生物滤池的研究与应用进展[J]. 中国给水排水, 2010, 26(8): 20-24.
- [12] 戴一琦, 李银生, 李旭东, 沈小虎, 陆燕, 邱江平. 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+58.
- [13] 郑雅丹, 陆雨凡, 吴安斐, 王寅, 邢美燕. 蚯蚓生物滤池处理剩余污泥的脱水性能研究[J]. 中国给水排水, 2016, 32(3): 1-5+10.
- [14] 邢美燕, 陆雨凡, 蔡芦子彧, 肖涛. 不同填料对蚯蚓生物滤池微生物酶活性的影响[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2017, 45(1): 71-78.
- [15] 郭一令, 孟斌, 王森, 戚伟康. 温度对蚯蚓生物滤池处理小城镇污泥效果影响[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(8): 142-147.
- [16] 吴敏, 娄山杰, 杨健, 陈巧燕. 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, 36(4): 514-518.
- [17] 肖亿群. 蚯蚓生物滤池污水处理技术研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海师范大学, 2003.
- [18] 杨键, 杨居川, 陈巧燕, 娄山杰. 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, 29(7): 1890-1896.
- [19] 陈少华. 蚯蚓生物滤池生活污水处理性能及蚯蚓适应性研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2014.