

文章编号: 1009-7767(2008)01-0039-04

微型后生动物污泥减量技术研究

张 恒, 吉芳英, 喻小花

(重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘 要: 利用微型后生动物的捕食作用减少污水处理系统中的剩余污泥产量被誉为能耗低、不产生二次污染的生态化污泥减量技术。论文重点介绍了适合微型后生物生长且能够达到污泥减量的污水处理工艺的效果。针对现有研究中存在的问题,提出了今后的研究重点是在保证污水处理效果的前提下,使微型后生物在污水处理系统中的稳定和可控生长。

关键词: 污泥减量; 微型后生物; 污水处理

中图分类号: X 703.1 文献标志码: A

Research on the Technology of Micro- metazoa for Reducing Sludge Production

Zhang Heng, Ji Fangying, Yu Xiaohua

(Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Region 's Eco- environment, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: Using predation of micro- metazoa to reduce excess sludge production in wastewater treatment system is praised an eco- technology of sludge reduction with low- power and no- secondary pollution. The paper mentions the wastewater treatment process fitting for growth of micro- metazoa and sludge reduction emphatically. In allusion to existent problem of current study, the author consider that the key study for the future is insuring the micro- metazoa growing steadily and controllably in the wastewater treatment system, besides having no influence of the treatment effect.

Key word: sludge reduction; micro- metazoa; wastewater treatment

利用微型动物的捕食来减少剩余污泥产量作为一种能耗低、不产生二次污染的生态工程技术,已越来越受到学者们的关注。它主要是利用原生动物(纤毛虫、鞭毛虫等)、后生物(红斑颤体虫、颤蚓、卷贝等)以及苍蝇等小型动物来捕食活性污泥中的细菌和污泥碎片,并通过其肠管使这些食物得到一定程度的矿化,从而减少系统中剩余污泥的产量。而后生物作为污泥处理系统中体型最大的生物,具有比其他生物更强的污泥减量的能力^[1-4]。因此,利用微型后生物进行污泥减量成为近年来研究的热点。

利用后生物进行污泥减量的工艺多种多样,有利用现有的污水处理工艺直接投加后生物进行污泥减量的;也有制作适应后生物生长进行污泥减量

的反应器。

1 传统活性污泥工艺效果

目前,世界上超过 90%的城市污水处理采用的是活性污泥法。因此,国内外许多研究者首先关注的就是微型后生物在活性污泥系统中的生长情况和减量效果。

Ratsak 等人^[5]在研究荷兰某污水处理厂活性污泥系统中寡毛虫类的种群动态时,发现随着仙女虫的大量生长,污泥产量随之降低,而且用于曝气所需的能量也大大地降低,污泥容积指数(SVI)得到改善。Ratsak 还发现寡毛虫种群的大小与剩余污泥产量的多少有明显的关系,如果系统中每毫升污泥混合液里存在寡毛虫超过 20~30 条,污泥量就能减少。但是,由于这些蠕虫在曝气池中生长空间和时间上的不稳定性,有时会影响污泥减量的效果。

Rensink 等人^[6]在研究一种改进的水处理系统时

收稿日期: 2007-09-14

作者简介: 张恒(1982-),男,重庆人,硕士研究生,研究方向为水污染控制理论及技术。

发现,在塑料载体上自然生长有颤蚓、仙女虫和红斑颧体虫。当没有这些蠕虫存在时,污泥产量为 0.4 g/g,而有这些蠕虫存在时,污泥产量就会降低到 0.16 g/g。

梁鹏等人^[7-9]在活性污泥反应器(图 1)中引入红斑颧体虫研究其污泥减量的效果时发现,当进水负荷 $<0.6 \text{ mg}/(\text{mg}\cdot\text{d})$ 时,红斑颧体虫可大量出现,SRT 为 15~34 d 时对红斑颧体虫的长期生长没有影响;在不同的 SRT 条件下,污泥相对减量值为 39%~58%,而且在 20 d 的实验期间对出水水质没有影响。梁鹏还提出了测量系统非固态 C 增加速率表征微型动物对污泥的减量速率的试验方法。测量的微型后生动物有红斑颧体虫、颤蚓、蚤状溇和卷贝,梁鹏发现不同微型后生动物的污泥减量速率分别为 0.8、0.5、0.06 和 0.04 $\text{mg}/(\text{mg}\cdot\text{d})$ 。

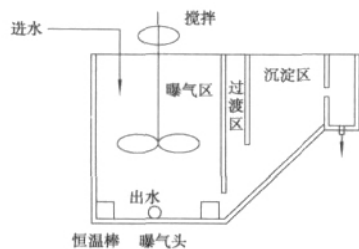


图 1 活性污泥反应器示意图

魏源送等人^[9]用活性污泥法处理小区生活污水时,让蠕虫在推流式曝气池中自然生长。在整个运行过程中蠕虫都存在,红斑颧体虫和仙女虫交替占据优势地位,前者占据优势地位的时间较多,而后者一旦成为优势种时,污泥减量效果就更加明显。该研究进一步表明,高密度蠕虫不仅能显著降低污泥产率,而且能明显提高污泥的沉降性能。当蠕虫总密度小于 50 条/mg 时,平均污泥产率和污泥容积指数为 0.122 kg/kg 和 77 mL/g;当蠕虫总密度大于 100 条/mg 时,则进一步下降至 0.10 kg/kg 和 41 mL/g。研究还发现,蠕虫密度越高,污水处理系统的出水水质就越差,尤其是硝酸氮浓度增加明显;相对而言,仙女虫对出水水质的影响大于红斑颧体虫。当仙女虫占优势时,还会导致出水 $\text{PO}_3\text{-P}$ 浓度的增加。

另外魏源送等人^[10]还比较了蠕虫在膜生物反应器(MBR)和活性污泥法(CAS)的生长状况及其导致的污泥减量效果。CAS 中的蠕虫生长状况明显优于 MBR。MBR 曝气池中平均蠕虫密度(10 条/mg MLSS)远低于 CAS 密度(71 条/mg MLSS)。CAS 中红斑颧体虫和仙女虫交替成为优势蠕虫。蠕虫生长对 MBR 的污泥产率(0.140 kg/kg)和污泥沉降性能(污泥沉降指数 133 mL/g)影响很小,但却能显著减少 CAS 的污泥

产率(0.117 kg/kg)和改善污泥沉降性能(污泥沉降指数为 60 mL/g),仙女虫比红斑颧体虫能更大地减少污泥产量和更好地改善污泥沉降性能。蠕虫生长不影响 MBR 的 COD 去除率和出水水质,但却显著影响 CAS 的 COD 去除率和出水水质。

白润英等人^[11]在容积为 20.4 L 的合建式活性污泥反应器(图 1)中投加一定量(10 个)的卷贝研究其污泥减量的效果。研究发现,污泥表观产率系数与卷贝密度呈负相关,卷贝对污泥的相对减量约为 40%,绝对减量为 37.5 $\text{mg}/(\text{L}\cdot\text{d})$,且污泥的减量速度为 0.177 $\text{mg}/(\text{mg}\cdot\text{d})$,而卷贝在其实验密度维持在 5 个/L 左右时,对系统中 COD、氨氮和总磷的去除不会产生影 响,并且对污泥沉降性能也影响不大。

2 蚯蚓生态滤池工艺效果

蚯蚓生态滤池(VBF)是在普通生物滤池的基础上,引入适宜蚯蚓生长的有机物分解处理层而形成的一种生态滤池,见图 2。在这一工艺中,它充分利用了蚯蚓具有较强的吞食细菌、有机物,提高滤料通透性(透水、通气)的能力,当污水自上而下滤过时,不断与滤料相接触,从而使微生物在滤料表面繁殖,形成生物膜。生物膜是由多种微生物和微型动物组成的生物群落,它利用污水中的有机污染物作为营养物质进行分解代谢获得能量,并形成新的微生物机体。

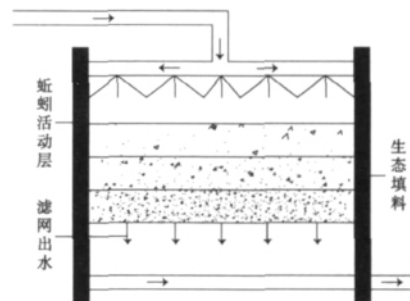


图 2 蚯蚓生态滤池示意图

杨建等人^[12]进行实验得出蚯蚓生态滤池处理系统基本不后排剩余污泥,其污泥产率大幅度低于普通活性污泥法的结论。因为,在滤池中建立的蚯蚓生态系统具有较强的污泥分解功能,在处理污水的同时实现了剩余污泥的分解和稳定。

陈旻等人^[13]也对蚯蚓生物滤池处理城市污水进行了试验研究,发现该滤池有较强的去除污水中 COD、 BOD_5 、SS 的能力。

3 淹没式生物膜污水处理工艺效果

淹没式生物膜污水处理工艺(见图 3)是利用生物膜上形成的由菌、藻、原生动物及后生动物组成的

较长的食物链和复杂的生态系统,在有效地对污水中的有机污染物、细菌等进行生物降解和同化的同时,降低系统中剩余活性污泥的产量,其剩余污泥产量为传统活性污泥处理法的 1/3~1/10,甚至更少。

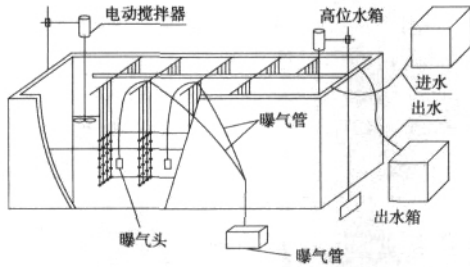


图 3 淹没式生物膜工艺示意图

王琳等人^[14]利用淹没式生物膜污水处理工艺处理广东番禺祁福新村污水,其处理量为 8 000 m³/d,设计水力停留时间为 6 h,在池底装有不锈钢管系统的穿孔管压缩空气扩散器,能实现剩余污泥的零排放。但是该处理工艺 TP 的去除率只有 36%,也没有考虑氮的去除。

李军等人^[15]利用淹没序批式生物膜反应器处理污水时得出:在载体填料密度为 30%,水力停留时间为 9 h(厌氧 3 h、好氧 6 h)时,进水 COD 负荷在 0.27~1.32 kg/(m³·d) 范围内,污泥产率只有 0.199 6 kg/kg。

4 专用反应器的效果

虽然现有的污水处理工艺适合于大多数后生动物的生长,并能使污泥减量,但是由于曝气池搅动大,运行的工况并不完全适合一些后生动物的生长,如颤蚓等。因此,有些研究者也制造专门适合后生动物生长的反应器进行污泥减量。

Rensink 等人^[16]制作了 1 m 和 2 m 2 个不同高度的滴流生物滤器(图 4),用火山岩作为填料来负载颤蚓,在回流污泥系统中把颤蚓投加到滴滤器上处理回流污泥,使得回流污泥里面的 COD 减少 18%~67%,污泥产率从没有投加颤蚓的 0.40 g/g 降到 0.15 g/g,污

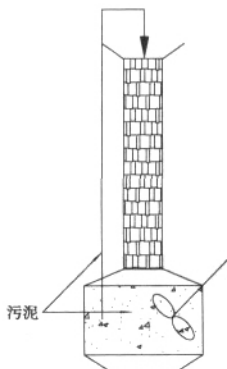


图 4 回流污泥滴流生物滤池示意图

泥体积指数(SVI)从 90 降到 45,污泥的脱水能力也提高了 27%。但是 2 个滴滤器液相中的氮和磷浓度都有明显的升高。

魏源送等人^[17]研究和开发了一种使用于寡毛类蠕虫生长的独立的生物反应器(图 5)来处理污水生物处理系统排放的剩余污泥。启动阶段,用 1 号反应器进行颤蚓接种,而 2 号反应器没有接种颤蚓作为对照。在整个试验运行期间,颤蚓始终存于 1 号反应器中,并且主要附着在填料上和聚集在反应器底部。2 个反应器都在试验阶段发现了游离型蠕虫如红斑颤体虫、仙女虫和叉形管盘虫存在。研究发现,蠕虫生长有助于污泥减量和改善污泥沉降性能,并且颤蚓的存在和生长可导致更显著的污泥减量效果。整个试验期间,1 号反应器的平均污泥减量效果为 57%,远高于 2 号对照反应器;而且进水高浓度 NH₄⁺-N 可能对蠕虫有毒害作用,从而抑制了蠕虫的生长。寡毛类蠕虫的生长对硝化过程没有影响,但会导致一定程度的氮、磷释放。

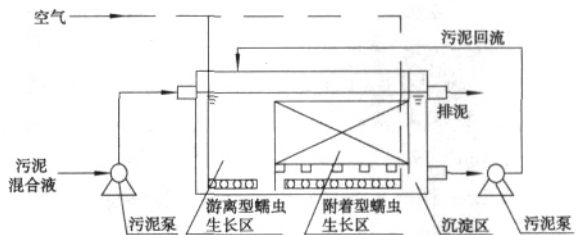


图 5 复合生物反应器示意图

王亚炜等人^[18]采用 2 个新型颤蚓污泥生物减量反应器(图 6)处理剩余污泥。这个反应器内多层水平隔板的通气孔径分别为 5 mm 和 1 mm,并且分别接种比例为 28 条/L 的颤蚓。研究表明,2 种颤蚓反应器污泥减量的效果分别为 44%和 33%,连续曝气的污泥减量效果为 46%,要优于间歇曝气 33%的污泥减量效果;同时发现,经过处理后的污泥的粒径减小,但是污泥沉降性能得到改善。整个试验中也明显出现了营养元素氮、磷的释放,特别是磷的升高尤为明显,究其原因可能是颤蚓排泄物中磷的含量较高,但不易转化为溶解态的磷酸盐。

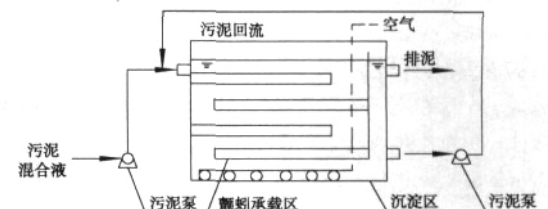


图 6 颤蚓污泥反应器示意图

5 展望

利用微型后生动物进行污泥减量,不但能达到较高的污泥减量效果,而且具有能耗少、运行费用低、没有副产物以及对环境不产生二次污染等优点。

虽然近几年来国内外在这方面的研究越来越多,越来越深入,但是正式投入工程应用的还很少。其主要技术瓶颈有:如何在污水处理系统中实现微型后生动物的可调控稳定生长;伴随污泥的矿化减量,如何保证污水处理效果,尤其是对氮、磷营养物质去除效果,如何避免污水处理系统无机物的积累等。因此,以还需要根据这些问题进行进一步研究,以实现微型后生动物能够稳定地进行污泥减量。

参考文献:

- [1] 张连凯,于德爽,孔范龙,等.利用微型动物减少污泥产量的工艺探讨[J].环境工程,2005,23(6):71-75.
- [2] 周可新,许木启,曹宏,等.利用微型动物削减剩余污泥量的研究[J].环境污染治理技术与设备,2003,4(1):1-5.
- [3] Lee N M, Welander T. Reduction sludge production in aerobic wastewater treatment through manipulation of the ecosystem[J]. Water Research, 1996, 30(8): 1781- 1790.
- [4] Lee N M, Welander T. Use of protozoa and metazoan for decreasing sludge production in aerobic wastewater treatment[J]. Biotechnology Letters, 1996, 18(4): 429- 434.
- [5] Ratsak C H, Kooi B W, van Verseveld H W. Biomass reduction and mineralization and increase due to the ciliate *Tetrahymena pyriformis* grazing on the bacterium *Pseudomonas fluorescens* [J]. Wat.Sci.Tech., 1994, 29(7):119- 128.
- [6] Rensink J H, Corstanje R, van der Pal J H. A new approach to sludge reduction by metazoa[M]. In 10th European Sewage and Reuse Symposium, IFAT, Munich: 1996, 339- 364.
- [7] Liang Peng, Huang Xia, Qian Yi. Excess sludge reduction in activated sludge process through predation of *Aediosoma hemprichi*[J]. Biochemical Engineering, 2006, 28: 117- 122.
- [8] Liang Peng, Huang Xia, Qian Yi, et al. Determination and comparison of sludge reduction rates caused by microfaunas, predation.Bioresource[J]. Technology, 2006, 97: 854- 861.
- [9] 魏源送,樊耀波. 蠕虫污泥减量效果及影响因素分析[J]. 环境科学, 2005, 26(1): 76- 83.
- [10] 魏源送, Houten R T Van, Borger A R, 等. 蠕虫在膜生物反应器和活性污泥法中的污泥减量研究[J]. 环境科学学报, 2004, 24(3): 405- 412.
- [11] 白润英,梁鹏,黄霞. 卷贝进行污泥减量的应用研究[J]. 给水排水, 2005, 31(7): 19- 21.
- [12] 杨建,施鼎方. 城镇污水处理绿色技术及其发展[J]. 环境污染与防治, 2001, 23(3): 107- 120.
- [13] 陈旻,吴敏,杨健. 蚯蚓生态床处理剩余污泥[J]. 中国给水排水, 2003, 19(5): 59- 60.
- [14] 王琳,王宝贞. 淹没式生物膜法污水处理厂的设计及运行[J]. 中国给水排水, 2000, 16(3): 16- 19.
- [15] 李军,赵琦,聂梅生. 淹没式生物膜法除磷生物膜特性研究[J]. 给水排水, 2002, 28(4): 23- 26.
- [16] Rensink, Rulkens W H. Using metazoan to reduce sludge production[J]. Wat.Sci.Tech, 1997, 36(11): 171- 179.
- [17] 魏源送,刘俊新. 利用寡毛类蠕虫反应器处理剩余污泥的研究[J]. 环境科学学报, 2005, 25(6): 803- 808.
- [18] 王亚伟,魏源送,刘俊新. 颤蚓反应器结构和曝气方式对剩余污泥处理的影响[J]. 中国给水排水, 2006, 22: 338- 342.
- [19] Bowman R S, Haggerty G M, Hudleston R G. Sorption of non-polar organic compounds, inorganic cations and inorganic oxyanions by surfactant- modified Zeolites[J]. American Chemical Society, Washington, DC.1995, 59(1): 54- 64.
- [16] Li Zh H, Bowman R S. Regeneration of surfactant- modified zeolite after saturation with chromate and perchloroethylene [J]. Wat. Res., 2001, 35(1): 322- 326.
- [17] Moreno N, Querol X and Ayora C. Utilization of zeolites synthesized from coal fly ash for the purification of acid mine waters [J]. Environ. Sci., Technol., 2001, 35(17): 3526- 3634.
- [18] Singh G and Prasad B. Removal of ammonia from coke- plant wastewater by using synthetic zeolite[J]. Wat. Environ.Res., 1997, 69(3/4): 157- 161.
- [19] 张曦,吴为中,温东辉,等. 氨氮在天然沸石上的吸附及解吸[J]. 环境化学, 2003, 22(2): 166- 170.
- [20] Jeong S Y and Lee J M. Adsorption of heavy metals from wastewater by using natural zeolite[J]. Bull. Korean chem.Soc. 1998, 19(2): 212- 218.
- [21] Meshko V, Markovska L Mincheva M and Rodrigues A E. Adsorption of basic dyes on granular activated carbon and natural zeolite [J].Wat. Res., 2001, 35(14): 3357- 3366.
- [22] Li Zh H, Burt T and Bowman R S. Sorption of ionizable organic solutes by surfactant - modified zeolite [J]. Environ. Sci. Technol., 2000, 34(17): 3756- 3760.
- [23] Haggerty G M and Bowman R S. Sorption of chromate and other inorganic anions by organo- zeolite[J]. Environ.Sci.Technol., 1994, 28(3): 452- 458.
- [24] 陶红,徐国勋,谢海英,等. 13X 分子筛处理含苯酚废水研究[J]. 中国给水排水, 2002, 18(4): 50- 52.
- [25] 李德生,黄晓东,王占生. 生物沸石反应器在微污染水源水处理中的应用[J]. 环境科学, 2000, 21(5): 71- 73.
- [26] 田文华,文湘华,钱易. 沸石滤料曝气生物滤池去除 COD 和氨氮[J]. 中国给水排水, 2002, 18(12): 13- 15.
- [27] 严子春,王萍,刘雯文,等. 沸石- 活性炭组合工艺处理微污染原水的研究[J]. 给水排水, 2002, 28(1): 36- 38.
- [28] 张玉先,李宪立,张敏,等. O₃- 沸石- GAC 处理常州运河微污染水源水研究[J]. 给水排水, 2002, 28(1): 3- 7.