

污泥生物沥浸处理对病原物的杀灭效果影响

郑冠宇, 王世梅, 周立祥*

(南京农业大学资源与环境学院环境工程系, 南京 210095)

摘要: 生物沥浸能够去除污泥中的重金属, 同时可能对污泥中的病原物有一定的杀灭作用. 通过测定沥浸过程中异养细菌总数及沥浸前后总大肠菌群和粪大肠菌群的变化, 研究了生物沥浸作用去除城市污泥和制革污泥中的病原物的作用. 结果表明, 经过 6~7 d 的生物沥浸处理, 城市污泥中的异养细菌总数从 1.38×10^8 个/mL 降为 4.43×10^6 个/mL, 制革污泥中的异养细菌总数从 9.23×10^5 个/mL 降为 4.26×10^4 个/mL; 总大肠菌群(TC)和粪大肠菌群(FC)的去除率达到 99% 以上; 但蛔虫卵的死亡率并无明显变化. 大肠菌群纯培养试验表明, 沥浸过程中病原物的消减作用主要是由于沥浸作用产生的低 pH 环境, 而与污泥中 SO_4^{2-} 和重金属浓度的升高无关.

关键词: 生物沥浸; 病原物; 城市污泥; 制革污泥; 去除

中图分类号: X172 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)07-1539-04

Elimination of Pathogens in Municipal Sludge and Tannery Sludge by Bioleaching Approach

ZHENG Guan-yu, WANG Shi-mei, ZHOU Li-xiang

(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Heavy metals could be removed from sludge by bioleaching approach, and pathogens in sludge may also be eliminated by the approach. Elimination efficiencies of pathogens in municipal sludge and tannery sludge during bioleaching were studied through batch trials. The results revealed that, after 6~7 days of bioleaching compared with the control without bioleaching, the amounts of bacteria in municipal sludge decreased from 1.38×10^8 cells/mL to 4.43×10^6 cells/mL, and the amounts of bacteria in tannery sludge decreased from 9.23×10^5 cells/mL to 4.26×10^4 cells/mL. The amounts of sludge bacteria in the control were maintained at the similar level before and after bioleaching. Elimination efficiencies of total coliforms (TC) and fecal coliforms (FC) in bioleached sludge exceeded 99%. But bioleaching approach couldn't eliminate ascarid eggs, as indicating similar levels for survival ascarid eggs before and after sludge bioleaching. Axenic culture of coliforms revealed that the low pH caused by the bioleaching was responsible for pathogens elimination instead of the increases of the concentrations of SO_4^{2-} and heavy metals.

Key words: bioleaching; pathogens; municipal sludge; tannery sludge; elimination

污泥是污水处理厂在处理污水过程中产生的沉淀物, 其中除含有大量的有机质和氮磷等营养元素外, 还浓缩有重金属和病原物等有害物质. 因此, 污泥无害化一直是污泥处理处置领域中颇受关注的问题. 本实验室近年来已成功开发出污泥生物沥浸(bioleaching, 也称生物淋滤或生物沥滤)处理新技术并进行了示范工程运行, 重金属去除率达 90% 以上, 污泥浓缩率提高 3 倍, 并实现不加絮凝剂而高干度脱水的目标. 其主要原理是通过硫杆菌的生物氧化作用及其产生的低 pH 环境, 使污泥中的重金属溶出进入水相, 再通过固液分离而去除^[1], 在生物沥浸过程中污泥絮凝与脱水性能大幅度增强^[2,3]. 对生物沥浸的研究目前主要集中在对重金属的去除上^[4,5], 但调查发现污泥中除含有重金属外, 还含有大量的细菌、病毒和寄生虫等病原物^[6~9], 关于沥浸作用去除污泥中病原物方面的研究报道不多, 尽管有学者认为沥浸作用能够去除一定的大肠菌群, 但

对其去除机理尚不是特别清楚^[10]. 为此, 本试验研究了细菌总数在城市污泥和制革污泥生物沥浸过程中的变化, 沥浸前后污泥中总大肠菌群(total coliforms, TC)和粪大肠菌群(fecal coliforms, FC)及蛔虫卵的变化情况, 并通过纯培养实验分析了沥浸作用去除病原物的原因.

1 材料与方法

1.1 供试污泥和硫杆菌菌株

制革污泥取自浙江某制革污水处理厂的污泥浓缩池, 其基本性质: pH 为 7.8, 含固率为 5.1%, 有机质为 55%; 城市污泥取自南京锁金村污水处理厂的

收稿日期: 2006-09-18; 修订日期: 2006-11-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(20377023); 教育部新世纪优秀人才计划项目(NECT0405)

作者简介: 郑冠宇(1983~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为环境微生物.

* 通讯联系人, E-mail: lxzhou@njau.edu.cn

污泥浓缩池,城市污泥基本性状:pH 为 7.5,含固率为 1.6%,有机质为 43%。

用于污泥重金属生物沥浸的自养硫杆菌菌株,为本实验室分离出的氧化亚铁硫杆菌 *Thiobacillus ferrooxidans* LX5 和氧化硫硫杆菌 *Thiobacillus thiooxidans* TS6,现被国家专利局指定的微生物中心保藏,菌株 LX5 和 TS6 的扩大培养方法见文献[11]。

1.2 供试污泥的生物沥浸处理

取 135 mL 供试污泥于 250 mL 三角瓶,调节污泥 pH 为 6.5,添加硫杆菌 LX5 和 TS6 菌液各 7.5 mL,能源物质(以硫粉为主)0.6 g。置 28℃,转速为 180 r/min 的摇床中培养 6~7 d,培养期间采用称量法补充蒸发的水分,并设置不添加 LX5、TS6 及硫粉的对照处理,其他条件相同。根据污泥种类不同,每种污泥做 3 个重复。

1.3 测定指标及检测方法

每 24 h 取样测定污泥中的细菌总数,测定沥浸前后污泥样品中的总大肠菌群数、粪大肠菌群数和蛔虫卵个数及其死亡率。

细菌总数测定用营养琼脂平皿法^[12],结果以个/mL 表示,主要是异养细菌;总大肠菌群及粪大肠菌群测定用多管发酵法^[12],结果以干泥为基准(个/g);蛔虫卵个数分析用饱和硝酸钠溶液离心漂浮,然后用显微镜检测,结果以个/mL 表示,其死亡率测定用培养法^[13]。

1.4 pH 和 SO₄²⁻ 浓度对大肠菌群生长的影响

大肠菌群接种物制备:挑取总大肠菌群测定试验中初发酵和复发酵均为阳性,并且镜检为革兰氏阴性无芽孢小杆菌的菌落至无菌的液体 LB 培养基中,菌落形态和菌体形态相似的菌落挑取 1 次即可,置于 28℃,180 r/min 摇床振荡培养 24 h 备用。

pH 对大肠菌群生长的影响:取 100 mL LB 液体培养基装于 250 mL 三角瓶中,用 1 mol/L 的 HCl 或 NaOH 将 pH 分别调至 2.0、3.0、4.0、5.0、6.0 和 7.0,121℃ 下,灭菌 20 min。分别取一环液体大肠菌群接种物接种于上述培养基,置于 28℃,180 r/min 摇床振荡培养 24 h,测定培养液在 600 nm 处的光密度值。

SO₄²⁻ 浓度对大肠菌群生长的影响:取 100 mL LB 液体培养基装于 250 mL 三角瓶中,分别向其中加入 0、0.248、0.496、0.744、0.992、1.240 和 1.488 g 的 Na₂SO₄,使培养基中的 SO₄²⁻ 浓度分别达到 0、2 000、4 000、6 000、8 000、10 000 和 12 000 mg/L,121℃ 下,灭菌 20 min。分别取一环液体大肠菌群接种物接种于上述培养基,置于 28℃,180 r/min 摇床振荡培养

24 h,测定培养液在 600 nm 处的光密度值。

2 结果与讨论

2.1 异养细菌总数随沥浸时间的变化

图 1、2 为生物沥浸过程中城市污泥和制革污泥体系异养细菌总数的变化。由图 1、2 可见,随着沥浸的进行,接种硫杆菌并添加硫粉的城市污泥和制革污泥中的异养细菌总数在沥浸进行的前期变化不明显,但城市污泥从第 3 d 开始异养细菌总数有明显下降,从第 2 d 的 1.09×10^8 个/mL 下降至第 4 d 的 6.9×10^6 个/mL,制革污泥中的异养细菌总数也从第 4 d 的 4.94×10^5 个/mL 下降至反应结束时的 4.26×10^4 个/mL。这是因为在第 3 d 和 4 d,城市污泥和制革污泥体系的 pH 明显的下降,城市污泥体系从 4.55 降至 3.17,而制革污泥也从 4.69 降至 3.36。由于大部分细菌种属只能生活在偏中性的 pH 环境中,所以随着 pH 的降低,一些对低 pH 敏感的种属开始受到抑制或消亡^[14]。同时由于细菌种属构成的复杂性,部分种属的消亡并不能造成细菌总量发生大的变化,因此在沥浸结束时城市污泥体系和制革污泥体系中异养细菌总数仍分别达到 4.43×10^6 个/mL 和 4.26×10^4 个/mL。在不接种硫杆菌并且不添加硫粉的对照处理中,异养细菌总数没有发生大的变化,城市污泥体系一直维持在 10^8 数量级,制革污泥体系一直维持在 10^6 数量级,说明仅对污泥进行短期的曝气好氧消化处理对污泥中的微生物并无杀灭作用。污泥中的异养微生物在曝气过程中,一方面利用其中的有机质进行生长,另一方面也随着自身的代谢而消亡,所以异养细菌总数并未发生大的改变。

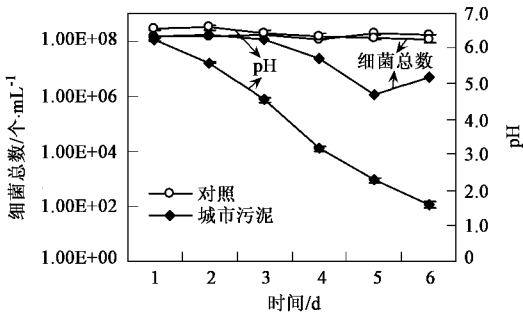


图 1 城市污泥生物沥浸过程中细菌总数和 pH 的变化

Fig.1 Dynamics of the amounts of microorganisms and pH in municipal sludge during bioleaching

2.2 总大肠菌群数和粪大肠菌群数沥浸前后的变化

表 1 描述了生物沥浸前后城市污泥和制革污泥

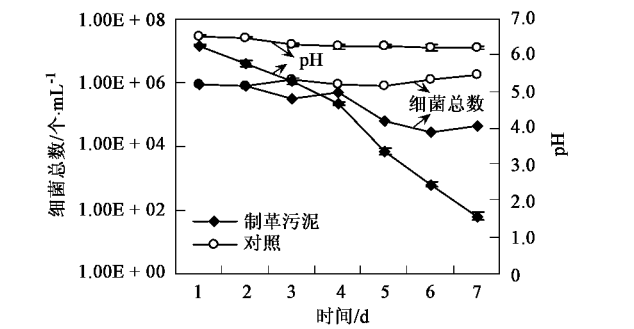


图2 制革污泥生物沥浸过程中细菌总数和pH的变化

Fig.2 Dynamics of the amounts of microorganisms and pH in tannery sludge during bioleaching

中总大肠菌群数(TC)及粪大肠菌群数(FC)的变化. 沥浸后,2种污泥中总大肠菌群和粪大肠菌群相比沥浸前均有显著的减少.城市污泥中的总大肠菌群从沥浸前的 1.41×10^7 个/g下降为 4.85×10^3 个/g,去除率接近100%,粪大肠菌群也从沥浸前的 2.30×10^6 个/g下降为沥浸结束的 2.20×10^3 个/g,去除率达

到99.90%.而不接种自养菌的对照泥样在反应前后总大肠菌群和粪大肠菌群变化不大,仅减少了1.37%和4.80%.在制革污泥中二者的变化趋势与城市污泥中相同,沥浸结束时总大肠菌群和粪大肠菌群的去除率分别达到99.89%和99.28%,对照泥样中的去除率分别为-12.80%和13.91%,远低于处理泥样.表2描述了沥浸前后污泥中蛔虫卵个数及其死亡率的变化.由表2可见,沥浸前后城市污泥中蛔虫卵个数及其死亡率有所下降,但降幅不大,制革污泥中未检出蛔虫卵.

可见,生物沥浸作用能够有效地去除污泥中的总大肠菌群和粪大肠菌群.在本试验中,沥浸后城市污泥和制革污泥中的粪大肠菌群值分别达到了美国环境保护署(USEPA)规定的B类污泥($1\times10^3\sim2\times10^6$ MPN/g)和A类污泥($<1\,000$ MPN/g)的标准^[15].但由于蛔虫卵有卵壳的保护,对外界环境的抵抗力很强^[16],所以生物沥浸对污泥中蛔虫卵的杀灭作用不明显.

处理	总大肠菌群数			粪大肠菌群数		
	沥浸前/个·g ⁻¹	沥浸后/个·g ⁻¹	去除率/%	沥浸前/个·g ⁻¹	沥浸后/个·g ⁻¹	去除率/%
城市污泥处理	1.41×10^7	4.85×10^3	100	2.30×10^6	2.20×10^3	99.90
城市污泥对照	1.46×10^7	1.44×10^7	1.37	2.29×10^6	2.18×10^6	4.80
制革污泥处理	3.15×10^5	3.36×10^2	99.89	2.66×10^4	1.92×10^2	99.28
制革污泥对照	3.36×10^5	3.79×10^5	-12.80	2.66×10^4	2.29×10^4	13.91

表2 城市污泥、制革污泥沥浸前后蛔虫卵的变化							
Table 2 Dynamics of ascarid eggs and its survival rate in municipal and tannery sludge before and after bioleaching							
处理	城市污泥				制革污泥		
	沥浸前 /个·mL ⁻¹	死亡率 /%	沥浸后 /个·mL ⁻¹	死亡率 /%	沥浸前 /个·mL ⁻¹	死亡率 /%	沥浸后 /个·mL ⁻¹
处理泥样	7.9	50.63	6.8	60.29	未检出	—	未检出
对照泥样	7.7	51.94	7.1	54.93	未检出	—	未检出

2.3 病原物去除原因分析

生物沥浸过程中由于大量S粉被氧化为SO₄²⁻,所以介质中pH大幅下降,SO₄²⁻浓度大幅上升.通常认为,沥浸至pH为2左右时能够去除城市污泥中的大部分重金属^[17,18],pH达到1.6左右时能够基本去除制革污泥中的铬^[11],此时污泥中的SO₄²⁻浓度在5 000~15 000 mg/L之间^[11,19].有学者认为污泥中大肠菌群数目的减少可能是由于硫酸根离子浓度升高对其产生了毒害作用,而低pH环境可能仅对大肠菌群活性起抑制作用^[10].在液体培养基中的纯培养结果如图3所示,大肠菌群在含有0~16 000 mg/L

SO₄²⁻的液体培养基中振荡培养24 h后,各个摇瓶中的菌体密度并无差异,说明高浓度的SO₄²⁻对大肠菌群的生长影响不明显.在pH 2~7的液体培养基中振荡培养24 h的结果见图4,pH 5~7的摇瓶中光密度值达到1.4左右,而pH 2~4的摇瓶中光密度值仅有0.03左右,并且镜检发现后者摇瓶中基本没有菌体存在,可见大肠菌群在pH<4.0的环境中生长受到抑制或被杀死.而在污泥的生物沥浸过程中,pH值为4时大部分的重金属都还未溶出^[11,17].可见大肠菌群的减少主要是由于S粉被氧化为SO₄²⁻所产生的低pH环境,而并非由SO₄²⁻和重金属的浓度

升高引起的.

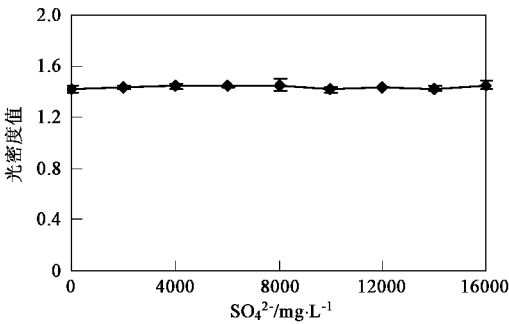


图 3 不同浓度 SO_4^{2-} 对大肠菌群生长的影响

Fig.3 Influence of the concentration of SO_4^{2-} on the growth of coliforms

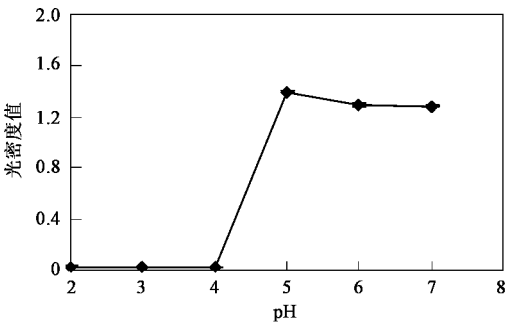


图 4 不同 pH 值对大肠菌群生长的影响

Fig.4 Influence of medium pH on the growth of coliforms

3 结论

(1) 生物沥浸作用使污泥中的细菌总数略有下降,并且能够有效地去除污泥中的总大肠菌群和粪大肠菌群,去除率达到 99% 以上,对污泥中蛔虫卵的杀灭无明显作用.

(2) 生物沥浸对污泥中病原物的去除作用主要是由于沥浸过程产生的低 pH 环境,而与介质中高浓度的 SO_4^{2-} 和重金属离子无关.

参考文献:

[1] 王世梅,周立祥,黄峰源,等.耐酸性异养菌的分离及其在制革污泥重金属淋滤中的作用[J].环境科学,2004,25(5): 153 ~ 157.
[2] 周立祥,周顺桂,王世梅,等.制革污泥中铬的生物脱除及其对污泥的调理作用[J].环境科学学报,2004,24(6): 1014 ~ 1020.

[3] 王电站,周立祥,何锋.生物淋滤法提高制革污泥脱水性能的研究[J].中国环境科学,2006,26(1): 67 ~ 71.
[4] Lombardi A T, Garcia J O, Mozeto A A. Bioleaching of metals from anaerobic sewage sludge: effects of total solids, leaching microorganisms, and energy source [J]. Journal of Environmental Science and Health, 2001, 36(5): 793 ~ 806.
[5] 周顺桂,周立祥,黄焕忠.生物沥浸技术在去除污泥重金属中的应用[J].生态学报,2002,22(1): 167 ~ 176.
[6] 孙玉焕,骆永明.污泥中病原物的环境与健康风险及其削减途径[J].土壤,2005,37(5): 474 ~ 481.
[7] 周立祥,胡霭堂,戈乃珍.城市生活污泥中锌及病原物对作物及土壤环境的影响[J].农业环境保护,1994,13(4): 158 ~ 162.
[8] Lewis D L, Gattie D K. Pathogen risks from applying sewage sludge to land [J]. Environmental Science and Technology, 2002, 36(13): 287A ~ 293A.
[9] Leena Sahlström. A review of survival of pathogenic bacteria in organic waste used in biogas plants [J]. Bioresource Technology, 2003, 87: 161 ~ 166.
[10] 朱南文,蔡春光,吴志超,等.污泥中重金属的生物沥滤及其机理分析[J].上海交通大学学报,2003,37(5): 801 ~ 804.
[11] 周立祥,方迪,周顺桂,等.利用嗜酸性硫杆菌去除制革污泥中铬的研究[J].环境科学,2004,25(1): 62 ~ 66.
[12] 国家环保总局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法[M].北京:中国环境科学出版社,2002. 694 ~ 704.
[13] GB 7959-1987,粪便无害化卫生标准[S].
[14] 周德庆.普通微生物教程[M].北京:高等教育出版社,2000. 198 ~ 199.
[15] United States Environmental Protection Agency. Land Application of Sewage Sludge—A Guide for Land Appliers on the Requirements of the Federal Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge. (40 CFR Part 503. EPA/831-B-93-002b) [M]. Washington, DC: Office of Enforcement and Compliance Assurance, 1994. 18 ~ 19.
[16] 周正任,潘兴瑜.病原生物学[M].北京:科学出版社,2001. 282 ~ 283.
[17] Chen Y X, Hua Y M, Zhang S H, et al. Transformation of heavy metal forms during sewage sludge bioleaching [J]. Journal of Hazardous Materials, 2005, 123: 193 ~ 202.
[18] Chan L C, Gu X Y, Wong J W C. Comparison of bioleaching of heavy metals from sewage sludge using iron- and sulfur-oxidizing bacteria [J]. Advances in Environmental Research, 2003, 7: 603 ~ 607.
[19] 方迪,周立祥.温度对制革污泥的生物淋滤除铬效果的影响[J].环境科学,2006,27(7): 1455 ~ 1458.