

复合生物滤池处理 H_2S 和 NH_3 的研究:生物相机理分析

余光辉^{1,2}, 徐晓军², 何品晶^{1*}

1. 同济大学 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092

2. 青岛理工大学 环境与市政工程学院, 山东 青岛 266033

摘要: 采用天然斜发沸石和木屑作为复合生物滤池(生物滴滤池+生物过滤池)的填料,研究了该工艺处理含 H_2S 和 NH_3 混合恶臭气体的生物相机理。结果表明:生物滴滤池中形成了由细菌、藻类及原生动物组成的复杂生态系统,而生物过滤池中真菌为优势微生物。生物滴滤池的下层优势菌种主要为葡萄球菌属和球形芽孢杆菌等细菌,中层主要为梨形四膜虫属和肾形虫属,上层主要为钟虫和舟形藻属;生物过滤池优势菌种主要是聚多曲霉菌种。据对复合生物滤池的生物相机理探讨推论,生物滴滤池去除 H_2S 和 NH_3 机理主要是生物链的分级捕食和沸石的吸附-生物再生机理;生物过滤池去除 H_2S 和 NH_3 机理主要是真菌降解。因此,通过控制生物滴滤池和生物过滤池处于不同的环境条件,可使复合生物滤池能高效地同时处理 H_2S 和 NH_3 组成的混合恶臭气体。

关键词: 复合生物滤池; 硫化氢; 氨气; 生物除臭; 机理; 优势菌种

中图分类号: X701.7

文献标识码: A

文章编号: 1001-6929(2007)02-0063-04

Study on Hydrogen Sulfide and Ammonia Removal by Composite Biofilter: Dominant Population and Mechanism

YU Guang-hui^{1,2}, XU Xiao-jun², HE Pin-jing¹

1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, China

2. School of Environmental and Civil Engineering, Qingdao Technology University, Qingdao 266033, China

Abstract: The composite biofilter process (a combination of biotrickling filter and biofilter), taking clinoptilolite and wood chip as the media, was applied to treat the mixed odors (H_2S and NH_3). The predominant organism groups and removal mechanism were studied. The results indicate that the predominant organism groups were a complicated ecosystem including bacteria, protozoa and algae in the biotrickling filter while it was only fungi in the biofilter. *Staphylococcal bacteria* and *Bacillus sphaericus*, *Tetrahymena* and *Colpida*, *Vorticella* and *Dcranophorus* were present at the bottom, middle, and top of biotrickling filter, respectively. The predominant organism groups were mainly *Aspergillus sydowii* in the biofilter. The odors removal mechanisms were the bio-chain principle and the adsorption-bioregeneration mechanism of zeolite in the biotrickling filter, and fungi degradation in the biofilter. Therefore, the composite biofilter can be used to treat the mixed odors (H_2S and NH_3) effectively through controlling the different environments between biotrickling filter and biofilter.

Key words: composite biofilter; H_2S ; NH_3 ; biological removal of odor; mechanism; predominant organism

H_2S 和 NH_3 是广泛存在的恶臭气体,嗅阈值分

别为 0.14 和 32.1 mg/m^3 ,水溶性分别为 4.12 和 511 g/L ^[1]。食品加工、橡胶加工、鱼肉加工、家畜养殖、皮革制造、堆肥和污水处理厂等行业或处理工艺均会同时产生 H_2S 和 NH_3 ^[2-3]。

生物法因其投资少、性能可靠、处理效果好等特点,成为近年来恶臭气体处理的主要方法之一^[4]。生

收稿日期: 2006-05-16

基金项目: 国家建设部 2004 年科学技术项目计划(04-02-168)

作者简介: 余光辉(1978-),男,河南商丘人,博士研究生。

* 责任作者

物法主要有生物洗涤池 (bioscrubbers), 生物滴滤池 (biotrickling filter, BTF) 和生物过滤池 (biofilter, BF). 研究表明^[3,5], 生物洗涤池不适合处理中低浓度的恶臭气体, BTF 与 BF 是处理低浓度恶臭气体较有效的工艺. 国内外现有的采用生物法同时处理 H_2S 和 NH_3 的研究^[3,6-7] 大多采用单一 BTF 或 BF 工艺. 由于 BTF 适合处理亲水性的气体, 而 BF 适合处理疏水性的气体^[3,8], 因此, 从理论上来说, 采用单一 BTF 或 BF 工艺同时处理 H_2S 和 NH_3 并不是理想的选择; 而采用 BTF 和 BF 联合处理 H_2S 和 NH_3 是可行的工艺. 目前, 国内外少有采用 BTF 和 BF 联合处理 H_2S 和 NH_3 的研究.

微生物是恶臭气体生物处理的作用主体^[1]. 对工艺中生物相的监测和反应器不同区域生物相的分析, 是分析生物膜状态、研究处理机理、提高处理效率、优化反应器结构和构建优势微生物系统的重要依据.

笔者以天然斜发沸石和改性木屑为填料, 采用 BTF 和 BF 组合成的复合生物滤池处理 H_2S 和 NH_3 混合的恶臭气体, 研究了复合生物滤池的生物相和生物作用机理.

1 实验装置与方法

1.1 装置与操作

复合生物滤池由 BTF 和 BF 组合而成, 采用快速排泥——直流通气挂膜法^[9]. 工艺流程图及操作详见文献[10].

1.2 材料与分析方法

菌种鉴定采用 Biolog 系统 (Hayward, Calif., USA). 实验材料和其他分析方法详见文献[10].

2 结果与讨论

2.1 BTF 的生物相研究

在装置稳定运行 40 d 后, 取 BTF 不同填料层高度的生物膜镜检 (见图 1). 从图 1 可以看出, 由于滤池内不同高度的微环境不同, BTF 的生物相组成呈多样性, 形成了由细菌、原生动物及藻类组成的复杂生态系统. BTF 下层主要为葡萄球菌属 (*Staphylococcal*, 图见文献[10]) 和球形芽孢杆菌 (*Bacillus sphaericus*, 图见文献[10]), 经 Biolog 系统鉴定, 见表 1; 中层主要为梨形四膜虫属 (*Tetrahymena*, 见图 1(a)) 和肾形虫属 (*Colpida*, 见图 1(b)); 上层主要为钟虫 (*Vorticella*, 图见文献[10]) 和舟形藻属 (*Dcranophorus*, 见图 1(c)).

由表 1 知, 该鉴定菌种可能性为 100, 相似性为 0.78, 且后 2 种最可能的菌种与之差别较大, 故而认

为该菌种鉴定结果可靠.



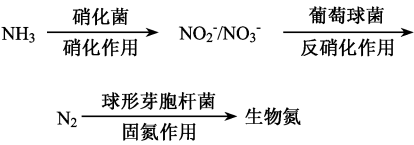
图 1 复合生物滤池运行过程中主要优势菌种(400 ×)

Fig. 1 Dominant organism groups emerged in composite biofilter(400 ×)

表 1 球形芽孢杆菌的鉴定结果

Table 1 Identification result of <i>Bacillus sphaericus</i>				
菌种	可能性	相似性	位距	类型
球形芽孢杆菌 (<i>Bacillus sphaericus</i>)	100	0.78	3.26	GP - ROD SB
短芽孢杆菌 (<i>Brevibacillus brevis</i>)	0	0	8.45	GP - ROD SB
热葡萄糖苷酶芽孢杆菌 (<i>Geobacillus thermoglucosidasius</i>)	0	0	9.24	GP - ROD SB

BTF 的环境 (湿度较大, pH 为 7~8) 适合细菌生长, 而细菌又是对 H_2S 和 NH_3 混合恶臭气体进行净化的直接作用者^[1]. 有研究^[11-13] 发现: 球形芽孢杆菌具有较强的固氮能力; 葡萄球菌具有较高的硝酸盐还原酶和过氧化氢酶活性, 能降解硝酸盐和亚硝酸盐. 由此可推断, BTF 中 NH_3 是经硝化反硝化途径去除的, 去除过程见下式:



原生动物生活在 BTF 的中层和上层, 其在生物膜中的存在有利于保持生物膜的通气性和营养物质的传递; 由于其能捕食细菌, 从而促进细菌群落的繁殖, 增加细菌的生长速度和代谢活力^[14], 故有利于保持生物膜处于良好的活性状态.

藻类通过光合作用向生物膜提供一定的氧及营养物质, 并可利用其他微生物的代谢产物, 故在净化 H_2S 和 NH_3 恶臭气体中可起到改善细菌等微生物生态环境的积极作用.

2.2 BF 的生物相研究

在装置稳定运行 40 d 后, 取 BF 填料上的生物膜, 对其中的优势菌种分离纯化, 经 Biolog 系统鉴定为聚多曲霉 (*Aspergillus sydowii*, 见表 2). 由表 2 可知, 该鉴定菌种可能性为 100, 相似性为 0.79, 且后 2

种最可能的菌种与之差别较大,故而认为该菌种鉴定结果可靠.

表 2 聚多曲霉菌的鉴定结果

Table 2 Printout result of <i>Aspergillus sydowii</i>				
菌种	可能性	相似性	位距	类型
聚多曲霉菌 (<i>Aspergillus sydowii</i> (Bainier & Sartory) Thom & Church)	100	0.79	4.64	FF
杂色曲霉 (<i>Aspergillus versicolor</i>)	0	0	8.18	FF
离生青霉 BGC (<i>Penicillium solitum</i> Westling BGC)	0	0	8.44	FF

有研究发现^[13],曲霉在有氧条件下可以有效去除 NO_x. 由此可推断,BF 中 NH₃ 是经中间产物脱氮 (NO,N₂O) 去除的.

2.3 复合生物滤池去除 H₂S 和 NH₃ 的机理

2.3.1 BTF 去除 H₂S 和 NH₃ 的机理

2.3.1.1 生物链的分级捕食机理

BTF 上层和中层的较高级的原生动物和藻类为细菌提供了较简单、更易降解的代谢产物,为下层的细菌创造了良好的生长环境,使细菌种类增多.种类繁多的细菌对循环液中的营养物质形成了分级捕食作用;并且承担了对绝大部分 H₂S 和 NH₃ 的降解,为原生动物和藻类创造了较好的生长环境(减少了 H₂S 和 NH₃ 对其的毒性),它们对 H₂S 和 NH₃ 的降解也形成了分级捕食作用.又由于原生动物捕食细菌,使生物膜不致过厚,有利于保持微生物的活性和膜的传递条件,也通过分级捕食作用形成了良性共生环境,使系统处于相对平衡状态(见图 2).

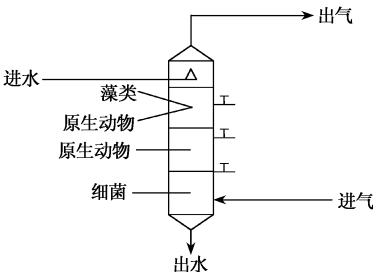


图 2 生物滴滤池的生物链
Fig. 2 Bio-chain of biotrickling filter

综上所述,BTF 中生物膜内稳定的微生态环境、丰富的微生物及其合理的分布,使得工艺具有抗冲击负荷能力强、处理效果好等优良特性. BTF 净化 H₂S 和 NH₃ 是通过微生物间的协同作用,即通过混合培养使不同菌种相互作用,相互提供营养或通过

一些物理、生化机制相互刺激,从而提高 BTF 的去除能力.

2.3.1.2 沸石的吸附 - 生物再生机理

沸石的吸附力是色散力与静电力的加和,对极性、不饱和、易极化分子具有优先选择吸附作用^[15]. 沸石比表面积大,吸附能力强:能富集水中多种多样的微生物;能迅速吸附循环液中的营养物和经过气液双膜后、在浓度差的推动下进一步扩散到沸石表面的 O₂,H₂S 和 NH₃,使微生物获得丰富的养料和 O₂,将它们转化为 CO₂,H₂O,N₂,S 或硫酸盐(见图 3). 供氧充分时,可以在沸石表面生成生物膜. 由于生物膜中的微生物获得了丰富的养料和 O₂,微生物生长环境良好,从而加强了生物膜的氧化降解能力. 生物膜的强氧化降解能力使沸石的吸附容量得到恢复,大大延长了沸石的可利用周期. 沸石的生物吸附与生物降解相互促进,从而使 H₂S 和 NH₃ 得到了有效的降解.

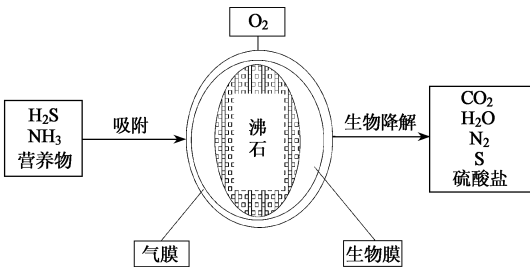


图 3 沸石的吸附 - 生物再生机理
Fig. 3 Adsorption and bio-regeneration mechanism of zeolite

2.3.2 BF 去除 H₂S 和 NH₃ 的机理

木屑同时作为 BF 中真菌微生物的碳源和附着生长的载体,对 H₂S 也有很强的吸附能力^[16]. 生长在木屑上的霉菌由于具有坚硬的细胞壁而不能吞噬食物,其借助向周围环境分泌胞外酶和比一般细菌大得多的比表面积,分解纤维素和木质素^[13],即木屑可以提供其所需的碳源. 真菌在 BF 的环境(湿度较低,pH 为 3~5)中会生成菌丝网(见图 4),有助于增大气相中污染物与菌类的接触面积,更好地完成传质过程,所以对水溶性差的污染物,真菌的降解能力远高于细菌^[8].

3 结论

a. BTF 在湿度较大,pH 为 7~8 的环境中,形成了由细菌、原生动物及藻类组成的复杂生态系统,下层主要为葡萄球菌属和球形芽孢杆菌,中层主要为



图4 木屑上的生物膜(400 ×)

Fig. 4 Biofilm of wood chip (400 ×)

梨形四膜虫属和肾形虫属,上层主要为钟虫和舟形藻属。BF在湿度较低和pH为3~5的环境中,优势菌种主要是聚多曲霉菌种。

b. 由镜检可以推知, NH_3 在BTF中是经硝化反硝化途径去除的,而在BF中是经中间产物脱氮去除的。

c. 通过对复合生物滤池机理探讨可知,BTF去除 H_2S 和 NH_3 主要是生物链的分级捕食机理和沸石的吸附-生物再生机理;BF去除 H_2S 和 NH_3 主要是真菌降解。

参考文献:

- [1] 李琳,刘俊新. 细菌与真菌作用处理臭味气体的试验研究[J]. 环境科学, 2004, 25(2): 22—26.
Li Lin, Liu Junxin. Study on odors treatment by the combination of bacteria and fungi[J]. Chinese Journal of Environmental Science, 2004, 25(2): 22—26.
- [2] Chung Y C, Huang C, Tseng C P. Operation optimization of *Thiobacillus thioarans* CH11 biofilter for hydrogen sulfide removal[J]. J Biotechnol, 1996, 52(1): 31—38.
- [3] Chung Y C, Lin Y Y, Tseng C P. Removal of high concentration of NH_3 and coexistent H_2S by biological activated carbon (BAC) biotrickling filter[J]. Bioresource Technology, 2005, 96(16): 1812—1820.
- [4] 邵立明,何品晶. 固定化微生物处理含 H_2S 气体的试验研究[J]. 环境科学, 1999, 20(1): 19—22.
Shao Liming, He Pinjing. Experimental study on the treatment of odor gas containing hydrogen sulfide by immobilized microorganisms[J]. Chinese Journal of Environmental Science, 1999, 20(1): 19—22.
- [5] 伦世仪,陈坚,曲音波. 环境生物工程[M]. 北京:化学工业出版社, 2002. 260—280.
Lun Shiyi, Chen Jian, Qu Yinbo. Environmental biotechnology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002. 260—280.
- [6] Chung Y C, Huang C, Tseng C P. Biological elimination of H_2S and NH_3 from waste gases by biofilter packed with immobilized heterotrophic bacteria[J]. Chemosphere, 2001, 43(8): 1043—1050.
- [7] 徐晓军,余光辉,贾佳. 固定化优势菌种处理 NH_3 和 H_2S 恶臭气体[J]. 化工环保, 2006, 26(1): 9—12.
Xu Xiaojun, Yu Guanghui, Jia Jia. Treatment of malodorous gas containing NH_3 and H_2S using immobilized dominant bacteria[J]. Environmental Protection of Chemical Industry, 2006, 26(1): 9—12.
- [8] Aitor A, Bertrand D, Pierre C, et al. Fungal biofiltration of toluene on ceramic rings[J]. Journal of Environmental Engineering, 2005, 131(3): 396—402.
- [9] 李清雪,张丹,王冬云. 生物滴滤池净化废气生物膜的培养过程研究[J]. 河北建筑科技学院学报, 2003, 20(1): 1—3.
Li Qingxue, Zhang Dan, Wang Dongyun. Study on the biofilm developing in trickling filters of waste gas[J]. Journal of Hebei Institute of Architecture Science and Technology, 2003, 20(1): 1—3.
- [10] 徐华成,徐晓军,余光辉. 复合生物滤池净化 NH_3 和 H_2S 酸碱混合恶臭气体的实验研究[J]. 环境科学研究, 2006, 19(5): 132—135.
Xu Huacheng, Xu Xiaojun, Yu Guanghui. Research on combined biofilter to purify the odors mixed with hydrogen sulfide and ammonia[J]. Research of Environmental Sciences, 2006, 19(5): 132—135.
- [11] 龙苏,李法峰,陈明,等. 固氮球形芽胞杆菌与巨大芽胞杆菌的混合增效作用[J]. 核农学报, 2000, 14(6): 337—341.
Long Su, Li Fafeng, Chen Ming, et al. The enhanced effect of co-culture on nitrogen-fixing activity of *B. sphaerium* and *B. megaterium*[J]. Acta Agriculture Nucleatae Sinica, 2000, 14(6): 337—341.
- [12] Monica G V. Characterisation of *Micrococccaceae* isolated from different varieties of chorizo[J]. International Journal of Food Microbiology, 2000, 54(3): 189—195.
- [13] 张兰英,刘娜,孙立波. 现代环境微生物技术[M]. 北京:清华大学出版社, 2005. 16—17, 189—190, 300.
Zhang Lanying, Liu Na, Sun Libo. Modern environmental microbiological technology[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005. 16—17, 189—190, 300.
- [14] Verhagen F J M, Laanbroek H J. Effects grazing by flagellates on competition for ammonium between nitrifying and heterotrophic bacteria in chemostats[J]. Appl Environ Microbiol, 1992, 58(6): 1962—1969.
- [15] 张曦,吴为中,温东辉,等. 生物沸石床污水脱氮效果及机理[J]. 环境科学, 2003, 24(5): 75—80.
Zhang Xi, Wu Weizhong, Wen Donghui, et al. Effect and mechanism of removal of nitrogen in the mimic sewage using biozeolite system[J]. Chinese Journal of Environmental Science, 2003, 24(5): 75—80.
- [16] 陈飞,袁月祥,刘晓凤,等. 木屑生物膜处理 H_2S 气体研究[J]. 应用与环境生物学报, 2004, 10(2): 215—217.
Chen Fei, Yuan Yuexiang, Liu Xiaofeng, et al. Biological elimination on hydrogen sulfide[J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2004, 10(2): 215—217.

(编辑:孙彩萍)