

袁京, 杜龙龙, 张智烨, 等: 腐熟堆肥为滤料的生物滤池对堆肥气中 NH_3 的去除效果[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(1): 164–171.

YUAN Jing, DU Long-long, ZHANG Zhi-ye, et al. Effect of mature compost biofilter on removal efficiency of NH_3 produced during composting[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(1): 164–171.

腐熟堆肥为滤料的生物滤池对堆肥气中 NH_3 的去除效果

袁京¹, 杜龙龙¹, 张智烨¹, 李国学^{1*}, 张地方¹, 江滔², 杨青原¹

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 乐山师范学院, 化学学院, 四川 乐山 614004)

摘要: 为了研究腐熟堆肥作为生物滤池滤料对好氧堆肥过程中产生的 NH_3 的量化去除效果, 实验设计了将生物滤料进行灭菌和不灭菌两个处理, 通过滤池对 NH_3 的去除率以及滤料物理化学性质的变化, 分析腐熟堆肥作为生物滤料对于 NH_3 的去除机理以及量化物理吸附作用和微生物转化作用的贡献大小。结果表明, 腐熟堆肥作为生物滤料, 在一定的滤池高度下可 100% 去除 NH_3 。在对 NH_3 的去除过程中, 腐熟堆肥物理吸附作用贡献率为 75%~80%, 微生物转化作用的贡献率为 10%~25%。 NH_3 在生物滤池中先通过物理吸附作用以铵态氮的形式被固定, 然后经微生物转化为硝态氮。滤池最底部滤料承担着去除 NH_3 的主要作用, 随着滤池高度的增加, 滤料对 NH_3 的累积去除量逐渐减少。滤池不同高度与 NH_3 累积排放量的关系可用拟合方程表示, 通过方程计算可知: 对于灭菌的滤料, 当滤池高度为 50 cm 时, NH_3 去除率可接近 100%; 而未灭菌的腐熟堆肥滤料仅 25 cm 高度就可完全去除 NH_3 。腐熟堆肥: 砂土=4:6 (湿基质量比) 混合而成的生物滤料, 经过 28 d 的过滤处理后, 滤料未发生酸化现象。

关键词: 生物过滤; 腐熟堆肥; 氨气; 细菌; 物理吸附; 去除率

中图分类号: X705 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2016)01-0164-08 doi:10.11654/jaes.2016.01.022

Effect of mature compost biofilter on removal efficiency of NH_3 produced during composting

YUAN Jing¹, DU Long-long¹, ZHANG Zhi-ye¹, LI Guo-xue^{1*}, ZHANG Di-fang¹, JIANG Tao², YANG Qing-yuan¹

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. College of Chemistry, Leshan Normal University, Leshan 614004, China)

Abstract: Biofiltration is an effective technique to mitigate gaseous emissions. Mature compost may absorb gases emitted from composting piles. Diverse bacteria acclimated in mature compost may also contribute to the mitigation of NH_3 emissions. In this study, a quantitative contribution of adsorption capacity and microbial activity of biofilter to NH_3 removal efficiencies was examined using a mature compost as biofiltration material. Results showed that the mature compost as a biofiltration material removed 100% NH_3 via its high adsorption capacity and acclimated bacteria. Adsorption played the main role in NH_3 removal, accounting for 75%~80% of total removal. Microbial activity in the mature compost contributed 10%~25%. Ammonia was adsorbed physically by the un-sterilized biofilter, and was then converted to NO_3^- -N by nitrifying bacteria. Most NH_3 was removed by the packing material at the bottom of biofilter. Cumulative NH_3 emissions reduced gradually along with increasing biofilter thickness. The relationship between cumulative NH_3 emission (y) and thickness of biofilter (x) was expressed as $y=7\,727.4e^{-0.266x}$ for non-sterilized biofilter ($R^2=0.983\,9$) and $y=4\,060.6e^{-0.134x}$ for sterilized biofilter ($R^2=0.991\,5$). In non-sterilized treatment, biofilter of 25 cm thick could remove NH_3 completely, while in sterilized treatment, the biofilter thickness to remove NH_3 was 50 cm. No acidification was detected in a mixture of mature compost and sand at 4:6 at the end 28 day experiment. The present study indicates that using mature compost as biofilter is a suitable approach to mitigating NH_3 emissions during composting.

Keywords: biofiltration; mature compost; ammonia; bacteria; adsorption capacity; removal efficiency

收稿日期: 2015-08-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(41275161, 41201282); “十二五”国家科技支撑计划循环农业项目课题(2012BAD14B16); 中小企业发展专项资金中欧国际合作项目(SQ2013ZOA000008)

作者简介: 袁京(1988—), 女, 博士, 主要研究方向为固体废弃物处理与资源化。E-mail: jingyuan@cau.edu.cn

* 通信作者: 李国学 E-mail: ligx@cau.edu.cn

我国城市生活垃圾经大类组分可以分为厨余垃圾和其他垃圾,厨余垃圾主要是可生物降解的一类垃圾,含水率高达75%~80%。对于此类含水率和有机质含量较高的固体废弃物,堆肥是一种有效处理方式。堆肥处理可实现厨余垃圾的无害化,同时也可以生产肥料^[1-3]。然而,恶臭污染已成为限制垃圾堆肥技术发展的主要问题^[4-5]。NH₃就是普遍存在的一种恶臭气体,《中华人民共和国恶臭污染排放标准》已经明确规定了堆肥厂NH₃排放的最低限值(GB 14554—1993)。堆肥过程中30%~60%总氮以NH₃的形式损失^[6-8],对于堆肥过程中NH₃的控制一直是研究的热点^[9-11]。

生物过滤是一种经济有效的去除臭气的方法^[12-13]。国内外大量的研究已经表明,腐熟堆肥是一种去除效率高且容易获取的生物滤料,一直被广泛用于去除堆肥过程中产生的臭气^[14-15]。各种不同的有机物料经堆肥后的腐熟堆肥均被作为滤料用于去除NH₃和其他可挥发有机污染物。Hong和Park^[16]利用腐熟堆肥和椰子皮作为滤料可以完全去除猪粪堆肥过程中产生的NH₃;Maeda等^[17]用牛粪作为原料进行堆肥,发现堆体覆盖一层腐熟的堆肥,可以明显减少NH₃的释放;陆日明等^[18]利用腐熟鸡粪堆肥和树皮组成填料去除鸡粪堆肥臭气,发现对堆肥臭气中VOCs有很好的去除效果,其中氨占总VOCs的比例高达98.70%。不同原料的腐熟堆肥以及腐熟堆肥与其他物质构成的复合生物滤料,对于NH₃的去除率可达到70%~100%,且不需要适应期^[19-20]。

对于腐熟堆肥去除NH₃的机理研究也已经有很多报道。Scheutz等^[21]认为腐熟堆肥较大的比表面积为微生物生存提供了合适的环境。另外,腐熟堆肥较强水分保持力可以缓解气体的透过和逸散^[22]。腐熟堆肥具有较高的物理吸附能力以及较强的微生物活性是去除NH₃的主要原因^[23-25]。然而这两种作用对NH₃去除效果的贡献率分别为多大?主要是微生物作用,还是物理吸附作用?目前关于腐熟堆肥作为滤料去除NH₃的研究已有很多报道,主要集中在工艺参数确定以及提高去除效率方面,关于这两种作用的量化效果研究还比较少。本研究希望通过对滤料进行灭菌处

理,研究不同作用的量化去除效果,为无机滤料和有机物料的选择提供量化参数,为滤池构建以及滤料筛选提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验设计及装置

实验中通入生物滤池的NH₃为厨余垃圾一次完整堆肥过程中排出的混合气体,堆肥周期为28 d。生物滤池中滤料由腐熟堆肥:砂土=4:6(湿基质量比)配制而成。腐熟堆肥为厨余垃圾经堆肥后的腐熟产品。每个滤池体积约8.5 L,滤料总量约10.5 kg。实验设计两个处理,L1处理为对照处理(未灭菌),L2处理将滤料进行高温灭菌。利用高压蒸汽灭菌器,在1个大气压下高温湿热灭菌2 h。两个处理初始生物滤料基质的性质如表1所示。

好氧堆肥及生物过滤装置如图1所示。堆肥过程中排出的气体先收集于冷凝器中,然后通过管道连接到生物滤池底部进气口,采用底部进气、顶部出气方式,用流量计测定系统各部分流量。气体通入生物滤池的流量为0.03 m³·h⁻¹,经冷凝后的堆肥气体在室温温度下进入滤池,试验期间室温为21~28℃。经生物滤池过滤后的气体通入硼酸吸收瓶中,尾气净化后排出。

生物滤池由高70 cm、内径14.7 cm的不锈钢管制成。生物滤池滤料层厚度设为60 cm。为了提高滤料性能,减少压力降,滤料中60%的滤料颗粒直径大于4 mm,滤池铺设上下两层,下层为气体扩散层,由粗砂石组成,厚10 cm,具有均匀布气,防止堵塞和减少压力降等功能;上层滤料由腐熟堆肥混合砂土组成,厚度50 cm。共设5个气体采样口,每10 cm高度设置一个取样口。每天测定滤池进气与出气口O₂和NH₃浓度。

1.2 测定项目及分析方法

NH₃采用静态箱法采集气体样本^[26],每天测定1次,每次重复测定3次取平均值。NH₃用质量分数2%硼酸吸收,标准浓度的稀H₂SO₄滴定。O₂采用生物气体测定仪测定(biogas,Britain,Geotech)。在实验开始

表1 初始滤料的性质

Table 1 Initial characteristics of biofilter packing materials

处理	TOC/%	TN/%	NH ₄ ⁺ -N/g·kg ⁻¹	NO ₃ ⁻ -N/g·kg ⁻¹	pH	含水率/%
L1(不灭菌)	5.61±0.08	0.45±0.02	0.26±0.01	1.11±0.02	7.62±0.07	33.3±0.19
L2(灭菌)	5.48±0.07	0.44±0.01	0.57±0.03	0.79±0.01	7.56±0.12	33.1±0.24

注:TOC、TN、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N数据基于干基质量;pH、含水率数据基于湿基质量。

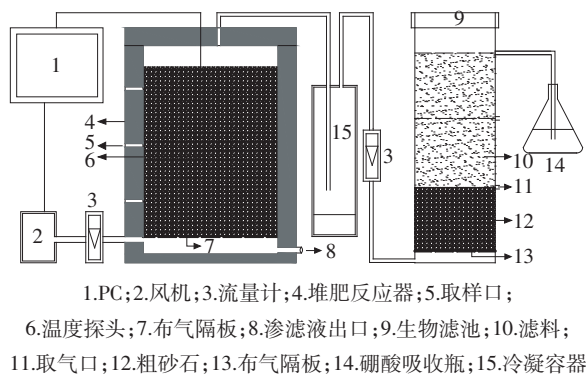


图1 实验装置

Figure 1 Diagram of experimental device

和结束时分别取生物滤料固体样品:其中鲜样样本用于测定含水率、pH、氨氮(NH_4^+-N)和硝氮(NO_3^--N)等指标;另一部分自然风干,粉碎后过 0.5 mm 筛,测定总有机碳(Total organic carbon)、总氮(Total nitrogen)含量。含水率采用烘箱干燥法测定;pH 值、总有机碳、总氮采用 NY525 有机肥料标准方法测定。无机态氮(NH_4^+-N 和 NO_3^--N)的测定方法:用 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 KCl 溶液,按照 10:1(V/M)同湿样混合,振荡 30 min,静置过滤取上清液,经稀释后上流动分析仪测定(Auto Analyzer 3, Seal, 德国)。

生物滤料 NH_3 去除率按照下式计算:

$$R_i = \frac{I_i - O_i}{I_i} \times 100\%$$

式中: R_i 为生物过滤装置对气体 i 的去除率,%; I_i 为生物过滤装置进气中气体 i 的浓度, $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$; O_i 为生物过滤装置出气中气体 i 的浓度, $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

2 结果与讨论

2.1 氧气含量

生物滤池进口及出口处的 O_2 含量如图 2 所示。由于滤池前端的堆肥过程为强制通风系统,排出气体中 O_2 的含量呈现先降低后升高的趋势, O_2 含量总体在 8%~21%之间。 O_2 含量在堆肥前 10 d 低于 15%, 10 d 之后逐渐升高到空气中 O_2 含量。从图 2 可以看出,生物滤池两个处理进口和出口的 O_2 含量几乎是一样的。未灭菌的 L1 处理,滤料中微生物在转化堆肥气体的过程中对 O_2 的需求量并不高,只需要微量的 O_2 即可。本实验研究中,氧气并不是限制生物滤池处理堆肥臭气的一个因素,与 Deshusses 等^[27]的研究结果相似。但 Cox 等^[28]发现在高的苯乙烯入口浓度条件下,随着氧气浓度从 20%增至 40%,苯乙烯的最大

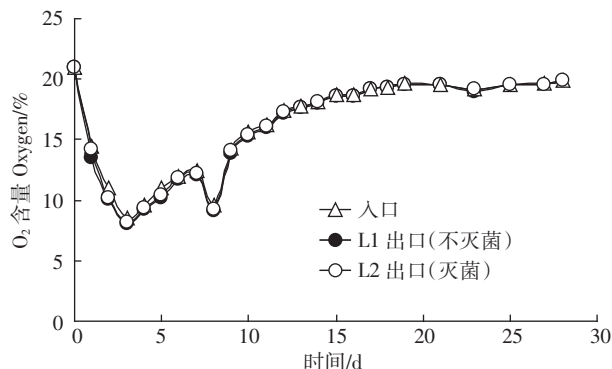


图2 堆肥过程中生物滤池出口处氧气含量

Figure 2 Oxygen content in air at outlet of biofilters during composting

去除负荷也增加了。由此看来,氧气的限制作用是在一定条件下发生的。

2.2 NH_3 去除率

两个处理滤池中 NH_3 浓度变化及对 NH_3 的去除率如图 3 所示。滤池入口处 NH_3 浓度在 0~400 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 之间。L1 和 L2 处理, 无论是否灭菌, 在 0~12 d, 气体经过生物滤池后均未检测到 NH_3 , 滤池可 100% 的去除 NH_3 。从第 13 d 开始, 在滤池的 10 cm 出口处开始有 NH_3 排出。未灭菌的 L1 滤池 10 cm 出口处 NH_3 的浓度逐渐升高后又降低。但出口处浓度始终低于入口浓度, 保持在 10~55 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 之间。 NH_3 浓度出现先升高又降低的趋势, 一方面可能与进口浓度变化有关, 另一方面可能与微生物转化速率有关。因此, L1 处理 10 cm 出口处 NH_3 的去除率在堆肥的前 12 d 为 100%, 从第 13 d 开始逐渐降至 55%, 第 22 d 开始又逐渐回升至 80% 左右。L2 灭菌处理前 12 d 的 NH_3 去除率也为 100%。由此可以判断, 生物滤料最初主要通过物理吸附作用吸附 NH_3 , 当吸附饱和之后, 腐熟堆肥中硝化细菌可将 NH_4^+-N 进一步转化为 NO_3^--N 。由于微生物对于 NH_4^+-N 的转化存在一定的适应性, L1 处理 10 cm 滤池在吸附饱和之后, NH_3 的去除率先降低又逐渐升高, 然而 L2 处理滤料经灭菌之后, 微生物失去活性, 只存在物理吸附作用。因此, 10 cm 高度的滤料经过 13 d 对 NH_3 吸附饱和之后, 出口处 NH_3 的浓度逐渐增加, 甚至高于入口 NH_3 浓度。由于滤料中吸附的 NH_4^+-N 无法进行转化, 随着 NH_3 的不断累加, 达到极限值之后将原来吸附固定的 NH_3 又携带释放出去, 使得 L2 滤池 10 cm 出口处的 NH_3 去除率在 20 d 后为负值。随着滤池高度的逐渐增加, 滤料对 NH_3 的累积吸附能力逐渐减弱, 当最底层滤料吸附饱和之

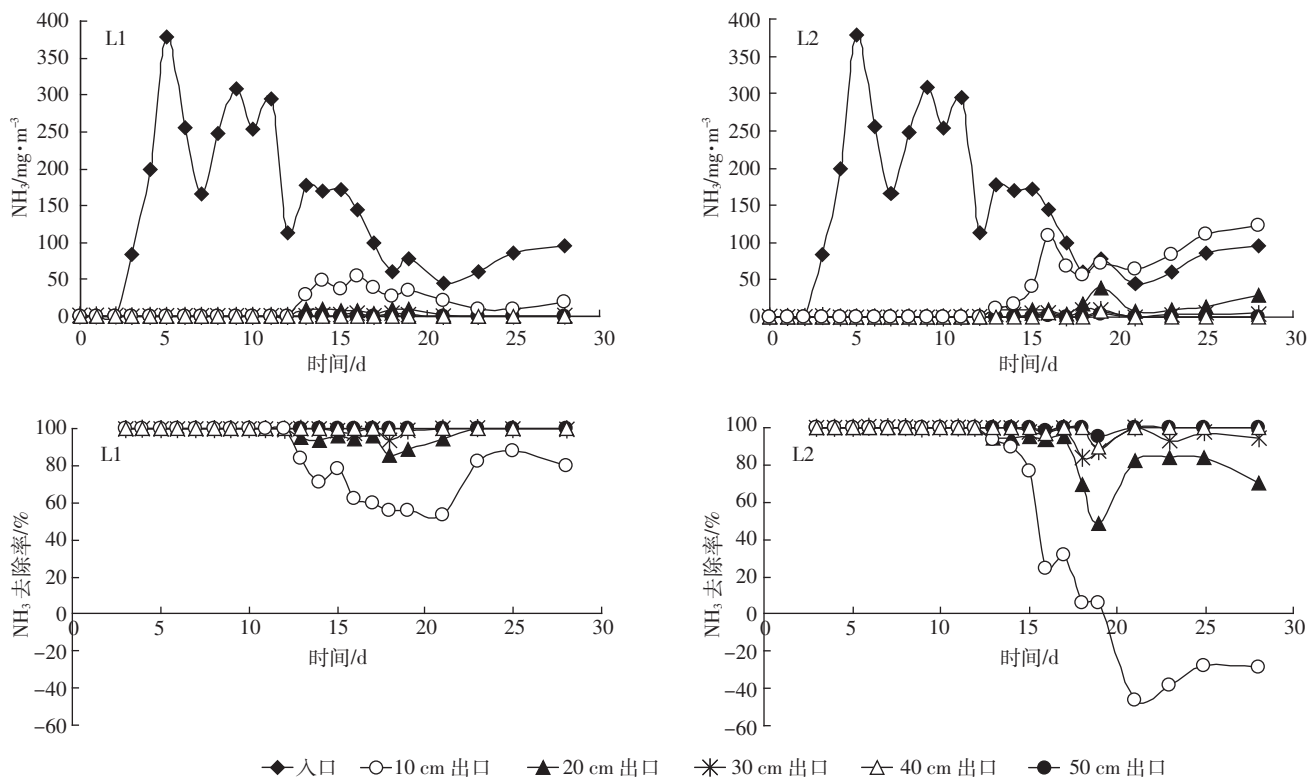
图3 滤池不同高度出口处NH₃的浓度变化及去除率

Figure 3 Concentrations and removal efficiencies of ammonia at inlet and outlet of biofilters with different thickness

后,滤料上层很容易达到吸附饱和。滤池最底部滤料承担着去除NH₃的主要作用,这一结果与很多研究是相同的^[29]。L1处理在20 cm出口处NH₃的浓度已经比较低,去除率可以达到90%以上,30 cm高度的滤料几乎可以100%的去NH₃。然而,滤池灭菌之后NH₃的去除能力较L1处理整体降低,20 cm出口处去除率在50%以上,30 cm出口处的去除率在85%以上,达到50 cm高度时去除率可接近100%。统计分析结果表明,腐熟堆肥作为生物滤料对于NH₃的去除有显著效果($P=0.000$),滤料是否灭菌对于NH₃的去除效果也存在显著的差异($P=0.044$)。腐熟堆肥中微生物的降解作用在一定程度下可以降低滤池的高度。

整个堆肥周期中进入每个生物滤池的NH₃累积量为4778 mg,滤池不同高度出口处NH₃累积排出量见图4。L1处理滤池10 cm出口处累积NH₃排放量为487 mg,20 cm出口处为60 mg,30 cm出口处为7.6 mg,40 cm和50 cm出口没有NH₃排出。10 cm出口处NH₃的累积排放量为入口NH₃累积量的10.2%,20 cm出口处排放量为10 cm出口处的12.4%,30 cm出口处排放量约为20 cm出口处的12.5%。可以发现,滤池每增加10 cm的高度,出口处NH₃累积排放量约为入口处的10%~12%。然而,滤料经灭菌之后,不同高度

NH₃累积排放量随滤池增加分别为1123、239、60、15、4 mg。滤池每增加10 cm的高度,出口处NH₃累积排放量为入口处的21%~25%。可以看出,同样高度的生物滤料无论是否灭菌都存在吸收饱和的问题。对于L1处理主要通过物理吸附和微生物分解两种途径去除NH₃,两种方式总贡献率可达到95%以上。L2处理滤料经灭菌后,对于NH₃的去除只有物理吸附作用,物理吸附作用贡献率为75%~80%。经推算,腐熟堆肥中微生物作用的贡献率为15%~25%。此结果也可以解释上世纪80年代后期滤池中无机填料逐渐出现的问题,一方面是由于有机填料的矿化会使填料老化,另一方面也因为无机填料,如沸石、火山岩、煤炭和活性炭等具备较高的物理吸附能力,仅物理吸附作用也可以去除绝大部分的NH₃。为了达到更好的去除效果,无机和有机填料混合构建的复合滤料以及设计多层滤池都是目前较多的选择^[30-32]。

由以上分析可以看出,滤池不同高度NH₃累积进入量和累积排放量存在一定的关系。两个处理滤池的高度 x 和NH₃累积排放量 y 之间的关系及拟合方程如图4所示。根据拟合方程计算结果,对于L1处理,当滤池高度为25 cm时,NH₃可接近零排放;滤料经灭菌后,当滤池的高度为50 cm时,NH₃也可接近零

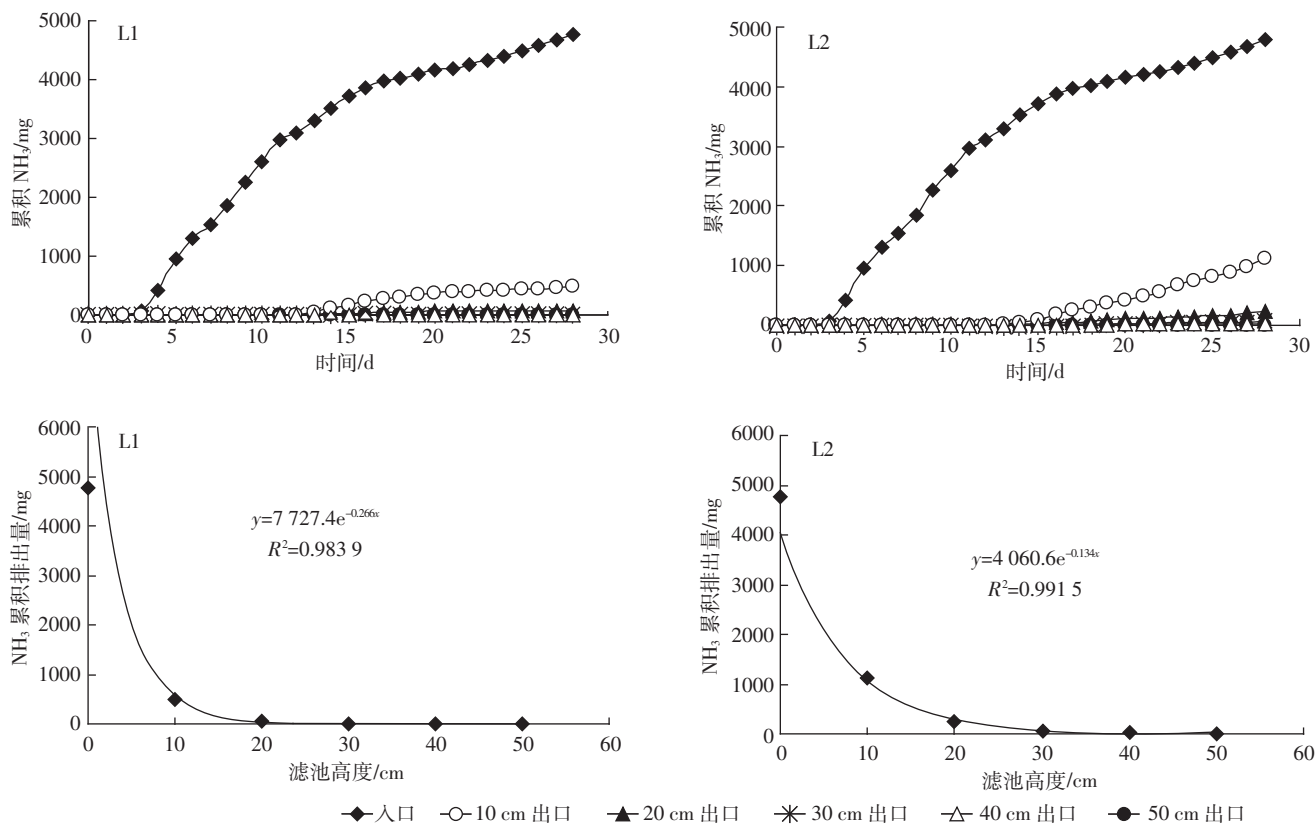
图 4 滤池不同高度与 NH_3 累积排出量的拟合方程

Figure 4 Relationship between biofilter thickness and total ammonia emissions

排放。因此可以得出:对于未灭菌的 L1 处理的滤料经过 1 个堆肥周期后仍未饱和,不需要更换,可以持续使用 2 个堆肥周期;灭菌的 L2 处理在经过 1 个堆肥周期的吸附之后,滤料基本已经饱和,需要更换滤料。这表明腐熟堆肥中微生物的生物转化作用延长了滤料的寿命和使用时间。

2.3 滤料物理化学性质

图 5 显示,由于腐熟堆肥中微生物的存在,L1 处

理滤料在实验结束后氨氮和硝氮的含量发生了变化:滤池 0~10 cm 层的滤料,由于吸附了大量的 NH_3 ,尽管大部分 NH_3 已经被硝化细菌和亚硝化细菌转化为 NO_3^--N 和 NO_2^--N ,但 NH_4^+-N 的含量仍高于滤料初始含量;10~50 cm 层的滤料,吸附的 NH_3 相对较少,滤料中 NH_4^+-N 在硝化细菌和亚硝化细菌的作用下,几乎全部转化为硝态氮。而 L2 处理经灭菌后,滤料中不同高度硝态氮含量与初始含量相同, NH_4^+-N 含量在

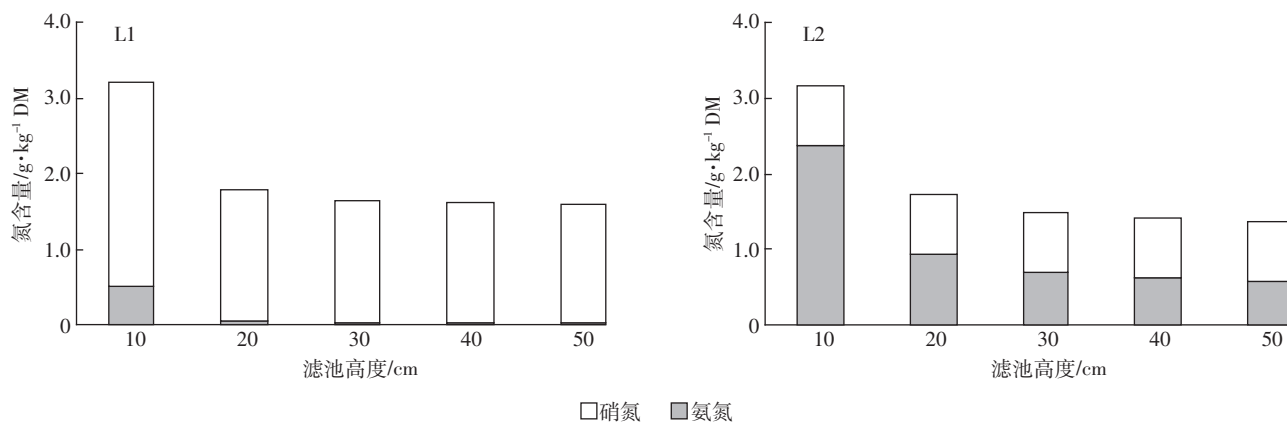


图 5 滤料最终的氨氮和硝氮含量

Figure 5 Content of ammonia nitrogen and nitrate nitrogen in filter packing materials at the end of experiment

0~10 cm 层有大幅增加,其他各层略有增加,增加量与滤料吸附的 NH₃ 量成正比。这进一步说明:L2 处理对于 NH₃ 的去除主要是通过物理吸附作用,L1 处理先经过物理吸附作用固定 NH₃,然后在微生物的作用下进一步转化。Liu 等^[23]通过观察微生物数量发现腐熟堆肥滤料中细菌和霉菌的数量有明显的增加,可见腐熟堆肥作为生物滤料去除堆肥过程中产生的臭气时,微生物活动起到一定的生物转化作用。从物理角度来说,灭菌和不灭菌对于 NH₄⁺-N 的吸附固定区别不大,吸附固定的机理是颗粒表面的负价吸附点,两个处理应该吸附点相同。一般滤料也不吸附 NO₃⁻-N,因为颗粒表面吸附点位很少有正电基团,本实验滤料主要材料是腐熟堆肥,腐熟堆肥中含有大量大分子的腐植酸,腐植酸含有带负电的基团。考虑到微生物因素,未灭菌的滤料中氮素形态转化是动态的,吸附的 NH₄⁺在微生物存在条件下转化为 NO₃⁻。

以上结果表明,综合作用下未灭菌的滤柱单位时间吸附和转化 NH₄⁺的效率高于灭菌处理。灭菌处理的滤料,没有微生物转化作用,仅是物理的吸附固定作用,当达到吸附饱和后就维持平衡了。未灭菌 L1 处理 NH₄⁺不断被吸附,又不断地被转化为 NO₃⁻,NH₄⁺吸附转化效率较高;经灭菌的 L2 滤料,因为只存在物理吸附,所以吸附积累的 NH₄⁺很多,但 NO₃⁻很少,保持了初始原料中所含有的 NO₃⁻量,未见增加。

滤料除 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 的变化外,其他物理化学指标(TOC、TN、pH 和含水率)也发生了相应的变化(表 2)。两个处理 TOC 的含量与滤料初始含量相差不大,但由于 L1 处理微生物的活动需要消耗碳源,

L1 滤料中 TOC 含量低于初始含量,L2 处理与初始值基本相等。TN 含量均有增加,随着滤池高度的增加,TN 含量逐渐减少,0~10 cm 层滤料中 TN 增加量最大,与滤料对于 NH₃ 的去除规律一致。总体来看,L1 处理滤料中 TN 含量高于 L2 处理,L1 滤料的 C/N 比降低幅度高于 L2。从 pH 值的变化可以看出,L1 处理随着滤池高度的增加,滤料中 pH 值逐渐降低。滤料中微生物在代谢过程中生成含氮代谢产物 HNO₃ 以及含硫代谢产物 H₂SO₄ 等酸性产物,使滤料的 pH 值降低,但由于都在中性范围,并未发生滤池酸化。L2 处理的 pH 值变化较 L1 小,基本与滤料初始值相同,略有降低。两个处理滤料的含水率基本与初始值相同,经过 28 d 的生物过滤后,并未导致滤料含水率的变化。

3 结论

(1)腐熟堆肥作为生物滤料在一定的滤池高度下可 100% 去除堆肥过程中产生的 NH₃。较单纯通过物理吸附作用去除 NH₃ 相比,在同等的 NH₃ 去除率情况下,腐熟堆肥中微生物生物转化作用可以适当降低滤池高度。

(2)腐熟堆肥作为滤料主要通过物理吸附和微生物生物转化两种作用去除 NH₃,物理吸附起主要作用,贡献率为 75%~80%。微生物的生物转化作用贡献率为 15%~25%,经吸附固定的 NH₃ 在硝化细菌的作用下转化为硝态氮。

(3)未经灭菌的 L1 处理,滤池高度与 NH₃ 的累积排放量之间的关系可表示为: $y=7\ 727.4e^{-0.266x}$, $R^2=$

表 2 滤料物理化学性质变化

Table 2 Characteristics of biofilter packing material before and after experiment

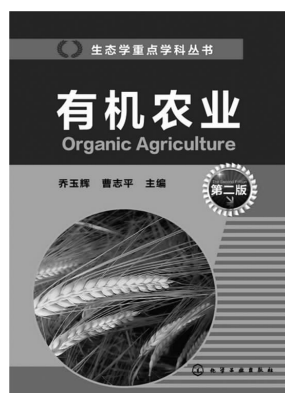
处理		TOC/%	TN/%	C/N	NH ₄ ⁺ -N/g·kg ⁻¹ DM	NO ₃ ⁻ -N/g·kg ⁻¹ DM	pH	含水率/%
L1(不灭菌)	初始	5.61	0.45	12.47	0.26	1.11	7.62	33.35
	结束(10 cm)	5.37	0.75	7.41	0.51	2.70	7.03	32.83
	结束(20 cm)	5.43	0.59	9.27	0.04	1.73	7.07	32.55
	结束(30 cm)	5.17	0.57	9.01	0.02	1.61	7.09	33.42
	结束(40 cm)	5.30	0.55	9.72	0.02	1.60	7.18	33.96
	结束(50 cm)	5.03	0.54	9.31	0.02	1.58	7.26	33.05
L2(灭菌)	初始	5.60	0.45	12.44	0.57	0.79	7.56	32.73
	结束(10 cm)	5.75	0.55	10.45	2.37	0.80	7.66	32.42
	结束(20 cm)	5.64	0.51	11.08	0.93	0.79	7.43	32.08
	结束(30 cm)	5.39	0.51	10.67	0.69	0.79	7.39	32.94
	结束(40 cm)	5.33	0.49	10.79	0.63	0.79	7.40	33.04
	结束(50 cm)	5.26	0.48	11.07	0.58	0.78	7.38	33.96

0.983 9 (其中 y 为 NH_3 累积排放量, x 为滤池高度), 当滤池高度为 25 cm 时, NH_3 的累积排放量可接近零; 灭菌的 L2 处理, 滤池高度与 NH_3 的累积排放量之间的关系可表示为: $y=4\ 060.6e^{-0.134x}$, $R^2=0.991\ 5$, 滤池的高度为 50 cm 时, 方可达到 NH_3 零排放。

参考文献:

- [1] He P J, Shao L M, Qu X, et al. Effects of feed solutions on refuse hydrolysis and landfill leachate characteristics[J]. *Chemosphere*, 2005, 59(6): 837-844.
- [2] 张红玉, 路鹏, 李国学, 等. 秸秆对厨余垃圾堆肥臭气和渗滤液减排的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 248-254.
ZHANG Hong-yu, LU Peng, LI Guo-xue, et al. Effect of corn stalks addition on odors and leachate reduction during kitchen waste composting[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2011, 27(9): 248-254.
- [3] 杨帆, 欧阳喜辉, 李国学, 等. 膨松剂对厨余垃圾堆肥 CH_4 、 N_2O 和 NH_3 排放的影响[J]. 农业工程学报, 2013, 29(18): 226-233.
YANG Fan, OUYANG Xi-hui, LI Guo-xue, et al. Effect of bulking agent on CH_4 , N_2O and NH_3 emissions in kitchen waste composting[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2013, 29(18): 226-233.
- [4] 张红玉, 李国学, 袁京, 等. 固氮添加剂降低厨余垃圾堆肥中 NH_3 和 H_2S 排放[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 173-178.
ZHANG Hong-yu, LI Guo-xue, YUAN Jing, et al. Nitrogen fixation additive reducing emission of NH_3 and H_2S during composting of kitchen waste and cornstalk[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2013, 29(23): 173-178.
- [5] Domingo J L, Nadal M. Domestic waste composting facilities: A review of human health risks[J]. *Environment International*, 2009, 35(2): 382-389.
- [6] Luo W H, Yuan J, Luo Y M, et al. Effects of mixing and covering with mature compost on gaseous emissions during composting[J]. *Chemosphere*, 2014, 117: 14-19.
- [7] Yang F, Li G X, Yang Q Y, et al. Effect of bulking agents on maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting[J]. *Chemosphere*, 2013, 93(7): 1393-1399.
- [8] Jiang T, Schuchardt F, Li G X, et al. Effect of C/N ratio, aeration rate and moisture content on ammonia and greenhouse gas emission during the composting[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2011, 23(10): 1754-1760.
- [9] Szanto G L, Hamelers H M, Rulkens W H, et al. NH_3 , N_2O and CH_4 emissions during passively aerated composting of straw-rich pig manure[J]. *Bioresource Technology*, 2007, 98(14): 2659-2670.
- [10] Shen Y J, Ren L M, Li G X, et al. Influence of aeration on CH_4 , N_2O and NH_3 emissions during aerobic composting of a chicken manure and high C/N waste mixture[J]. *Waste Management*, 2011, 31(1): 33-38.
- [11] 罗一鸣, 李国学, Frank, 等. 过磷酸钙添加剂对猪粪堆肥温室气体和氨气减排的作用[J]. 农业工程学报, 2012, 28(22): 235-242.
LUO Yi-ming, LI Guo-xue, Frank, et al. Effects of additive superphosphate on NH_3 , N_2O and CH_4 emissions during pig manure composting[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2012, 28(22): 235-242.
- [12] Liang Y K, Quan X, Chen J W, et al. Long-term results of ammonia removal and transformation by biofiltration[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2000, 80(1/3): 259-269.
- [13] Park K J, Choi M H, Hong J H. Control of composting odor using biofiltration[J]. *Compost Science & Utilization*, 2002, 10(4): 356-362.
- [14] 陆日明, 王德汉, 张玉帅, 等. 生物滤池中填料高度对鸡粪堆肥尾气除臭效果的影响[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(增刊1): 200-203.
LU Ri-ming, WANG De-han, ZHANG Yu-shuai, et al. Impact of biofilter's media depth on deodorization of emission from chicken dropping composting[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(Suppl 1): 200-203.
- [15] Schlegelmilch M, Streese J, Biedermann W, et al. Odour control at biowaste composting facilities[J]. *Waste Management*, 2005, 25(9): 917-927.
- [16] Hong J H, Park K J. Wood chip biofilter performance of ammonia gas from composting manure[J]. *Compost Science & Utilization*, 2004, 12(1): 25-30.
- [17] Maeda K, Morioka R, Osada T. Effect of covering composting piles with mature compost on ammonia emission and microbial community structure of composting process[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2009, 38(2): 598-606.
- [18] 陆日明, 王德汉, 项钱彬, 等. 生物滤池填料及工艺参数去除鸡粪堆肥臭气效果研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 241-245.
LU Ri-ming, WANG De-han, XIANG Qian-bin, et al. Effects of biofilter media and operating parameters on biofiltration of odor from chicken manure composting[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(1): 241-245.
- [19] Galera M M, Cho E, Tuuguu E, et al. Effects of pollutant concentration ratio on the simultaneous removal of NH_3 , H_2S and toluene gases using rock wool-compost biofilter[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, 152(2): 624-631.
- [20] Chen Y X, Yin J, Wang K X. Long-term operation of biofilters for biological removal of ammonia[J]. *Chemosphere*, 2005, 58(8): 1023-1030.
- [21] Scheutz C, Pedicone A, Pedersen G B, et al. Evaluation of respiration in compost landfill biocovers intended for methane oxidation[J]. *Waste Management*, 2011, 31(5): 895-902.
- [22] Stern J C, Chanton J, Abichou T, et al. Use of a biologically active cover to reduce landfill methane emissions and enhance methane oxidation[J]. *Waste Management*, 2007, 27(9): 1248-1258.
- [23] Liu Qiang, Li Mi, Chen Rong, et al. Biofiltration treatment of odors from municipal solid waste treatment plants[J]. *Waste Management*, 2009, 29(7): 2051-2058.
- [24] Pagans E, Font X, Sanchez A. Biofiltration for ammonia removal from composting exhaust gases[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2005, 113(2/3): 105-110.
- [25] Hort C, Gracy S, Platel V, et al. Evaluation of sewage sludge and yard

- waste compost as a biofilter media for the removal of ammonia and volatile organic sulfur compounds (VOSCs)[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2009, 152(1):44-53.
- [26] Wolter M, Prayitno S, Schuchardt F. Greenhouse gas emission during storage of pig manure on a pilot scale[J]. *Bioresource Technology*, 2004, 95(3):235-244.
- [27] Deshusses M A, Hamer G, Dunn I J. Transient-state behavior of a biofilter removing mixtures of vapors of MEK and MIBK from air[J]. *Biotechnology and Bioengineering*, 1996, 49(5):587-598.
- [28] Cox H H J, Moerman R E, VanBaalen S, et al. Performance of a styrene-degrading biofilter containing the yeast *Exophiala jeanselmei* [J]. *Biotechnology and Bioengineering*, 1997, 53(3):259-266.
- [29] 龚兰芳. 生物过滤器处理畜禽业中恶臭气体的研究[D]. 雅安:四川农业大学, 2009.
- LONG Lan-fang. Study on biofilter treatment of malodor produces in animal husbandry[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2009.
- [30] Dehghanzadeh R, Torkian A, Bina B, et al. Biodegradation of styrene laden waste gas stream using a compost-based biofilter[J]. *Chemosphere*, 2005, 60(3):434-439.
- [31] Taghipour H, Shahmansoury M R, Bina B, et al. Operational parameters in biofiltration of ammonia-contaminated air streams using compost-pieces of hard plastics filter media[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2008, 137(2):198-204.
- [32] 余光辉, 徐晓军, 何品品. 复合生物滤池处理 H₂S 和 NH₃ 的挂膜与工艺条件[J]. 环境工程学报, 2007(1):30-33.
- YU Guang-hui, XU Xiao-jun, HE Pin-jing. Study on packing biofilm and process conditions of hydrogen sulfide and ammonia removal by composite biofilter[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2007(1):30-33.



有机农业(第二版)

乔玉辉、曹志平 主编

本书共分十二章,按有机产品“从田间到餐桌”的顺序编写,分别介绍了有机农业的发展历史、现状与展望;有机农业生产的前期准备,包括有机农业对产地环境、有机农业生产投入物质的要求;有机农业的生产过程中土壤培肥和植物保护等方面的技术要求;几种代表性的粮食、蔬菜、水果和畜禽的有机生产技术;有机食品的收获后管理、食品安全,以及对加工、运输过程的特殊要求;国际有机农业的标准体系、有机食品的认证以及有机产品的贸易与市场;最后对有机农业课程的实习提出了一些方案与建议,并介绍了国内外知名有机农场的案例。

※书号:9787122251190

※定 价:49.8 元

※开本:16

※出版日期:2016年1月



再生有色金属行业污染防治技术与案例

李艳萍、乔琦、陈伟 等编著

本书通过对再生金属行业的发展现状、主要环境问题以及影响要素的识别和评估,建立我国再生金属行业环境污染防治污染源清单和主要污染物产排污系数。该书对再生铜、再生铝、再生铅和再生锌通过元素流分析,进行全系统源追踪,通过再生金属典型工艺冶炼过程重金属污染产生和排放种类、关键节点、形态和扩散途径的数据和特征,识别和评估重金属污染在各个产污和排污环节的污染贡献率,分析典型工艺过程重金属的物质流向、流量和流态等几个方面,分析重金属污染的特征。

※书号:9787122257758

※定 价:85.0 元

※开本:16

※出版日期:2015年12月

如需更多图书信息,请登录 www.cip.com.cn

服务电话:010-64518888, 64518800(销售中心)

网上购书可登录化学工业出版社天猫旗舰店:<http://hxgycbs.tmall.com>

邮购地址:(100011)北京市东城区青年湖南街13号 化学工业出版社

如要出版新著,请与编辑联系,联系电话:010-64519525。