

发酵床养猪垫料的养分转化与植物毒性研究

陆 扬, 吴淑杭, 周德平, 薛惠琴, 李荣杰, 陈 谊, 夏 东*

(上海市农业科学院, 上海 201106)

摘 要: 发酵床养殖技术也被称为原位堆肥技术, 是一种值得推荐的控制畜场粪便排放与污染的生态养殖模式。本研究检测了发酵床的水分、温度和 pH 值变化以及在连续饲养两批猪后垫料中碳、氮和磷的组成与含量变化情况及其对植物毒性的强弱。结果表明, 发酵床使用期间水分为 58%~61%, 垫料内部温度维持在 40~55 °C; 在连续饲养两批猪后, 垫料的 pH 值升高至 8.16, 氮、磷含量显著提高, 铵态氮、亚硝态氮和硝态氮浓度显著升高, C/N 比由养猪前的 84:1 下降至 31:1, N/P 比由 2.8:1 下降至 1.26:1; 垫料中的总铜浓度由 7 mg·kg⁻¹ 升高至 89 mg·kg⁻¹。以白菜种子作发芽试验考察废弃垫料的植物毒性, 其相对发芽率为 86.67%, 相对根长为 132.95%, 发芽指数 (Germination Index, GI) 为 115.23%, 说明饲养了两批肥猪的发酵床垫料无植物毒性作用, 对根的生长有促进作用, 可作为有机肥还田。

关键词: 发酵床养猪系统; 垫料; 养分转化; 植物毒性; 发芽指数

中图分类号: S141.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2011)07-1409-04

Nutrition Transformation and Phytotoxicity of Pig Litters Under Pig-on-Litter (POL) System

LU Yang, WU Shu-hang, ZHOU De-ping, XUE Hui-qin, LI Rong-jie, CHEN Yi, XIA Dong*

(Shanghai Academy of Agriculture Science, Shanghai 201106, China)

Abstract: The pig-on-litter (POL) system, also known as in-situ composting is one of the most highly recommended methods to threat pig wastes. A study was carried out to investigate the changes of water content, temperature and pH of the compost resulting from the POL system. The changes in the forms and content of carbon, nitrogen and phosphorus of the compost were also examined. The phytotoxicity of the extracts after two successive batches of pigs was assessed using the Chinese cabbage seed germination test. The results showed that 58%~61% of water content and 40~55 °C were maintained during two successive patches of pigs. The pH value of the compost increased to 8.16, and the content of total N, NH₄⁺-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N and total P increased significantly. The C/N ratio decreased from 84:1 to 31:1, the N/P ratio decreased from 2.8:1 to 1.26:1. The content of total Cu increased from 7 mg·kg⁻¹ to 89 mg·kg⁻¹. The relative seed germination was 86.67%, the relative root growth was 132.95% and the germination index (GI) was 115.23%. The compost could be used as organic fertilizers since no phytotoxicity but root growth promotion by the compost was found with the seed germination test.

Keywords: pig-on-litter system; pig litters; nutrient transformation; phytotoxicity; seed germination index

发酵床养殖技术是一种基于减少畜禽粪便排放与污染的养殖模式, 其基本做法是在经过特殊设计的猪舍里, 填入预先接种微生物的有机垫料, 如木屑、稻壳等, 再将猪在有机垫料上面饲养。发酵床养殖技术

的使用, 不仅避免了传统养殖中水冲粪产生的大量污水, 猪的排泄物一经产生就被有机垫料吸收, 并在原地被微生物降解、腐熟, 减少了有害气体的产生, 改善了饲养环境。目前, 国内就该模式下动物的生产性能, 畜舍环境的改善比较关注, 但忽略了发酵床养殖过程中原位堆肥的变化过程, 特别是养殖后垫料的理化特性如何, 其中的养分经历了怎样的转化, 对植物生长的毒性如何, 是否适用于还田, 目前尚缺乏系统报道。本研究通过对连续饲养两批肥猪后的垫料进行理化分析和植物毒性检测, 旨在为发展种养结合的生态模式提供理论依据。

收稿日期: 2010-10-13

基金项目: 上海市科委重点攻关项目 (08DZ1900403); 上海市科技兴农重点攻关项目 (沪农科攻字 (2009) 第 5-1 号); 国家公益性行业专项 (201003011); 上海市科技兴农推广项目 (沪农科推字 (2008) 第 5-5 号)

作者简介: 陆 扬 (1979—), 女, 博士, 主要从事动物健康养殖研究。E-mail: luyangt@hotmail.com

* 通讯作者: 夏 东 E-mail: xiadong72102@yahoo.com.cn

1 材料与方法

1.1 采样地点

样品采自上海松江某一发酵床猪圈。发酵床面积 100 m², 深 80 cm, 使用的发酵菌种为申农菌剂(上海市农科院自行分离、配伍的菌剂, 主要含乳酸菌、芽孢杆菌等, 用于加速垫料腐熟, 减少有害气体产生)。将等体积的稻壳和木屑接种菌种、调节水分和拌匀后, 铺至发酵床中, 与地面齐平。发酵床的日常维护主要包括垫料每周 1 次的浅层翻扒, 将粪便集中的区域人工分散, 并且补撒少量菌种, 当垫料出现明显下降时补充新的稻壳和木屑。发酵床自 2009 年 11 月开始使用, 至 2010 年 5 月, 前后共饲养了 2 批次猪, 每批养殖 100 头·圈⁻¹。本研究分别在第一批猪入栏前(P0)和第二批猪出栏后(P2)采集垫料, 用于垫料的理化特性分析和植物毒性检测。

1.2 采样方法

从猪圈的一角开始采用 S 形路线, 均匀采取圈内 5 个点的样品, 每个点分别从上至下用环刀取 0~10 cm、30~40 cm 和 60~70 cm 的垫料样品, 置于自封袋中密封, 防止水分挥发, 放于有冰袋的保温盒中。鲜样用于测定 pH 值、发芽指数(Germination Index, GI)、铵态氮、亚硝态氮和硝态氮; 烘干样经混合后, 用于测定总碳(TC), 总氮(TN)、总磷(TP)和总铜。

1.3 样品分析方法

(1)含水率: 烘干法。

(2)pH 值和发芽指数: 用水浸提鲜样, 固液比为 1:10, 过滤后滤液保存于 4℃冰箱中。pH 值用 S-3C 型 pH 计测定。GI 的测定是取混合垫料的 1:10 去离子水浸提液或去离子水 8 mL 于垫有滤纸的培养皿中, 放入 F1 代早熟 5 号白菜种子, 然后置于(20±1)℃的培养箱中暗培养 24 h, 测定发芽率和根长, 每个样品做 3 个重复, 每个重复 20 粒种子。相对发芽率为浸提液处理的种子出芽数占去离子水处理的种子出芽数的百分比; 相对根长为浸提液处理的平均根长与去离子水处理的平均根长的百分比; GI 为相对发芽率与相对根长的乘积。

(3)TC: 采用重铬酸钾容量法-磷酸浴外加热法测定。

(4)TN: 采用凯氏定氮法测定。

(5)TP: 采用钼黄比色法测定。

(6)铵态氮、亚硝态氮和硝态氮: 用 10% 的 NaCl 溶液浸提, 固液比为 1:10, 加 1% 硫酸锌溶液, 0.5% 氢氧化钠溶液和 10% 氢氧化铝悬浮液, 混匀后, 12 000 r·min⁻¹ 离心 5 min, 上清液用于 3 种不同形态氮的测定。纳氏试剂法用于测定铵态氮; 格利斯试剂用于亚硝态氮测定; 双波长分光光度法用于硝态氮测定。测定后的值根据样品含水率, 换算成干物质中的含量。

(7)总铜: 采用原子吸收法测定。

2 结果与分析

2.1 垫料的水分、温度和 pH 值变化

如表 1 所示, 本实验开始前, 垫料的水分 57.6%, 在二批猪饲养结束时, 垫料水分 60.5%, 其湿度较适宜垫料中微生物的生长代谢^[1]。实验始于 11 月份, 棚内温度 10℃左右, 在猪入栏前, 经过接种的微生物发酵作用, 垫料内部温度已经达到 41℃左右(距表面 30 cm 实测温度); 在第一批猪饲养 1 周时, 垫料内部温度升高至约 54℃; 第一批猪饲养 1 个月时, 其垫料的内部温度仍保持在 45℃左右。垫料的酸碱性由起始的中性转变为偏碱性, 在第二批猪饲养结束时, 垫料的 pH 值为 8.16。

2.2 垫料中氮、碳、磷、铜含量的变化

随着粪尿的累积, 发酵床中总氮、总磷含量升高, 总碳含量下降, 铜的含量增加(见表 1), C/N 比由进猪前的 84:1 下降至 31:1, N/P 比也有由 2.8:1 下降至 1.26:1。垫料铜总含量的起始值是 7 mg·kg⁻¹, 第二批猪出栏后, 总含量升高至 89 mg·kg⁻¹。

2.3 垫料中不同形态氮的变化情况

垫料中 3 种不同形态的氮含量变化如图 1 所示。在养猪之前, 垫料中铵态氮浓度为 0.3~1.4 mg·g⁻¹, 亚硝态氮的含量几乎可以忽略不计, 硝态氮的浓度也较低, 为 0.1~0.3 mg·g⁻¹; 在第二批猪出栏后, 垫料中铵态氮浓度为 1.4~2.7 mg·g⁻¹, 平均升高了 1.8 倍, 其中

表 1 发酵床垫料的理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of pig litter at different ages

项目	水分/%	pH 值	TC/%	TN/%	TP/%	Cu/mg·kg ⁻¹
P0	57.60	6.94	47.10	0.56	0.20	7
P2	60.52	8.16	41.22	1.32	1.05	89

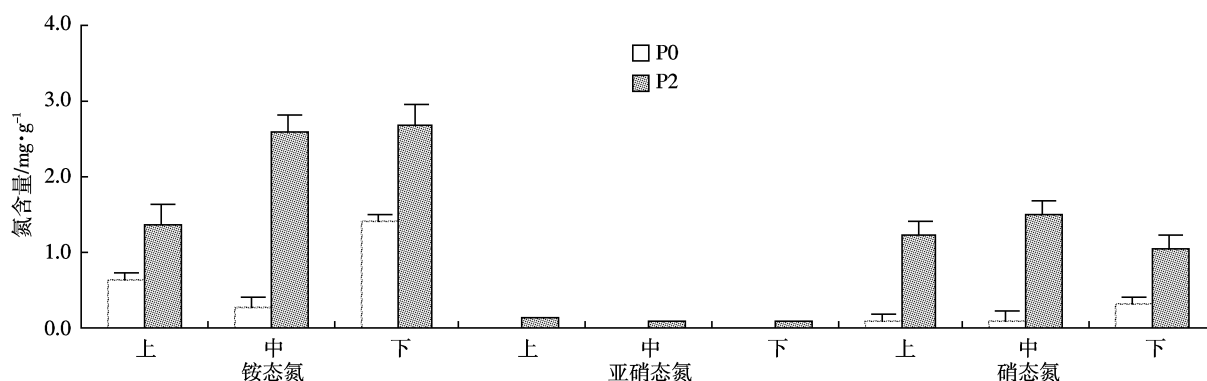


图1 发酵床垫料中三氮含量

Figure 1 Concentrations of $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ of pig litter at different ages and depths

上层垫料由于氨气挥发作用,铵态氮浓度略低于中层和下层,亚硝态氮和硝态氮的浓度分别达到 $0.08\sim 0.12\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $1\sim 1.5\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,升高了 12.6 和 6.7 倍,增长幅度远超过铵态氮。

2.4 对种子发芽指数影响

种子发芽指数(GI)是堆肥腐熟的重要指标,在本实验中用于评价发酵床垫料对植物的毒性。汤江武等^[2]研究表明,早熟5号白菜种子的GI大于80%时,堆肥被认为已达到腐熟。本实验用F1代早熟5号白菜种子进行的发芽试验结果表明,饲养了两批猪后的有机垫料相对发芽率为86.67%,相对根长为132.95%,GI为115.23%。可见饲养了两批猪的垫料对植物基本无毒性,并可显著促进根的生长。

3 讨论

发酵床养猪的应用在国内还处于起步阶段,相关研究多集中于畜舍环境,动物生长性能等方面,对其废弃垫料还田的研究较少。发酵床垫料中的氮源和碳源是较好的有机肥原料,Tam等^[3]研究表明,垫料中的C/N比在进猪时为210:1,几周后C/N比下降到40:1,猪出栏时C/N比下降至11:1。本实验结果与之相符,第二批猪出栏时,垫料的C/N比由养猪前的84:1下降至31:1。随着养殖时间的延长,猪排泄到垫料中的粪尿增多,是导致垫料中C/N比下降的主要原因,另外垫料中微生物呼吸作用造成的二氧化碳大量挥发和微生物机体合成造成的氮大量累积也会导致C/N比下降。

本实验第二批猪出栏时,垫料N/P比也由1.22:1下降至0.55:1,说明饲料中磷的添加量高而转化率较低。在此情况下可以通过在饲料中添加植酸酶提高磷的利用率,减少磷排放,使垫料中的N/P比更适合农

作物生长。

刘荣乐等^[4]调查研究我国畜禽粪便和商品有机肥料中重金属污染时发现,猪粪中Cu浓度高达 $1\,726\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,远远超过国家标准中规定Cu的最高质量分数 $500\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。Tiquia等^[5]1999年在香港的发酵床养猪实验中,垫料中铜的总含量为 $800\sim 1\,600\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中水溶性铜在发酵床使用的前5~25周浓度低于 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,30~35周上升至 $20\sim 30\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,40周以后达到 $60\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;与此对应的是发酵床垫料在30周(饲养两批猪)内,对植物基本没有毒性,但更长时间的使用造成植物毒性增加。本实验第二批猪出栏时,垫料铵氮浓度为 $1.4\sim 2.7\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,总铜浓度仅为 $89\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,其GI为115.23%,相对根长为132.95%,对植物已无毒性作用,并对根的生长有显著促进作用。Tiquia等^[6]在研究堆肥时发现,当堆肥中水溶性铜 $\leq 15\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,铵态氮 $\leq 1\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 时,GI值 $>80\%$ 。相比Tiquia等的发酵床实验结果,本实验的发酵床垫料的GI更高,铵态氮浓度略低,差别最大的是铜含量,因此铜等重金属的大量累积可能是发酵床垫料产生植物毒性的重要原因。

Tam等^[3]报道,发酵床垫料的pH值在养猪后的前2d迅速升高,并达到峰值(pH8.8),随后有所降低,但仍偏碱性。但垫料的酸碱性应该较容易控制在有机肥所要求的pH6.5~8.5区间之内。本实验中,第二批猪出栏时垫料的pH值由起始的中性变为8.16,因此适合作为有机肥。

4 结论

本实验表明,发酵床垫料在连续饲养两批肥猪后,氮、磷、铜的含量显著提高,C/N比和N/P比下降,对植物无毒性作用,对根的生长有促进作用。其中总

铜浓度低于国家标准中规定铜的最高质量分数,适合作为有机肥还田。

本实验探讨了连续饲养两批肥猪后发酵床垫料的植物毒性,为种养结合生态模式的发展提供了理论依据。但更长的饲养时间是否会增加发酵床垫料的植物毒性,饲料铜的用量、氮磷的配比以及植酸酶的使用等对发酵床垫料还田效果有何影响等问题,还有待进一步探讨。

参考文献:

- [1] Tiquia SM, Tam NF, Hodgkiss IJ. Effects of bacterial inoculum and moisture adjustment on composting of pig manure[J]. *Environ Pollut*, 1997, 96: 161–171.
- [2] 汤江武, 吴逸飞, 薛智勇, 等. 畜禽固废弃物堆肥腐熟度评价指标的研究[J]. *浙江农业学报*, 2003, 15: 293–296.
TANG Jiang-wu, WU Yi-fei, XUE Zhi-yong, et al. Study on evaluation index of maturity of livestock and poultry solid wastes[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2003, 15: 293–296.
- [3] Tam NFY, Tiquia SM, Vrijmoed LLP. Nutrient transformation of pig manure under pig-on-litter system[M]// M. D. Bertoldi, P. Sequi, B. Lemmes, et al. *The Science of Composting* London, U. K. Chapman and Hal, 1996: 96–105.
- [4] 刘荣乐, 李书田, 王秀斌, 等. 我国商品有机肥料和有机废弃物中重金属的含量状况与分析 [J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24: 392–397.
LIU Rong-le, LI Shu-tian, WANG Xiu-bin, et al. Contents of heavy metal in commercial organic fertilizers and organic wastes [J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2005, 24: 392–397.
- [5] Tiquia SM. Evaluating phytotoxicity of pig manure from the pig-on-litter system[M]// P. R. Warman, B. R. Taylor. *International Composting Symposium(ICS 1999)* Nova Scotia, Canada. CBA Press, 2000: 648–669.
- [6] Tiquia SM, Tam NFY. Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge[J]. *Bioresource Technology*, 1998, 65: 43–49.