

发酵床养猪对土壤重金属含量的影响

李买军¹, 马 晗¹, 郭海宁¹, 王小治^{1*}, 封 克¹, 顾洪如²

(1.扬州大学环境科学与工程学院, 江苏 扬州 225127; 2.江苏省农业科学院畜牧研究所, 南京 210014)

摘 要: 重金属已成为影响土壤健康的限制因素, 通过对发酵床垫料、垫料下土壤、发酵床外土壤和传统猪场的土壤样品进行连续定点测定, 评价发酵床养殖方式对土壤环境中重金属含量的影响。结果表明, 5 个月的发酵床养殖, Cu、Zn、Cr、Pb 在垫料层 0~40 cm 累积明显, 分别增加了 41.23、51.73、13.52 mg·kg⁻¹ 和 5.23 mg·kg⁻¹, 垫料下方土壤 Cr 增加 14.30 mg·kg⁻¹, 累积量较 Cu、Zn、Pb 显著升高; 传统猪场土壤中的 Cu、Zn、Cr 较发酵床养殖方式累积更明显, 主要集中在 20 cm 以下的土壤中, 分别达 22.77、41.83、5.50 mg·kg⁻¹; 与传统养殖方式相比, 发酵床养殖对周边土壤重金属污染较小。

关键词: 猪发酵床; 垫料; 土壤; 传统养殖; 重金属

中图分类号: X713 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2014)03-0520-06 doi:10.11654/jaes.2014.03.018

Effect of Bio-bed Pig Raising on Heavy Metal Contents in Soil

LI Mai-jun¹, MA Han¹, GUO Hai-ning¹, WANG Xiao-zhi^{1*}, FENG Ke¹, GU Hong-ru²

(1.College of Environmental Science and Engineering, Yangzhou University, Jiangsu 225127, China; 2.Institute of Animal Science, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: Pig raising has caused heavy metal contamination in soil. A study was performed to determine the effects of bio-bed pig raising on heavy metal contents in bio-bed materials at different stages, in soil under the bio-bed, and in soil out of bio-bed, using soil from the traditional pig raising in the same location as reference. After 5 months of pig raising, accumulation of heavy metals in bio-bed layer(0~40 cm) was obvious. The increments of Cu, Zn, Cr and Pb contents were 41.23, 51.73, 13.52 mg·kg⁻¹ and 5.23 mg·kg⁻¹, respectively. Soil Cr content was found to increase by 14.30 mg·kg⁻¹ even in 40~80 cm underneath the bio-bed. The accumulation of Cu, Zn and Cr in the soil of traditional pig raising was 22.77, 41.83 mg·kg⁻¹ and 5.50 mg·kg⁻¹, respectively, higher than that in the soil out of the bio-bed. The data in this study indicate that bio-bed pig raising may have lower risk of heavy metal pollution to the surrounding soils than traditional one.

Keywords: bio-bed pig raising; bio-bed material; soil; traditional pig raising; heavy metal

畜禽养殖业产生的粪尿是环境中的重要污染源之一, Fischer 等^[1]预测, 2005—2030 年, 我国畜禽产品产量将增长 2.5 倍。畜禽产量的快速增长导致畜禽粪便排放量大幅增加。有研究表明, 2010 年全国畜禽粪便总排放量为 19 亿 t, 总污染量达 2.27 亿 t, 预计

2020 年全国畜禽粪便总排放量将比 2010 年增长 26.9%, 总污染量将比 2010 年增长 31.2%^[2]。发酵床养殖方式是将稻壳、木屑以及酒糟等均匀铺设于畜禽舍底部, 再接种益生菌分解畜禽产生的粪尿, 从而直接减少畜禽粪尿在环境中的排放量^[3-5]。近年来, 发酵床养殖过程中垫料重金属含量随使用时间的变化趋势^[6-8], 以及不同原料垫料重金属元素的累积特性已有较多研究^[9]; 传统规模化养殖畜禽粪便中重金属含量及其可能对环境造成的污染等也有相关研究^[10-12]。迄今为止, 发酵床养殖对周边土壤环境的影响鲜有报道。本文通过对发酵床垫料、垫料下土壤、发酵床外土壤和传统猪场的土壤样品进行连续定点采样测定, 研究发酵床垫料中重金属的积累及其对土壤环境的影响,

收稿日期: 2013-08-17

基金项目: 江苏省农业技术科技自主创新资金项目(CX(12)1001-6); 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(CXLX13-910); 扬州市-扬州大学校地合作专项(YZ2011146); 扬州市环保科研课题

作者简介: 李买军(1990—), 男, 内蒙古鄂尔多斯人, 硕士研究生, 研究方向为固体废弃物处理处置及资源化利用。

E-mail: hahali_happy@126.com

* 通信作者: 王小治 E-mail: xzwang@yzu.edu.cn

旨在为发酵床推广应用、环境评价、垫料的后期利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验样品的采集

试验在江苏省宿迁市泗阳县天蓬牧业养殖基地进行,发酵床每栋4栏,每栏面积50 m²,垫料深度约40 cm,栏内非垫料水泥地面积10 m²,每栏养猪15头。发酵床垫料由稻壳和木屑按一定比例配制而成,未接种菌剂。初始垫料Cu、Zn、Cr、Pb含量分别为:23.97、43.92、1.38、13.03 mg·kg⁻¹;传统养殖场距离发酵床养殖基地约200 m,与发酵床养殖基地气候条件、土壤类型一致,附近分布农田、果园,无其他污染源。

分别于2012年11月17日(Ⅰ)、2013年1月19日(Ⅱ)、2013年3月3日(Ⅲ)和2013年4月14日(Ⅳ)用土钻采集发酵床内垫料、垫料下层土壤以及发酵床外和传统养殖场猪舍外0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm深度的垫料或土壤样品(采样点距离猪舍的直线距离约5 m,传统猪场第Ⅰ批样品未采集),每个点设3个重复。样品置于室温、通风处,待风干后用木棒碾碎、球磨仪打磨,过100目尼龙筛,储存备用。

1.2 测定方法及数据处理

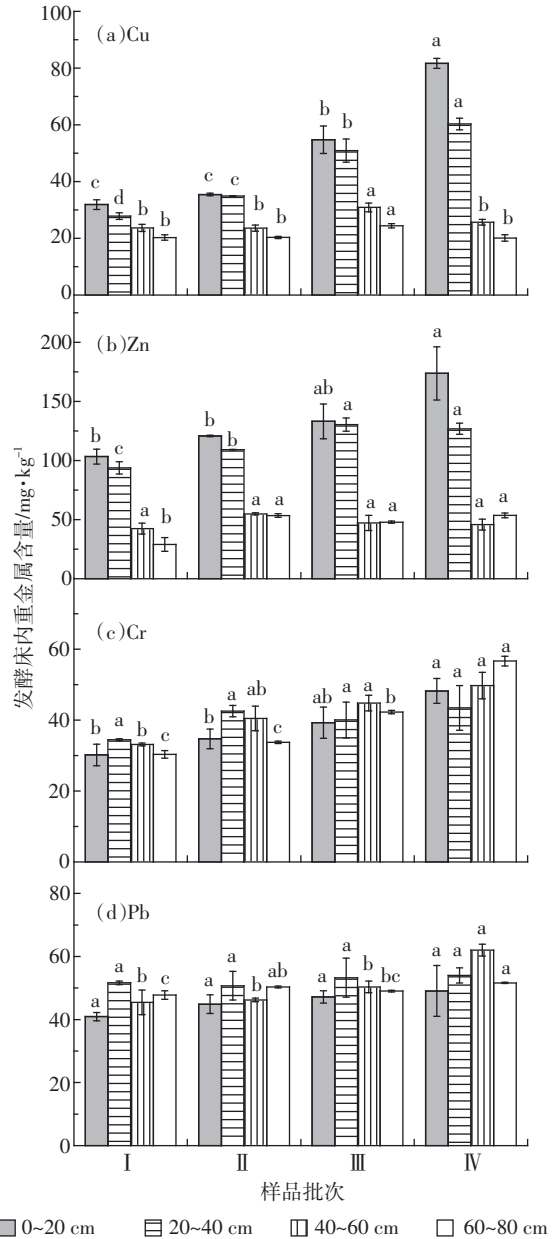
重金属用火焰原子吸收法测定^[13];采用Excel 2003进行数据分析,SPSS18.0统计分析,Origin8.5绘图。

2 结果与分析

2.1 发酵床内垫料和土壤中Cu、Zn、Cr、Pb的含量

由图1(a、b)可知,随着时间的延长,0~20 cm垫料中Cu、Zn含量呈明显增加的趋势,第Ⅳ批垫料中Cu含量达到81.66 mg·kg⁻¹,比第Ⅰ批31.89 mg·kg⁻¹增加156.10% ($P<0.05$),Zn在第Ⅳ批垫料中含量达到173.71 mg·kg⁻¹,比第Ⅰ批103.30 mg·kg⁻¹增加68.15% ($P<0.05$)。由图1(c)可知,Cr在第Ⅳ批垫料中的含量为48.22 mg·kg⁻¹,比第Ⅰ批30.18 mg·kg⁻¹增加了59.76% ($P<0.05$)。如图1(d)所示,Pb在第Ⅳ批0~20 cm垫料层中含量49.06 mg·kg⁻¹,比第Ⅰ批40.93 mg·kg⁻¹增加了19.86%,差异不显著。20~40 cm垫料重金属变化与0~20 cm层次基本一致,第Ⅳ批中Cu、Zn、Cr、Pb与第Ⅰ批相比,分别增加了116.63% ($P<0.05$)、35.22% ($P<0.05$)、26.12%、4.55%;40~60 cm土层Cu和Zn的累积不明显,第Ⅳ批比第Ⅰ批分别增加8.32%和8.02%,均无显著性差异,Cr和Pb第Ⅳ批比

第Ⅰ批分别增加50.19% ($P<0.05$)和36.63% ($P<0.05$)。在60~80 cm土层,Cu含量无显著性变化,Zn有少量的累积,Cr和Pb累积较明显,两者第Ⅳ批比第Ⅰ批分别增加86.62% ($P<0.05$)和8.13% ($P<0.05$)。



同一层次不同小写字母表示在 $\alpha=0.05$ 水平上差异显著。下同
Data with different lowercase letters in the same depth are significantly difference at 0.05 level. The same below

图1 发酵床内垫料和土壤中Cu、Zn、Cr、Pb的含量

Figure 1 Contents of Cu, Zn, Cr and Pb in bio-bed material and soil

2.2 猪舍周边土壤Cu含量

由图2(a、b)可知,发酵床外0~40 cm土层Cu含量呈先升高后下降的趋势,但总体幅度不大,第Ⅳ批

与第Ⅰ批均无显著差异;而传统猪场外0~40 cm土层Cu含量增加趋势明显,其中0~20 cm土层第Ⅳ批 $39.65 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 比第Ⅱ批 $24.49 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加了61.90% ($P<0.05$),20~40 cm土层第Ⅳ批 $46.51 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 比第Ⅱ批 $28.80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加了61.47% ($P<0.05$)。由图2(c、d)显示,在40~80 cm层次,发酵床外土壤Cu含量基本稳定;而传统猪场外土壤Cu含量累积趋势显著,40~60 cm土层第Ⅳ批达 $51.07 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,比第Ⅱ批 $29.48 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加了73.20% ($P<0.05$),60~80 cm土层第Ⅳ批达 $57.44 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,比第Ⅱ批 $28.41 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增

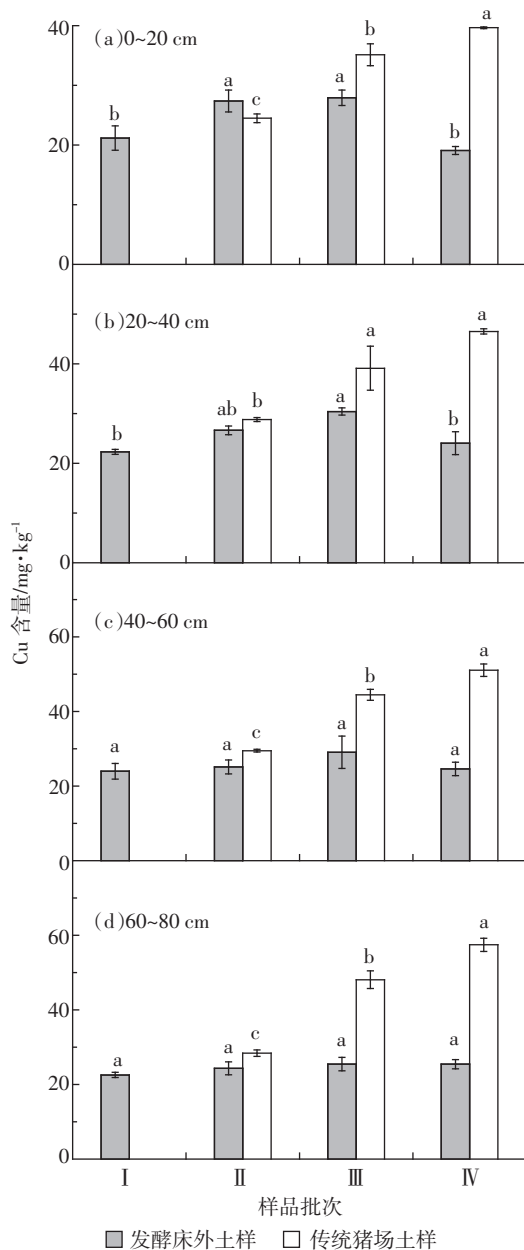


图2 发酵床外和传统猪场土壤样品Cu含量

Figure 2 Content of Cu in soils out of bio-bed and traditional pig raising

加了102.19% ($P<0.05$)。

2.3 猪舍周边土壤Zn含量

由图3(a)可知,在0~20 cm土层,发酵床外土壤Zn含量前三批相对稳定,第Ⅳ批增加明显;而传统猪场外第Ⅲ批Zn的含量比第Ⅱ批增加明显,后期保持稳定。由图3(b、c、d)可知,发酵床外20~80 cm土壤Zn含量有增加趋势,其中,在20~40 cm土层,第Ⅳ批 $60.66 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 比第Ⅱ批 $46.19 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加了31.33% ($P<0.05$),40~60 cm土层第Ⅳ批 $64.86 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 比第Ⅱ批 $48.37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加了34.10% ($P<0.05$),60~80

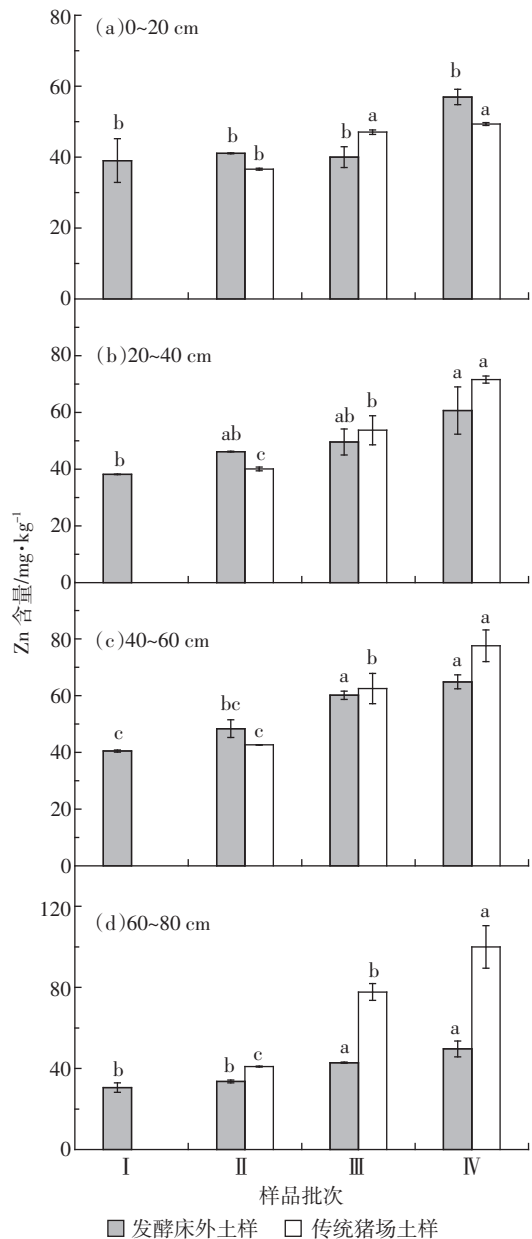


图3 发酵床外和传统猪场土壤样品Zn含量

Figure 3 Content of Zn in soils out of bio-bed and traditional pig raising

cm 土层第Ⅳ批 $49.65 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 比第Ⅱ批 $33.58 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加了 47.87% ($P < 0.05$);传统猪场外土壤 Zn 累积较发酵床外明显,其中,20~40 cm 土层第Ⅳ批 Zn 含量达到了 $71.57 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,比第Ⅱ批 $40.07 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加了 78.63% ($P < 0.05$),40~60 cm 土层第Ⅳ批达 $77.59 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,比第Ⅱ批 $42.65 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加了 81.93% ($P < 0.05$),60~80 cm 土层第Ⅳ批达 $99.96 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,比第Ⅱ批 $40.92 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加了 144.31% ($P < 0.05$)。

2.4 猪舍周边土壤 Cr 含量

由图 4(a)可知,Cr 在 0~20 cm 层次有累积趋势,

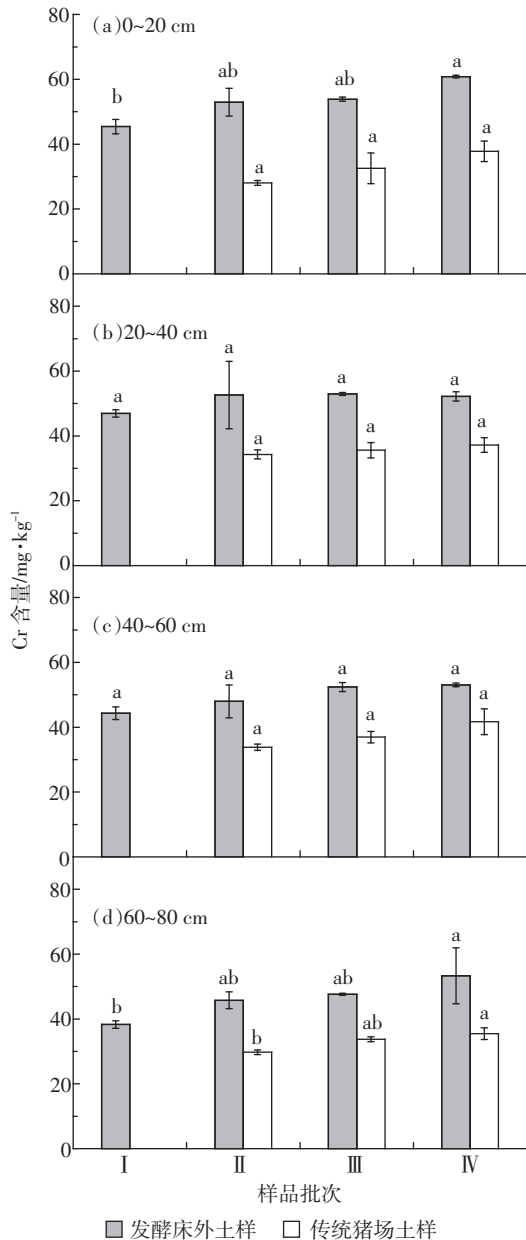


图 4 发酵床外和传统猪场土壤样品 Cr 含量

Figure 4 Content of Cr in soils out of bio-bed and traditional pig raising

发酵床和传统猪舍周边土样第Ⅳ批比第Ⅱ批分别增加了 14.93% 和 34.79% ,差异不显著。由图 4(b,c)可知,发酵床外和传统猪场外 20~60 cm 土壤中 Cr 含量基本稳定;图 4(d)可知,发酵床外和传统猪场 Cr 的含量都有一定的累积,其中发酵床外第Ⅳ批 $53.32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 比第Ⅱ批 $45.78 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加 16.48% ,差异不显著,传统猪场第Ⅳ批 $35.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 比第Ⅱ批 $29.74 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加了 19.21% ($P < 0.05$)。

2.5 猪舍周边土壤中 Pb 的含量

由图 5 可知,发酵床外 0~60 cm 土层 Pb 含量累

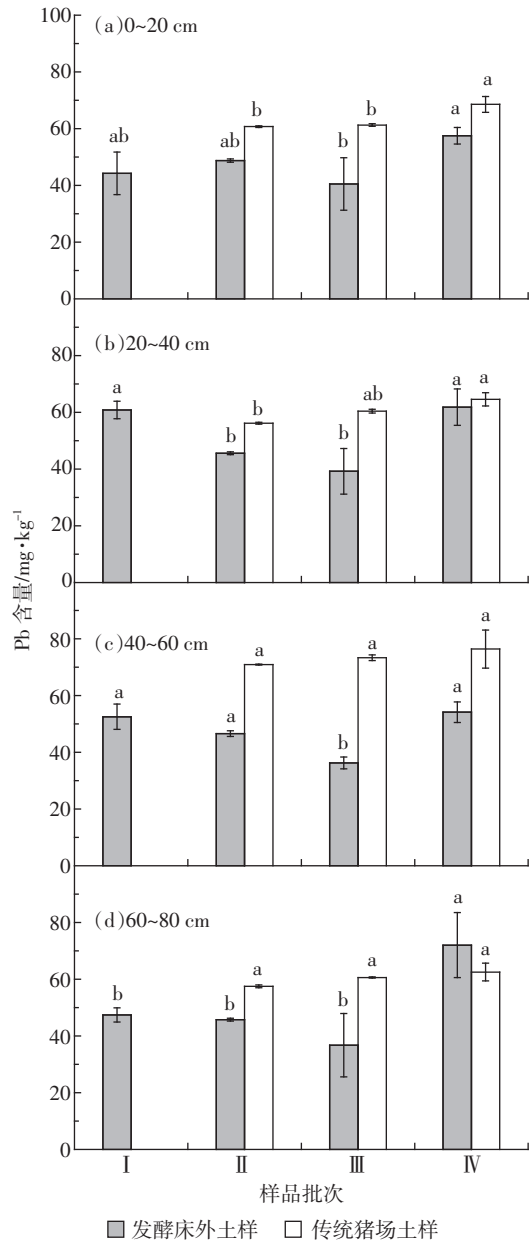


图 5 发酵床外和传统猪场土壤样品 Pb 含量

Figure 5 Content of Pb in soils out of bio-bed and traditional pig raising

积不明显,在60~80 cm层次有一定的累积,第Ⅳ批 $72.02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 比第Ⅱ批 $45.76 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加了57.39% ($P < 0.05$);传统猪场0~80 cm有累积趋势,在0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm和60~80 cm分别增加了12.95% ($P < 0.05$)、14.99% ($P < 0.05$)、7.69%和8.77%。

3 讨论

发酵床养殖方式的重金属污染主要来自猪粪尿,随时间的推移,重金属在垫料中有累积的趋势。张霞等^[6]研究表明,随着垫料使用时间的增加,垫料内重金属有明显的累积,使用7年垫料内的重金属含量明显高于使用2年的垫料;陆扬等^[7]研究发现,发酵床垫料在连续饲养两批育肥猪后,Cu的含量显著升高;刘向明^[8]研究表明,不同使用年份的垫料,有效态Cu、Zn、Pb随使用年限的增加而显著增加;谢忠雷^[10]等研究发现,猪粪尿在自然堆放的条件下,Cu、Zn可从粪便向底土迁移,迁移量与粪尿中重金属的含量正相关;张树清等^[11]研究表明,规模化养殖畜禽粪便可以导致土壤的重金属含量提高,尤其是土壤Cu、Zn、Cr、As的含量,都高于正常的土壤。

本研究发现Cu、Zn、Cr、Pb在垫料中有明显的累积,与前人研究结论一致^[6-8,10-11]。Cu、Zn、Cr、Pb在0~40 cm垫料层含量第Ⅳ批比第Ⅰ批累积量(指不同批次同一层次中重金属含量之间的差值)分别为41.23、51.73、13.52 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和5.23 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加幅度分别达137.70%、52.48%、41.83%和11.32%,育肥猪的过程中,可能是因为饲料中添加较多的Cu、Zn,使粪尿中Cu、Zn含量较高^[12],从而使垫料中Cu、Zn累积较Cr、Pb更加明显。发酵床内40~80 cm土层Cu、Zn、Cr、Pb第Ⅳ批比第Ⅰ批累积量分别为0.91、13.97、21.46、10.26 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加幅度分别为4.15%、39.11%、67.61%和22.02%,其中,Cr在40~80 cm土层的累积较明显,说明垫料对于Cr的固定作用较Cu、Zn和Pb小,试验发现各批次样品pH均在7.56~8.01之间(具体数值未列出),呈弱碱性环境,可能是因为弱碱性环境对Cu、Zn和Pb的固定作用强于Cr^[14],使Cu、Zn和Pb不易向下层土壤迁移。

对发酵床和传统养殖方式的周边土壤进行连续定点采样分析,在0~20 cm层次,发酵床外与传统猪场外土壤重金属含量变化不明显或者有一定的波动,可能是由于外界环境因素所致;对于Zn、Cr和Pb而言,发酵床养殖方式对环境的影响主要集中在20 cm以下的土壤,Cu几乎没有增加的趋势。将第Ⅳ批与第

Ⅱ批20~80 cm土层比较,发酵床养殖方式对Cu、Zn、Cr、Pb累积量分别为-0.66、15.68、4.06、25.06 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加幅度分别为-2.60%、36.71%、8.33%和36.34%;传统猪场外土壤样品累积量分别达22.77、41.83、5.50、6.30 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加幅度达78.80%、101.50%、16.87%和4.71%。因此,从对周边土壤重金属影响的角度看,与传统养殖方式相比,发酵床养殖方式的环境影响较小。另外,发酵床养殖方式将绝大部分的污染物累积在垫料层,通过添加调理剂、钝化剂等,稀释、钝化垫料中的重金属,经无害化处理可将垫料转变为符合国家标准农用的有机肥,从而实现对垫料的资源化利用^[15-18],减少粪便对环境造成的污染。

4 结论

本试验表明,在养殖过程中随着时间的推移,发酵床垫料中的Cu、Zn、Cr、Pb有明显的累积,其中,在0~20 cm和20~40 cm垫料层的累积较为明显;发酵床养殖对周边土壤Cu、Zn、Cr的污染明显低于传统的养殖方式,对降低环境中重金属污染的效果显著。

参考文献:

- [1] Fischer G, Ermolieva T, Sun L X. Environmental pressure from intensification of livestock and crop production in China: Plausible trends towards 2030[R]. Amsterdam: CATSEI, 2010. 1-29.
- [2] 仇焕广,廖绍攀,井月,等.我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析[J].环境科学,2013,34(7):2766-2774.
QIU Huan-guang, LIAO Shao-pan, JING Yue, et al. Regional differences and development tendency of livestock manure pollution in China[J]. *Environmental Science*, 2013, 34(7):2766-2774.
- [3] 郭祥军.生物发酵床养猪方法实践[J].恩施职业技术学院学报(综合版),2011,23(3):75-77.
GUO Xiang-jun. Methods of pig bio-bed practice[J]. *Journal of Enshi Technical College (Comprehensive Edition)*, 2011, 23(3):75-77.
- [4] 王华,刘志刚,唐新桥,等.发酵床式生态养猪技术[J].湖南畜牧兽医,2009,1:21-24.
WANG Hua, LIU Zhi-gang, TANG Xin-qiao, et al. The eco-method of pig-on-litter system[J]. *Hunan Journal of Animal Science & Veterinary Medicine*, 2009, 1:21-24.
- [5] Tam N F Y, Vrijmoed L L P. Effects of the inoculums size of commercial bacterial product and the age of sawdust bedding on pig waste decomposition in a pig-on-litter system[J]. *Waste Management*, 1993, 11(2):107-115.
- [6] 张霞,顾洪如,杨杰,等.猪发酵床垫料中氮、磷、重金属元素含量[J].江苏农业学报,2011,27(6):1414-1415.
ZHANG Xia, GU Hong-ru, YANG Jie, et al. Contents of total nitrogen, total phosphorus and heavy metal elements in padding of pig-on-litter system[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Science*, 2011, 27(6):1414-

- 1415.
- [7] 陆 扬, 吴淑杭, 周德平, 等. 发酵床养猪垫料的养分转化与植物毒性研究[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(7): 1409–1412.
- LU Yang, WU Shu-hang, ZHOU De-ping, et al. Nutrition transformation and phytotoxicity of pig litters under pig-on-litter (POL) system[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(7): 1409–1412.
- [8] 刘向明. 猪场生物发酵床垫料卫生研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.
- LIU Xiang-ming. The hygiene research on piggery bio-fermentation litter[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2012.
- [9] 张 霞, 杨 杰, 李 健, 等. 猪发酵床不同原料垫料重金属元素累积特性研究[J]. 农业环境科学学报 2013, 32(1): 166–171.
- ZHANG Xia, YANG Jie, LI Jian, et al. Accumulated characteristics of heavy metals in different pig bio-bed materials[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(1): 166–171.
- [10] 谢忠雷, 朱洪双, 李文艳, 等. 吉林省畜禽粪便自然堆放条件下粪便/土壤体系中 Cu、Zn 的分布规律[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(11): 2279–2284.
- XIE Zhong-lei, ZHU Hong-shuang, LI Wen-yan, et al. Distribution of Cu and Zn in system of animal manures/excrement-subsoil under natural stacking of animal manures in Jilin, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(11): 2279–2284.
- [11] 张树清, 张夫道, 刘秀梅, 等. 规模化养殖畜禽粪主要有害成分测定分析研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(6): 822–829.
- ZHANG Shu-qing, ZHANG Fu-dao, LIU Xiu-mei, et al. Determination and analysis on main harmful composition in excrement of scale live-stock and poultry feedlots[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(6): 822–829.
- [12] 吴大伟, 李亚学, 吴 萍, 等. 规模化猪场育肥猪饲料、猪肉及粪便中重金属含量调查[J]. 畜牧与兽医, 2012, 44(4): 38–40.
- WU Da-wei, LI Ya-xue, WU Ping, et al. Investigation on heavy metal content in pig feed, pork and feces of breeding swine[J]. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2012, 44(4): 38–40.
- [13] 国家环境保护局, 国家技术监督局. GB15168—1995 土壤环境质量标准[S]. 北京: 1995.
- Ministry of Environment Protection of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China(AQSIQ). GB15168—1995 Environmental quality standard for soils[S]. Beijing: 1995.
- [14] 刘辉利, 邹凯旋, 朱义年. pH 对重金属污泥稳定化固化处理工艺的影响研究[C]//中国环境科学学会学术年会优秀论文集. 苏州: 中国环境科学学会, 2006: 2861–2864.
- LIU Hui-li, ZOU Kai-xuan, ZHU Yi-nian. Effect of pH on heavy metal sludge stabilization/solidification influence of process[C]//The excellent papers of Chinese society for environmental sciences. Suzhou: Chinese Society for Environmental Sciences, 2006: 2861–2864.
- [15] 李 娟. 发酵床不同垫料筛选及其堆肥化效应的研究 [D]. 山东农业大学硕士学位论文, 2012.
- LI Juan. Study on the selection of different litter ratio in deep-litter system and its effects on aging litter composting[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2012.
- [16] 蓝江林, 刘 波, 宋泽琼, 等. 微生物发酵床养猪技术研究进展[J]. 生物技术进展, 2012, 6(2): 411–416.
- LAN Jiang-lin, LIU Bo, SONG Ze-qiong, et al. Advances in research of microbial fermentation bed in pig farming[J]. *Current Biotechnology*, 2012, 2(6): 411–416.
- [17] Tiquia S M, Tam N F Y. Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge[J]. *Biore-source Technology*, 1998, 65: 43–49.
- [18] 胡海燕, 于 勇, 张玉静, 等. 发酵床养猪废弃垫料的资源化利用评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 252–258.
- HU Hai-yan, YU yong, ZHANG Yu-jing, et al. Evaluation on resource utilization of litters in pig-on-litter farming system[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2013, 19(1): 252–258.