

不同养猪模式对土壤 As 累积的影响

马 晗^{1,2}, 郭海宁^{1,2}, 郑凯琪¹, 李买军¹, 尹微琴^{1,2}, 王小治^{1,2*}, 封 克^{1,2}, 顾洪如³

(1.扬州大学环境科学与工程学院, 江苏 扬州 225127; 2.江苏省有机固体废弃物资源化协同创新中心, 南京 210095; 3.江苏省农业科学院畜牧研究所, 南京 210014)

摘要:通过对不同深度层次的发酵床垫料、垫料下土壤、发酵床外土壤和传统猪场外的土壤样品进行连续分析测定,比较了不同养殖模式下 As 的累积状况及对周边环境的影响情况。结果表明:发酵床垫料使用近 1 年后,As 在 0~20、20~40 cm 垫料层中存在明显的累积,累积量分别达 7.5、6.7 mg·kg⁻¹,存在向垫料下层土壤迁移的风险,且 As 在垫料下土壤中浓度的增加量高于发酵床外同深度的土壤($P<0.05$);废弃垫料中 As 的浓度在 11.5~12.0 mg·kg⁻¹ 之间,符合我国有机肥料农业行业标准,可以适当处理后进行农利用;发酵床养殖模式对周边土壤中 As 累积的影响低于传统养猪模式。

关键词:发酵床养猪;传统养猪;垫料;土壤;砷

中图分类号:X713 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2014)10-2042-05 doi:10.11654/jaes.2014.10.023

Influence of Different Pig-raising Patterns on Soil As Accumulation

MA Han^{1,2}, GUO Hai-ning^{1,2}, ZHENG Kai-qi¹, LI Mai-jun¹, YIN Wei-qin^{1,2}, WANG Xiao-zhi^{1,2*}, FENG Ke^{1,2}, GU Hong-ru³

(1.College of Environmental Science and Engineering, Yangzhou University, Jiangsu 225127, China; 2.Jiangsu Collaborative Innovation Center for Solid Organic Waste Resource Utilization, Nanjing 210095, China; 3.Institute of Animal Science, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: Increasing use of feeding additives in large scale pig farms has caused environmental and food safety concerns. Here we investigated soil As accumulation under different pig-raising methods. Arsenic concentrations in bio-bed litters and soils below litters (BL), from out of bio-bed (OBB) and from out of traditional pig farm (TPF) were continuously monitored. Significant accumulation of As in litter layers occurred after one year of pig-raising, and As concentration was 7.5 mg·kg⁻¹ and 6.7 mg·kg⁻¹ in 0~20 cm and 20~40 cm layers, respectively. Moreover, As had a potential to move down to 40~80 cm in the soil below litters. The accumulation of As in the BL soils was higher than that in OBB soils ($P<0.05$). Arsenic concentrations in waste litters varied between 11.5 mg·kg⁻¹ and 12.0 mg·kg⁻¹, which met the China's organic fertilizer agriculture standards. Bio-bed raising mode had less impact on As accumulation in surrounding soils than traditional raising method.

Keywords: bio-bed raising method; traditional raising; litters; soil; As

自 20 世纪 80 年代以来,畜禽养殖业得到快速发展,畜禽养殖由分散的农户养殖向集约化、工厂化、规模化的养殖方式转变^[1]。与此同时,人们为了提高动物生产水平和饲料转化效率,在饲养过程中大量使用抗

生素、高铜高锌、砷制剂等饲料添加剂来提高经济效益^[2-3]。因此,动物消化吸收后仍有大量残留随粪便排出体外,污染周边水土环境;同时肉制品也存在威胁人类健康的风险,使食品安全问题凸显^[4]。由于砷及其化合物可以随饮用水、蔬菜、粮食进入人体,与细胞中的酶系统结合,使许多酶失去生物活性而被抑制造成代谢障碍,严重的会产生剧烈腹痛、腹泻、恶心、呕吐,抢救不及时还会造成死亡,土壤中 As 的累积也越来越被人们所关注^[5]。发酵床养殖是一种基于控制畜禽粪便排放的养殖模式^[6],粪尿在垫料中发酵分解,最终

收稿日期:2014-04-23

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金(CX(12)1001-6);江苏省苏北科技发展计划(BN2012027);江苏省三新工程(SXGC[2013]369)

作者简介:马 晗(1990—),男,江苏泰兴人,硕士研究生,主要从事固体废物处理及资源化方面的研究。E-mail:jsyzxmahan@126.com

* 通信作者:王小治 E-mail:xzwang@yzu.edu.cn

通过资源化利用手段来处理废弃垫料,可有效减少粪便向环境的直接排放,缓解环境压力。为实现养猪业及生态农业可持续循环发展,对当下常见的传统水泥地面养殖模式及发酵床养殖模式进行比较研究,选取对养殖效益更好、对环境影响更小的养殖模式显得尤为重要。

目前,国内许多省份都在开展发酵床生态养猪的推广示范及相关研究,多集中在改善猪的福利、提高猪肉品质、改良猪舍结构等^[7-8]方面,但关于发酵床养殖模式对周边地下水、土壤环境、垫料中 As 累积及下渗迁移情况尚缺乏系统报道。本研究以 As 在传统养猪场和发酵床养猪场外土壤中的累积情况为切入点,探讨不同养猪模式下 As 对土壤环境的影响,比较不同养殖模式的环境效应;通过研究发酵床垫料中 As 的富集情况,对废弃垫料的资源化利用价值进行评估,对重金属累积是否存在环境污染等一系列问题进行验证,为全面准确评价发酵床技术对环境的影响提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验样品的采集

样品采集地点为江苏省泗阳县天蓬养猪场,猪场于 2009 年建成使用,年出栏量约为 1 万头。在 2012 年对猪场进行改建,部分猪舍改用“零排放”的发酵床养殖模式,发酵床猪舍每栋有 4 栏,栏内的垫料层深度约为 40 cm。初始垫料由木屑与稻壳按 1:1 的比例配制而成,未接种菌剂,初始垫料中 As 含量为 $2.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;传统水泥地面养殖猪舍距离发酵床养殖猪舍约 200 m,与发酵床养殖基地气候条件、土壤类型一致,无其他工业污染源。天蓬猪场使用的饲料中 As 含量为 $6.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

该猪场于 2012 年 9 月底更换新一批垫料,随后猪舍内即上猪进行养殖。本试验中,用土钻采集天蓬猪场内正常使用的垫料样品,分别于 2012 年 11 月 17 日(0 d)、2013 年 1 月 19 日(63 d)、3 月 3 日(106 d)、5 月 24 日(188 d)、7 月 5 日(230 d)、8 月 25 日(274 d)以及 10 月 16 日(326 d)将近 1 年时间内共采集 7 批样品。包括发酵床养殖栏内 0~20 cm 和 20~40 cm 垫料以及垫料下 40~60 cm 和 60~80 cm 土壤,分别采集 3 个育肥猪舍养殖栏内的样品作为 3 个重复;发酵床外和传统养殖场猪舍外 0~20、20~40、40~60、60~80 cm 深度的土壤样品(猪场外土壤均未人为施用猪粪便或发酵床废弃垫料,采样点距离猪舍的直线

距离均约 5 m,传统猪场在 2012 年 11 月 17 日时的样品未采集),每个点设 3 个重复。样品风干后用木棒碾碎、球磨机粉碎,过 100 目筛,储存备用。

1.2 测定方法及数据处理

As 采用王水沸水浴消解-氢化物发生原子吸收光谱法进行测定。测定仪器为扬州大学测试中心提供的 AFS-2202a 型双道原子荧光光度计(北京万拓仪器有限公司)。试验过程中使用原冶金部天津地质研究院研制的土壤成分分析标准物质 GBW(E)070007 进行标样控制,测得的标样回收率在 86.3%~98.2% 之间。数据分析和统计分析分别采用 Excel 2003 和 SPSS 18.0 软件,统计分析采用的是 *t* 检验方法,用 Origin 8.5 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 传统猪场外土壤中 As 含量变化

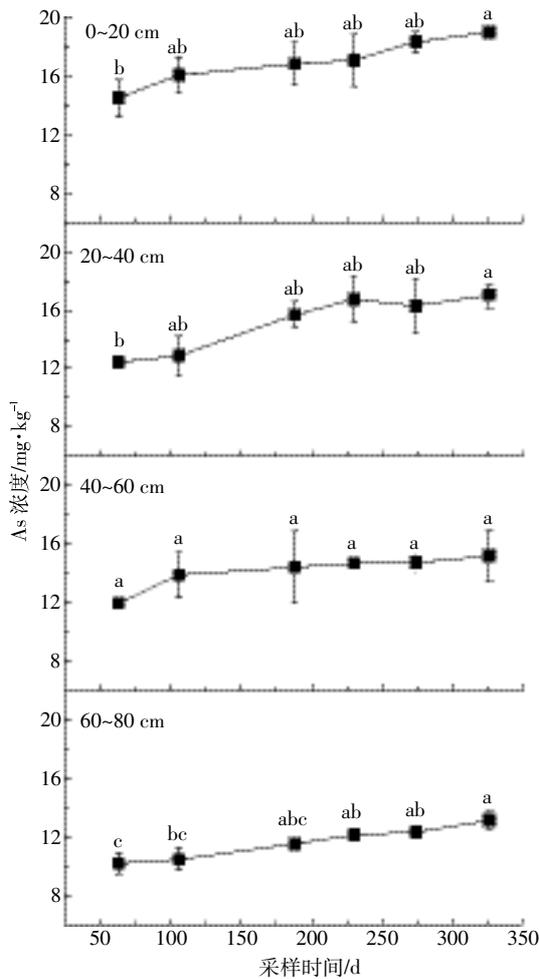
由图 1 可知,在各个深度层次,随着时间的推移,As 含量均呈现不断增大的趋势。其中在 0~20 cm 层中,从第 63 d 时的 $14.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加到 $19.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增幅达 31.0%;20~40 cm 层中,As 从 $12.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加到 $17.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加了 36.0%,且在第 106 d 到第 230 d 时增加较快;在 40~60 cm 和 60~80 cm 层,As 分别从 11.9 、 $10.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增至 15.2 、 $13.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增幅分别为 27.7%和 29.4%;除 40~60 cm 层外,其他 3 个深度层次的土壤中 As 含量在 326 d 时均与最初的样品之间存在显著性差异($P < 0.05$)。

2.2 发酵床外土壤中 As 含量变化

由图 2 可知,随着时间的推移,发酵床猪场外各深度层土壤中 As 浓度呈现不断增大的趋势。在 0~20 cm 和 20~40 cm 土层,As 分别从 14.3 、 $12.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加到 16.3 、 $14.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,分别增加了 14.0%、18.3%,但不同时间采集的这两个土层的样品均无显著性差异($P > 0.05$);40~60 cm 和 60~80 cm 土层中,As 分别从 11.6 、 $10.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加到 13.3 、 $12.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增幅分别为 14.7%、23.0%,且经过 326 d 累积后与原先的土壤样品存在显著性差异($P < 0.05$)。

2.3 发酵床内垫料及下层土壤中 As 含量变化

由图 3 可知,随着垫料使用时间的延长,垫料及下层土壤中 As 含量均呈现不断增加的趋势。在 0~20 cm 和 20~40 cm 的垫料层,As 分别从 4.4 、 $4.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 显著增加到 12.0 、 $11.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($P < 0.05$),增幅高达 172.7%、150.0%;而在 40~60 cm 和 60~80 cm 土层中,各样品之间 As 含量无显著差异($P > 0.05$),分别从



同一深度层次中不同字母表示不同采样时间的统计分析结果达 0.05 显著水平。下同

Different letters indicate that As in the same depth is significantly different at different sampling times at 0.05 levels. The same below

图 1 传统猪场外土壤中 As 变化

Figure 1 Changes in As concentrations in soils outside of traditional pig farm

10.3、10.3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增加到 13.0、12.5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,增幅分别为 26.2%和 21.4%。

2.4 不同土壤中 As 含量变化比较

由于第一次采样时(0 d)没采集到传统猪场外土壤样品,表 1 所列的增幅和累积浓度均为第 326 d 与第 63 d 比较的结果,目的是对比同等时间跨度下 As 浓度的变化情况。由表 1 可知,在各个深度层,传统猪场外土壤中 As 的增加趋势和浓度增加量均显著高于发酵床猪场外的土壤($P<0.05$);在 40~60 cm 和 60~80 cm 两个深度的土层,发酵床内垫料下土壤中 As 浓度的增幅量要高于发酵床外同深度层的土壤,且在 $P<0.05$ 水平下差异显著。

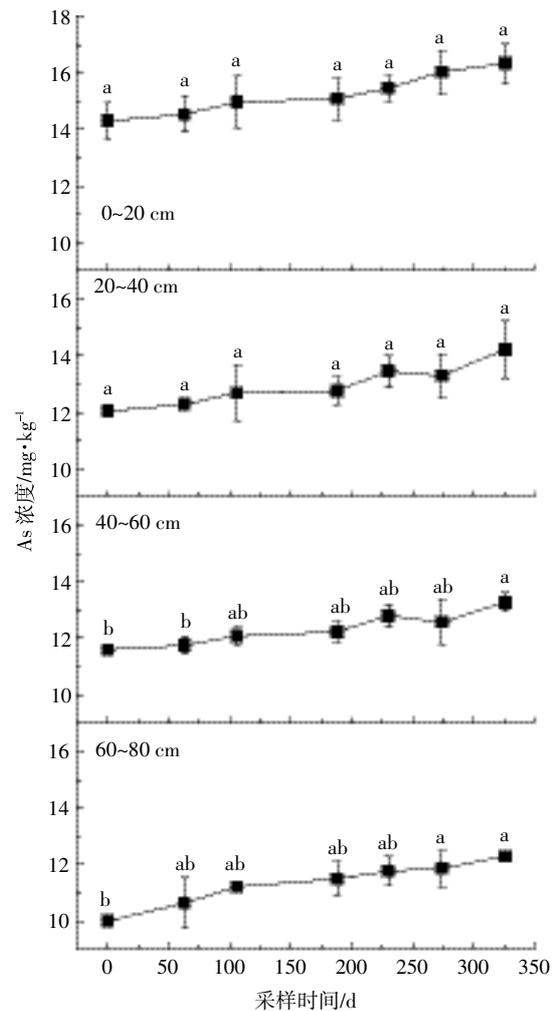


图 2 发酵床外土壤中 As 变化

Figure 2 Changes in As concentrations in soils outside of bio-bed

3 讨论

发酵床养殖模式下,猪的所有生命活动都在垫料上进行,垫料中 As 含量的高低直接影响其对环境 的污染程度和能否实现资源化利用^[9]。随着垫料使用时间的延长,垫料中 As 的含量不断增加。李买军等^[10]研究表明,发酵床垫料在养殖过程中随着时间的推移,垫料中的 Cu、Zn、Cr、Pb 有明显的累积;张霞等^[11]研究发现,使用 7 年的垫料中重金属、全氮、全磷含量均高于使用 2 年的垫料;张媛媛等^[12]研究发现,垫料使用 1 年后,As 的富集量达到 2.86 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。在本试验中,发酵床猪舍内 0~20 cm 和 20~40 cm 垫料层 As 含量分别从 4.4、4.6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增加到 12.0、11.5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,累积量超出张媛媛等的研究结果。这是由于规模化猪场使用的饲料中富含各种添加剂,在高强度、高密度的养殖过程中,猪采食饲料后高浓度的 As 随粪便直接排

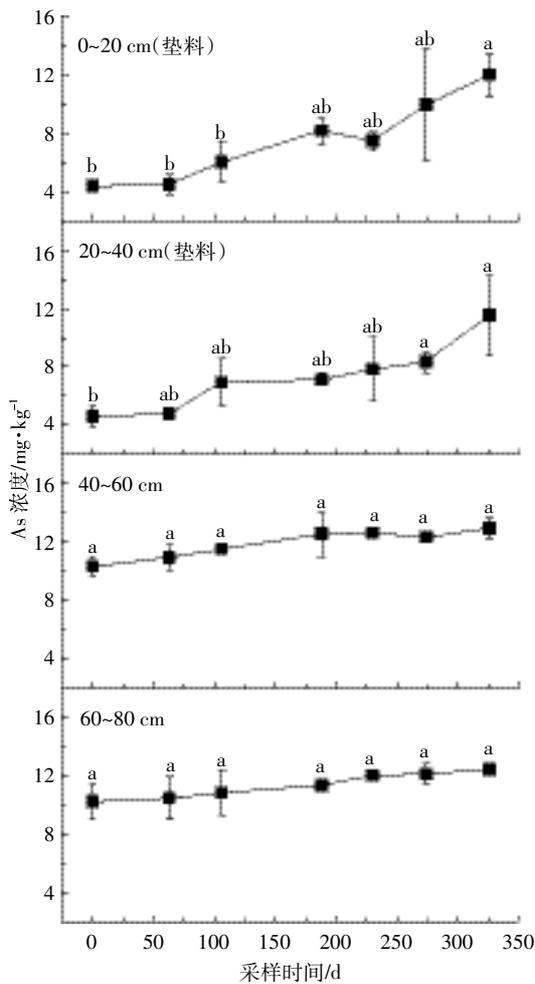


图 3 发酵床内垫料及其下层土壤中 As 变化

Figure 3 Changes in As concentrations in pig litters and soils below

入垫料导致大量累积,因而存在向深层地下水渗透迁移的潜在风险,严重危害地下水环境,可能间接通过农作物、动物威胁人类的健康。尽管发酵床养殖模式下垫料中累积了大量的 N、P、重金属、四环素类抗生素等有害物质^[13],但我们可以通过更换垫料并对其进行无害化处理来减少对环境的影响,从而实现废

弃垫料的再利用^[14]。在 2013 年 10 月 16 日最后一次采集样品后,泗阳发酵床猪场对垫料进行更换,废弃垫料 As 含量在 11.5~12.0 mg·kg⁻¹ 之间,低于我国有机肥料农业行业标准(NY 525—2012)^[15]规定的 15.0 mg·kg⁻¹,符合废弃垫料的资源化利用要求。另外,研究还发现垫料下 40~60 cm 和 60~80 cm 土壤中 As 浓度的增幅高于发酵床外同深度层的土壤。赵兴敏等^[16]研究认为 As 的迁移速率与 pH 值正相关,垫料 pH 呈弱碱性^[17],为 As 提供了良好的迁移条件,而且猪粪中 As 移动性高,更容易通过垫料向下迁移。因此,随着猪粪便不断排放,垫料中高残留的 As 更容易向下层土壤迁移,对下层土壤存在一定的环境风险,有必要采取适当措施防止 As 下渗,保护深层水土环境不受污染。

对发酵床外和传统猪场外土壤进行比较分析,发现在 4 个不同深度层,传统猪场外土壤中 As 浓度的增加量分别为 4.5、4.5、3.3、3.0 mg·kg⁻¹,均高于发酵床猪场外土壤。这主要是因为传统猪场未能按照要求对粪便进行综合有效处理,粪便发酵罐也未能正常运行,且随意向周边深挖排放的现象仍然时有发生,导致周边土壤中 As 含量明显累积,对农作物的生长与食品安全同样存在一定的风险。由此可见,单从 As 的角度考虑,传统养猪场周边土壤环境中 As 的累积量要大于发酵床养猪场,其对猪场周边土壤环境的影响要超过发酵床养猪场。对于其他污染因子(抗生素类物质、N、P 等)的环境影响则有待进一步研究,以便对发酵床养殖模式的综合环境效应作出更客观的评价。

4 结论

研究表明,发酵床垫料经过将近 1 年的使用,As 在 0~20 cm 和 20~40 cm 垫料中存在明显的累积,其累积浓度分别达 7.5、6.7 mg·kg⁻¹,并存在向垫料下层 40~80 cm 土壤迁移的风险,且 As 在垫料下土壤中

表 1 不同样品中 As 浓度变化情况

Table 1 Changes in As concentrations in different samples

深度/cm	传统猪场外土壤		发酵床外土壤		发酵床内垫料及土壤	
	增幅/%	累积浓度/mg kg ⁻¹	增幅/%	累积浓度/mg kg ⁻¹	增幅/%	累积浓度/mg kg ⁻¹
0~20	31.0	4.5ab	12.4	1.8b	167.4	7.5a
20~40	36.0	4.5b	15.8	1.9c	140.1	6.7a
40~60	27.7	3.3a	12.9	1.5c	18.1	2.0b
60~80	29.4	3.0a	15.5	1.6c	18.7	2.0b

注:表中的累积浓度指的是样品中浓度的增加量;同行不同字母表示统计分析结果达 0.05 显著水平。

Note: Cumulated As concentrations refer to the increments of As concentration over the initial ones. Different letters in the same row indicate significant differences in different samples at 0.05 levels.

的浓度增加量高于发酵床外同深度层的土壤。使用一年多的废弃垫料中 As 的浓度符合我国有机肥料农业行业标准, 发酵床养殖模式对周边土壤中 As 的影响低于传统养猪模式, 因而有利于缓解畜禽粪便带来的环境问题。

参考文献:

- [1] 张树清, 张夫道, 刘秀梅, 等. 规模化养殖畜禽粪主要有毒成分测定分析研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(6): 116-123.
ZHANG Shu-qing, ZHANG Fu-dao, LIU Xiu-mei, et al. Determination and analysis on main harmful composition in excrement of scale livestock and poultry feedlots[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(6): 116-123.
- [2] Dove C R. The effect of copper level on nutrient utilization of weanling pigs[J]. *Journal of Animal Science*, 1995, 73(1): 166-171.
- [3] 王幼明, 王小龙. 高铜的应用对畜禽的慢性中毒作用及对环境生态的影响[J]. 中国兽医杂志, 2001, 37(6): 36-38.
WANG You-ming, WANG Xiao-long. Chronic and toxic effect of high copper on animal and the impact on the ecological environment[J]. *China Veterinary Journal*, 2001, 37(6): 36-38.
- [4] 赵 珺, 佟 岩. 应用饲料添加剂与保障动物食品安全的相关分析[J]. 长春大学学报, 2006, 16(4): 105-107.
ZHAO Jun, TONG Yan. The relative analysis of the safe of animal food and the feed additive[J]. *Journal of Changchun University*, 2006, 16(4): 105-107.
- [5] 潘月华, 白利珊. 从砷的分布结构特性探讨其作用与危害[J]. 微量元素与健康研究, 2013, 30(5): 71-73.
PAN Yue-hua, BAI Li-shan. To explore the effect and harm from the distribution, structure, property of arsenic[J]. *Studies of Trace Elements and Health*, 2013, 30(5): 71-73.
- [6] 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.
- [7] 王 诚, 张 印, 王怀忠, 等. 发酵床饲养模式对猪舍环境、生长性能、猪肉品质和血液免疫的影响[J]. 山东农业科学, 2009(11): 110-112.
WANG Cheng, ZHANG yin, WANG Huai-zhong, et al. The impact on piggery environment, growth performance, meat quality and blood immunity of fermentation bed feeding mode[J]. *Shandong Agricultural Science*, 2009(11): 110-112.
- [8] 韩艳云, 叶胜强, 陈 洁, 等. 夏季发酵床模式与改进水泥地面模式生猪饲养效果比较[J]. 家畜生态学报, 2011, 32(4): 89-92.
HAN Yan-yun, YE Sheng-qiang, CHEN Jie, et al. Comparison on feeding effect of pigs housed in a deep-litter system and an improved cement ground system during summer[J]. *Acta Ecologiae Animalis Domastici*, 2011, 32(4): 89-92.
- [9] 郭 彤, 马建民, 赵曾元, 等. 不同使用时间和深度的发酵床垫料成分及重金属沉积规律的研究[J]. 中国畜牧杂志, 2013, 49(10): 51-55.
GUO Tong, MA Jian-min, ZHAO Zeng-yuan, et al. Studies on composition and heavy metal deposition of different using time and depth of the litters[J]. *Journal of Chinese Animal Science*, 2013, 49(10): 51-55.
- [10] 李买军, 马 晗, 郭海宁, 等. 发酵床养猪对土壤重金属含量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(3): 520-525.
LI Mai-jun, MA Han, GUO Hai-ning, et al. Effect of bio-bed pig raising on heavy metal contents in soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(3): 520-525.
- [11] 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): 414-415.
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 Agriculture Science*, 2011, 27(6): 414-415.
- [12] 张媛媛, 胡启蒙, 刘春燕, 等. 发酵床养猪垫料重金属含量变化[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2013, 31(4): 23-29.
ZHANG Yuan-yuan, HU Qi-meng, LIU Chun-yan, et al. Changes of heavy metal content in the pad mode from abandoned litters of feeding pigs[J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science)*, 2013, 31(4): 23-29.
- [13] 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.
- [14] Tiquia S M, Tam N F Y. Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge[J]. 1998, 65(1-2): 43-49.
- [15] NY 525—2012 有机肥料[S].
NY 525—2012 Organic Fertilizer[S].
- [16] 赵兴敏, 董德明, 花修艺, 等. Cr(VI)和As(V)在东北地区不同类型土壤中的迁移特征研究[J]. 土壤通报, 2010, 41(5): 1203-1206.
ZHAO Xing-min, DONG De-ming, HUA Xiu-yi, et al. Transport characteristics of Cr(VI) and As(V) in different types of soils in Northeast China[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2010, 41(5): 1203-1206.
- [17] 焦洪超, 栾炳志, 宋志刚, 等. 发酵床养猪垫料基础参数变化规律研究[J]. 中国兽医学报, 2013, 33(10): 1610-1614.
JIAO Hong-chao, LUAN Bing-zhi, SONG Zhi-gang, et al. Study on the basic parameters of litters in fermenting bed system of pig production[J]. *China Veterinary Journal*, 2013, 33(10): 1610-1614.