

山东省规模化猪场猪粪及配合饲料中重金属含量研究

潘 寻¹, 韩 哲², 贲伟伟³

(1. 环保部环境保护对外合作中心, 北京 100035; 2. 山东省科学院新材料研究所, 济南 250014; 3. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘 要:对山东省 21 家规模化猪场夏、冬两季共 126 个猪粪样品及 18 个配合饲料样品中多种重金属(Cr、Cu、Zn、As、Cd 和 Pb)的含量进行了检测。结果表明,猪粪中 Cr、Cu、Zn、As、Cd、Pb 的平均检出值分别为 12.3、472.8、1 908.6、36.5、0.9、2.9 mg·kg⁻¹。不同猪群粪便中重金属含量存在一定差异,小猪猪粪中 Cu、Zn、Cd 含量最高,而 Cr、As 分别在种猪猪粪及育肥猪猪粪中的含量最高。除 Cr 外,其他 5 种重金属在冬季样品中的含量均高于夏季样品。猪配合饲料中 As、Cu、Zn 的最大检出值分别为 34.1、211.9、2 883.1 mg·kg⁻¹,超过国家标准规定最高添加量的 17~35 倍,是猪粪中重金属的主要来源。参考相关腐熟堆肥中重金属的限量标准,所调查的猪粪样品若用于堆肥,将导致堆肥产品重金属含量严重超标。因此,必须严格控制猪配合饲料中重金属的添加,以减少猪粪中的重金属含量,降低使用猪粪作为肥料带来的生态环境危害及农产品安全风险。

关键词:重金属;规模化猪场;饲料;猪粪

中图分类号:X835 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2013)01-0160-06 doi:10.11654/jaes.2013.01.023

Heavy Metal Contents in Pig Manure and Pig Feeds from Intensive Pig Farms in Shandong Province, China

PAN Xun¹, HAN Zhe², BEN Wei-wei³

(1. Foreign Economic Cooperation Office, Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, Beijing 100035, China; 2. New Material Institute of Shandong Academy of Sciences, Jinan 250014, China; 3. Research Center of Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: The contents of heavy metals (Cr, Cu, Zn, As, Cd and Pb) in a total of 126 pig manure samples and 18 pig feeds samples, which were collected from 21 intensive pig farms in Shandong Province during summer and winter, were analyzed. The results indicated that the six target heavy metals were detected at concentrations of 12.3 (Cr) mg·kg⁻¹, 472.8 (Cu) mg·kg⁻¹, 1 908.6 (Zn) mg·kg⁻¹, 36.5 (As) mg·kg⁻¹, 0.9 (Cd) mg·kg⁻¹, 2.9 (Pb) mg·kg⁻¹, respectively. The investigated heavy metals exhibited variations in contents among different pig types. The highest amount of Cu, Zn and Cd occurred in the manure of piglets, while Cr, As were detected at considerably higher concentration levels in manure of sows and fattening pigs, respectively. Except for Cr, the concentrations of other five target heavy metals in winter samples were higher than those in summer samples. The maximum contents of As, Cu and Zn detected in pig feeds were 34.1 mg·kg⁻¹, 211.9 mg·kg⁻¹, 2 883.1 mg·kg⁻¹. These contents were 17~35 times the limits in the national standards and are the main source of heavy metals in pig manure. Moreover, according to the relevant limitations of heavy metal contents in matured compost fertilizer, the heavy metal contents in the compost will severely exceed the limitations if investigated manure samples are used as raw material of compost. Thus, the addition of heavy metals in pig feeds must be strictly controlled in order to prevent the ecological environmental hazards and reduce farm products security risks when manure is used as fertilizer.

Keywords: heavy metals; intensive pig farms; pig feeds; pig manure

收稿日期:2012-07-15

基金项目:国家自然科学基金项目(21107127);国家高技术研究发展计划(863)资助项目(2007AA06Z344)

作者简介:潘 寻(1982—),男,博士,工程师,主要从事新型污染物分析及控制技术研究。E-mail:cleanspan@163.com

* 通信作者:贲伟伟 E-mail:wwben@rcees.ac.cn

自20世纪80年代以来,我国养猪业迅速发展,养殖规模不断扩大,集约化程度逐步提高。联合国粮食与农业组织(FAO)2012年最新统计数据显示,我国的生猪存栏量占到世界总量的50%^[1]。一些重金属微量元素如Cu、Zn等作为饲料添加剂广泛应用于畜禽养殖业中,用以预防动物疾病及促进动物生长。然而,由于生物利用率有限,大部分重金属元素会随着动物粪便排出体外^[2-3]。

畜禽粪便是一种来源广、潜力巨大的可再生生物资源,因其含有丰富的有机质和氮、磷、钾等养分,被广泛用作肥料还田和有机肥的生产。畜禽粪便中残留的重金属将会向农田土壤迁移并累积^[4-5],一方面对土壤性质产生负面影响,另一方面可能抑制农作物生长发育,降低产量与品质,或导致重金属迁移至农作物中,进入食物链并最终危害人类健康^[6-7]。环保部在2010年12月30日发布的《畜禽养殖业污染防治技术政策》中明确指出,应切实控制畜禽养殖饲料组分中重金属的添加量,保障畜禽粪便资源化综合利用的环境安全。

山东省被誉为“没有草原的畜牧大省”。2007年,山东全省生猪存栏3139万头,出栏5796万头,猪肉产量430万t。全省年出栏万头以上、实行单元式全进全出工厂化生产的规模化猪场有130余家。本文通过在山东省20余家规模化养猪场采集猪粪及配合饲料样品,测定了其中常见重金属的含量,并考察了不同采样季节、不同生育阶段猪群猪粪中的重金属残留差异。调查结果将为畜禽粪便有机肥的安全、合理使用提供必要参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集及处理

猪粪样品采集自山东省21家规模化养猪场,采样分别于2011年6月及12月进行,样品包括小猪、育肥猪及种猪猪粪样本各42个,总计126个。21家养猪场平均分布在省内7个地区(滨州、德州、菏泽、临沂、青岛、潍坊及烟台),按照存栏种猪数量被划分为大型(8家,种猪数 ≥ 500)、中型(7家,100 $\leq$ 种猪数 ≤ 500)、小型(6家,种猪数 ≤ 100)3类,力求在地域和规模上使采样点更具代表性,从而反映出山东省规模化养猪场猪粪中重金属残留的真实水平。在位于德州、菏泽、青岛的3家养猪场采集国内3种知名猪饲料品牌ZD、XXW、LH的6个阶段猪配合饲料样本18份。前5阶段分别对应猪体重3~8、8~20、

20~35、35~60、60~90 kg生长阶段所用饲料,阶段6为种猪饲料。

1.2 试剂与仪器

重金属标准液购自国家标准物质研究中心。试验中使用的主要仪器有:冷冻干燥机(FD-1-50,北京博医康),电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS, Agilent 7500),控温消煮炉(M231160,西化仪)等。

采集的猪粪及饲料样品置于便携式冰箱中,24 h内转移至实验室,冷冻干燥48 h后,碾磨并过0.5 mm筛,保存于4℃冰箱内。

1.3 分析方法

称取干燥后的样品0.5 g于消煮管中,加入5 mL浓硝酸浸泡过夜。次日,用控温消煮炉消煮样品,温度控制于120℃以内,消煮至管中的液体清亮,冷却至室温后加入2 mL高氯酸,继续消煮并将温度控制于220℃以内,待管中液体清亮时冷却,用去离子水定容至50 mL,将定容后的液样混匀、过滤(0.45 μm 孔径玻纤滤膜),使用ICP-MS进行分析。每个样本做2个平行样。

2 结果与分析

2.1 猪饲料中重金属含量分析

饲料中重金属含量的检测结果(表1)显示,3种品牌相同饲喂阶段猪饲料中的重金属含量差异不明显。饲料中Cu、Zn的含量较高,其检出范围分别为42.6~211.9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 及177.6~2 883.1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。Cu是一种抗菌剂和骨骼强壮剂,也是猪体内多种代谢所需关键酶的辅助因子,直接参与胆固醇代谢、骨骼矿化、免疫机能调节等代谢过程,故我国猪饲料中普遍添加 CuSO_4 ^[8]。Zn是多种酶的组分和激活剂,不仅可参与畜禽的多类代谢过程,高剂量的Zn还可以缓解断奶引起的肠形态和肠通透性的改变,维持肠屏障的正常功能,猪日粮中添加充足的Zn可促进猪的快速生长和健康^[9]。随着猪体重的增加,饲料中Cu、Zn的含量呈下降趋势,其在育肥猪出栏前阶段5饲料中的平均检出值分别降低至87.3、179.6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。补充Cr可提高饲料报酬、提高增重并改善胴体品质^[10]。随着饲喂猪体重的增加,Cr在饲料中的含量呈上升趋势,其检出范围为7.0~21.9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。As作为饲料添加剂有抑制病原微生物以促进动物生长及改善畜产品外观及颜色的作用^[11],其在阶段5饲料中的平均检出值最高(31.2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)。Cd和Pb在各阶段饲料中的检出范围分别为0.6~1.4 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 及2.8~4.0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

表 1 不同阶段猪配合饲料中的重金属含量(mg·kg⁻¹)
Table 1 Heavy metal contents in composite feed samples of different stages(mg·kg⁻¹)

饲喂阶段	对应猪体重/kg	Cr	Cu	Zn	As	Cd	Pb
阶段 1	3~8	7.5±0.5 (7.0~7.9)	163.5±7.9 (154.6~169.4)	2 656.1±204.2 (2 487.5~2 883.1)	19.5±2.2 (17.1~21.5)	1.3±0.2 (1.1~1.4)	3.1±0.1 (3.0~3.2)
阶段 2	8~20	10.8±2.5 (8.1~12.9)	188.5±22.4 (167.2~211.9)	2 724.4±106.8 (2 635.1~2 842.7)	18.9±0.6 (18.2~19.3)	1.2±0.2 (1.0~1.3)	3.3±0.6 (3.0~4.0)
阶段 3	20~35	12.7±1.4 (11.2~13.9)	141.1±9.5 (130.2~147.9)	277.4±12.2 (264.3~288.3)	23.2±3.6 (20.2~27.2)	0.8±0.1 (0.7~0.9)	3.4±0.4 (3.1~3.9)
阶段 4	35~60	13.0±1.2 (12.2~14.4)	114.4±12.4 (102.4~127.2)	200.8±4.1 (197.2~205.3)	24.7±3.3 (22.0~28.4)	0.7±0.1 (0.6~0.8)	2.9±0.1 (2.8~3.0)
阶段 5	60~90	13.5±1.3 (12.1~14.4)	87.3±11.8 (75.8~99.3)	179.6±2.5 (177.6~182.4)	31.2±2.6 (29.3~34.1)	0.8±0.2 (0.7~1.0)	3.1±0.1 (3.1~3.2)
阶段 6	种猪	19.0±2.5 (17.4~21.9)	45.4±3.6 (42.6~49.5)	211.9±7.4 (203.6~217.9)	20.0±1.9 (18.7~22.2)	0.8±0.1 (0.7~0.8)	3.1±0.2 (2.9~3.3)

注:3 种品牌饲料样本的平均检出值±标准偏差(n=3);括号内为检出范围(最小检出值~最大检出值)。

依据我国《饲料卫生标准》(GB 13078—2001)以及《中华人民共和国农业行业标准》(NY/T 65—2004),Cr、Cu、Zn、As、Cd、Pb 6 种重金属在猪饲料产品中的最高添加量分别不能超过 10、6、110、2、0.5、5 mg·kg⁻¹ (Cu、Zn 以瘦肉型生长育肥猪饲料含量为标准,As 为包括有机 As 在内的总 As 含量)。从本文的检测结果可以看出,As、Zn 的最大添加量分别超过国家标准的 17 倍和 26 倍,Cu 的最大添加量甚至超过国家标准的 35 倍。

2.2 猪粪中重金属含量分析

126 个猪粪样品中的重金属检出值如表 2 所示,不同重金属在猪粪中的含量差异与其在配合饲料中的检测结果相一致。

表 2 126 个猪粪样品中的重金属含量(mg·kg⁻¹)
Table 2 Heavy metal contents in 126 swine manure samples(mg·kg⁻¹)

项目	检出范围	平均检出值
Cr	0.6~258.8	12.3±23.5
Cu	46.1~1 310.6	472.8±302.0
Zn	151.1~14 679.8	1 908.6±3 061.6
As	0.5~373.8	36.5±69.1
Cd	0.6~1.5	0.9±0.2
Pb	1.9~5.5	2.9±0.6

Cu、Zn 在猪粪中的含量最高,其平均检出值分别是 472.8、1 908.6 mg·kg⁻¹,检出范围分别为 46.1~1 310.6 mg·kg⁻¹ 和 151.1~14 679.8 mg·kg⁻¹。同 Cu、Zn 相比较,Cr 和 As 的检出含量较低,其平均检出值分别是 12.3、36.5 mg·kg⁻¹,检出范围分别为 0.6~258.8 mg·kg⁻¹ 和 0.5~373.8 mg·kg⁻¹。在 6 种重金属中,Cd 和 Pb 的平

均检出值最低,分别是 0.9、2.9 mg·kg⁻¹,最大检出值分别为 1.5、5.5 mg·kg⁻¹。

Nicolson 对英国境内 12 份猪粪样品的重金属含量进行了分析,结果表明,猪粪中的 Zn、Cu 含量远高于其他重金属,其平均检出值分别为 500.0、360.0 mg·kg⁻¹,Cr、As、Cd、Pb 的平均检出值分别为 2.8、1.7、0.3、2.5 mg·kg⁻¹[12]。Moral 对西班牙 36 家猪场的猪粪进行了检测,Zn、Cu、Cr、Cd、Pb 的平均检出值分别为 172.0、42.0、1.1、0.1、0.7 mg·kg⁻¹[13]。在国内,张树清等对北京、浙江、江苏等 7 省市的规模化猪场猪粪中的重金属含量进行了检测,Cu、Zn、Cr、As、Pb、Cd 的含量范围分别在 10.7~1 591.0、281.0~871.0、0.0~688.0、0.3~65.4、0.2~21.8、0.1~120.1 mg·kg⁻¹ 之间[14]。黄玉溢等检测了广西规模化猪场猪粪中重金属的含量,Cu、Zn、Cr、Cd 的含量范围分别在 123.3~1 361.7、370.4~2 078.0、10.8~40.6、0.7~1.7 mg·kg⁻¹ 之间[15]。本文所检测猪粪中的重金属含量水平同国内其他报道类似,然而,Zn 的最大检出值高达 14 679.8 mg·kg⁻¹,为目前相关报道中的最高值。

2.3 不同生育阶段猪群猪粪重金属含量比较

不同猪群粪便中的重金属检出值见表 3。各种重金属在不同猪群粪便中的检出值与其在不同阶段饲料中的含量(表 1)相关。由表 3 可知,Cu、Zn、Cd 在 3 种猪群猪粪中的平均检出值与最大检出值变化趋势一致。其中,小猪猪粪中 Cu 的含量高于育肥猪及种猪,并且与种猪间差异极显著(P<0.01);小猪猪粪中 Zn 和 Cd 的含量也最高,并且与育肥猪及种猪间差异极显著(P<0.01)。这主要是因为,在生长阶段前期,为满足快速生长发育需求,在日粮中添加较高含量的

Cu、Zn 所致。另外,高 Zn 日粮还可有效预防小猪腹泻现象^[16]。Cr 和 As 表现出不同于 Cu、Zn、Cd 的趋势,种猪猪粪中 Cr 的含量高于小猪及育肥猪,并且差异极显著($P<0.01$),这主要是由于饲喂加 Cr 日粮,可有效提高种猪的分娩率、平均窝产仔数和断奶仔猪的窝重^[17]。As 在 3 种猪粪样品组间的差异均极显著($P<0.01$),其在育肥猪猪粪中的含量最高。由于在饲料中添加 As 不仅能促进猪的生长,更能使猪的皮肤红润和毛色光亮^[11],养殖场通常会在育肥猪快速生长阶段,尤其是出栏宰杀前在日粮中加大 As 的用量,而欧洲已于 2003 年全面禁止在猪饲料中添加任何形式的 As 制剂^[18];Pb 在 3 种猪群猪粪中的检出含量差异均不显著($P>0.05$),其在小猪猪粪中平均检出值稍高,推测这主要由于小猪较低的代谢能力所致。

2.4 不同采样季节猪粪中重金属的含量比较

不同采样季节猪粪中的重金属检出值见表 4。除 Cr 外,其他 5 种重金属在冬季样品中的平均检出值与最大检出值均高于夏季样品。其中,Cu、As、Pb 3 种重金属的含量在两季样品组间差异不显著($P>0.05$),Zn 含量在两季样品组间差异极显著($P<0.01$),Cd 含量在两季样品组间差异显著($P<0.05$)。

研究表明,在猪日粮中添加 Zn 能有效降低猪的腹泻率^[16,19]。进入冬季后,气温降低,猪舍封闭较严,舍内空气及水泥地面潮湿、寒冷,猪腹泻的发病率明显增高^[20]。因此,猪场冬季往往在日粮中额外添加有机 Zn 或无机 Zn,造成冬季猪粪样品中 Zn 含量明显高于夏季样品。在郭建凤的研究中,山东某场冬季小猪、育肥猪、种猪猪粪中的 Zn 含量分别为 1 933.4、926.1、504.4 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,而夏季样品中的 Zn 含量分别为 440.0、285.6、376.7 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[21]。Cd 和 Zn 为同族元素,性质相似,常常伴生不易分离,故用含镉锌矿或铜镉渣制成的 ZnSO_4 中均会含有一定量的 Cd,而 ZnSO_4 通常作为动物饲料中 Zn 的主要添加剂^[22],所以 Cd 和 Zn 在夏、冬两季猪粪中的含量差异表现出一致的规律。

夏季样品中 Cr 的平均检出值高于冬季样品,并且差异极显著($P<0.01$)。猪的生长育肥与气温存在着密切的关系,为防止夏季高温影响猪的热调节能力,养殖场常会在猪饲料中补充 0.3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 左右的吡啶羧酸铬,以有效缓解猪的高温应激作用,提高猪采食量和日增重,降低料重比^[23]。

2.5 各国腐熟堆肥中重金属限量标准

为防止粪便资源化过程中重金属的迁移导致的

表 3 不同猪群粪便中的重金属含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 3 Heavy metal contents in manure of different swine types($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

项目	小猪($n=42$)		育肥猪($n=42$)		种猪($n=42$)	
	检出范围	平均检出值	检出范围	平均检出值	检出范围	平均检出值
Cr	1.3~258.8	10.1 ^a ±9.5	0.6~18.3	7.4 ^b ±4.6	1.6~37.2	19.4 ^c ±39.2
Cu	158.8~1 310.6	602.1 ^a ±279.8	46.1~1 261.0	497.2 ^a ±266.7	52.0~1 151.5	319.1 ^b ±294.4
Zn	343.1~14 679.8	3 972.8 ^a ±4 645.2	151.1~2 550.5	931.5 ^b ±519.2	261.3~1 989.5	821.5 ^b ±420.4
As	0.5~216.4	32.4 ^a ±50.7	3.6~373.8	67.0 ^b ±99.7	1.1~79.0	10.0 ^c ±19.1
Cd	0.6~1.5	1.1 ^a ±0.2	0.6~1.3	0.8 ^b ±0.2	0.6~1.0	0.7 ^b ±0.1
Pb	1.9~3.9	2.9 ^a ±0.4	2.5~5.5	2.9 ^a ±0.8	1.9~4.1	2.8 ^a ±0.6

注:同行肩标字母相同表示差异不显著($P>0.05$);同行肩标字母不同者表示差异显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$),其中,小写字母表示差异显著($P<0.05$),大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。下表同。

表 4 不同采样季节猪粪中的重金属含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 4 Heavy metal contents in swine manure among different sampling seasons($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

项目	夏季($n=63$)		冬季($n=63$)	
	检出范围	平均检出值	检出范围	平均检出值
Cr	1.9~258.8	16.9±32.4	0.6~21.1	7.7 ^b ±5.3
Cu	52.0~1 261.0	456.2 ^a ±298.8	46.1~1 310.6	489.4±306.6
Zn	195.6~11 290.0	1 305.4 ^a ±1 962.6	151.1~14 679.8	2 511.8 ^b ±3 782.5
As	0.5~366.5	34.4±65.6	1.3~373.8	38.6±72.9
Cd	0.6~1.0	0.8±0.1	0.6~1.5	1.0 ^b ±0.2
Pb	2.0~4.5	2.8±0.5	1.9~5.5	2.9±0.7

表5 各国腐熟堆肥中重金属限量标准($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)Table 5 Heavy metal limits in matured compost in several countries($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

项目	德国	荷兰	比利时	西班牙	意大利	英国	韩国	中国 ^a	中国 ^b
Cu	100	300	90	450	300	200	500	800	—
Zn	400	500	300	1100	500	400	900	2700	—
As	—	25	—	—	10	—	50	50	50
Cd	1.5	2	1.5	10	1.5	1.5	5	—	10
Pb	150	140	120	350	140	150	150	—	150
Cr	100	200	70	—	100	—	300	—	500

注:a《畜禽粪便安全使用准则》(NY-T 1334—2007);b《有机-无机复混肥国家标准》(GB 18877—2002,以土壤 pH 6.5~7.5 为例)。

环境风险,包括我国在内的许多国家都规定了腐熟堆肥中重金属的限量标准^[24-26]。如表5所示,同其他各国相比,我国相关标准相对宽松。若依据我国《畜禽粪便安全使用准则》(NY/T 1334—2007),本研究所调查的126个猪粪样品中As、Cu、Zn超标个数仅为25、18和15个,分别占样本总数的19.8%、14.3%和11.9%;而若依据德国腐熟堆肥中重金属的限量标准,126个猪粪样品中Cu、Zn超标数均为118个,占样本总数的比例达到93.7%。由于以上各标准均为腐熟堆肥中的重金属限量值,如考虑重金属在粪便堆肥过程中的“浓缩”现象,超标样品数量将进一步增加。

3 结论

本调查获得了山东省规模化猪场猪粪中重金属含量的区域性数据。结果表明,所调查的6种重金属中,Zn和Cu在猪粪中的含量较高,平均检出值分别为1908.6、472.8 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,其次为As,其平均检出值为36.5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。而对猪配合饲料中重金属含量的调查结果显示,Zn、Cu、As的最大检出值分别2883.1、211.9、34.1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,超过国家标准规定最高添加量的17~35倍。猪饲料中高浓度的重金属添加剂,造成了猪粪中高含量的重金属残留,给其资源化利用带来很大的限制和风险。

为实现规模化养猪场猪粪合理、安全的资源化利用,一是需要从源头控制,建立科学合理的饲料营养体系,在猪的不同生长阶段,提供适宜重金属含量的日粮;二是严格执行国家猪饲料重金属添加标准,加快制定完善的规模化畜禽养殖场粪便中的重金属控制标准;三是积极寻找饲料重金属添加剂替代品,同时开展饲料中重金属的生物有效性研究;四是进一步加强畜禽粪便重金属形态转化技术的开发,为有机肥的安全使用提供保障。

参考文献:

- [1] http://www.fao.org/avianflu/en/news/ept_plus.html
- [2] 于炎湖. 饲料中的重金属污染及其预防[J]. 粮食与饲料工业, 2001(6): 12-14.
YU Yan-hu. The heavy metal pollution of feed and its prevention[J]. *Cereal & Feed Industry*, 2001(6): 12-14.
- [3] 姜萍, 金盛杨, 郝秀珍, 等. 重金属在猪饲料-粪便-土壤-蔬菜中的分布特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(5): 942-947.
JIANG Ping, JIN Sheng-yang, HAO Xiu-zhen, et al. Distribution characteristics of heavy metals in feeds, pig manures, soils and vegetables[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(5): 942-947.
- [4] Nicholans F A, Smith S R, Alloway B J, et al. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales[J]. *Science of the Total Environment*, 2003, 311: 205-219.
- [5] 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(2): 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-Environment Science*, 2005, 24(2): 392-397.
- [6] 黄治平, 徐斌, 张克强, 等. 连续四年施用规模化猪场猪粪温室土壤重金属积累研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 239-244.
HUANG Zhi-ping, XU Bin, ZHANG Ke-qiang, et al. Accumulation of heavy metals in the four years' continual swine manure-applied greenhouse soils[J]. *Transactions of the CSAE*, 2007, 23(11): 239-244.
- [7] 郝秀珍, 周东美. 畜禽粪中重金属环境行为研究进展[J]. 土壤, 2007, 39(4): 509-513.
HAO Xiu-zhen, ZHOU Dong-mei. Research progress of environmental behavior of heavy metals in the animal manure[J]. *Soils*, 2007, 39(4): 509-513.
- [8] 晁雷, 周启星, 崔爽, 等. 堆肥对土壤重金属垂直分布的影响与污染评价[J]. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1346-1350.
CHAO Lei, ZHOU Qi-xing, CUI Shuang, et al. Profile distribution and pollution assessment of heavy metals in soils under livestock feces composts[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(6): 1346-1350.
- [9] 刘明美, 吕宗友, 戎婧, 等. 锌在养猪业中的研究进展[J]. 中国猪业, 2001(1): 48-50.
LIU Ming-mei, LÜ Zong-you, RONG Qian, et al. Research progress of

- zinc in swine industry[J]. *Husbandry and Forage*, 2001(1):48-50.
- [10] 董志岩, 方桂友, 陈一萍, 等. 有机铬在养猪生产中的应用[J]. 福建畜牧兽医, 2006, 28(1):19-20.
- DONG Zhi-yan, FANG Gui-you, CHEN Yi-ping, et al. The application of organic chromium in swine production[J]. *Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2006, 28(1):19-20.
- [11] 袁 涛, 管恩平, 何桂华, 等. 砷制剂作为畜禽促生长剂的作用及其危害分析[J]. 中国家禽, 2010, 32(22):51-53.
- YUAN Tao, GUAN En-ping, HE Gui-hua, et al. Role and risk of arsenicals used as growth promoter in animal husbandry[J]. *China Poultry*, 2010, 32(22):51-53.
- [12] Nicholson F, Chambers B, Williams R, et al. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales[J]. *Biore-source Technology*, 1999, 70:23-31.
- [13] Moral R, Perez-Murcia M, Perez-Espinosa A, et al. Salinity, organic content, micronutrients and heavy metals in pig slurries from South-eastern Spain[J]. *Waste Management*, 2008, 28:367-371.
- [14] 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 livestock and poultry feedlots[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(6):822-829.
- [15] 黄玉溢, 刘 斌, 陈桂芬, 等. 规模化养殖场猪配合饲料和粪便中重金属含量研究[J]. 广西农业科学, 2007, 38(5):544-546.
- HUANG Yu-yi, LIU Bin, CHEN Gui-fen, et al. Contents of heavy metals in formulated feed for pig and pig manure of scaled piggery[J]. *Guangxi Agriculture Science*, 2007, 38(5):544-546.
- [16] 邓绍基. 高锌日粮对早期断奶仔猪促生长防腹泻的效果[J]. 当代畜牧, 2006(3):29-30.
- DENG Shao-ji. The effect of high zinc diets on growth-promoting and anti-diarrhea prevention for early weaning piglet[J]. *Contemporary Animal Husbandry*, 2006(3):29-30.
- [17] 袁林泉. 有机铬在母猪营养中的作用[J]. 中国动物保健, 2001(3):6-7.
- YUAN Lin-quan. The effect of organic chromium on nutrition of sow[J]. *China Animal Healthcare*, 2001(3):6-7.
- [18] Luo L, Ma Y, Zhang S, et al. An inventory of trace element inputs to agricultural soils in China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90:2524-2530.
- [19] 曹发龙, 张胜燕. 高锌对早期断奶仔猪促生长防腹泻试验[J]. 上海畜牧兽医通讯, 2008(2):29.
- CAO Fa-long, ZHANG Sheng-yan. The effects of high dose of zinc on early-weaned piglets in growth promotion and diarrhea prevention[J]. *Shanghai Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2008(2):29.
- [20] 王 涛, 赵国然. 冬春季节猪腹泻的防制[J]. 湖北畜牧兽医, 2011, (4):36-37.
- WANG Tao, ZHAO Guo-ran. The prevention of swine diarrhea in winter and spring seasons[J]. *Journal of Hubei Animal and Veterinary*, 2011, (4):36-37.
- [21] 郭建凤, 王 诚, 蒯海朝, 等. 规模猪场不同季节保育猪、育肥猪及繁殖母猪粪便特性分析[J]. 广东饲料, 2012, 21(5):22-26.
- GUO Jian-feng, WANG Cheng, LIN Hai-chao, et al. The analysis of manure characteristics of piglet, fattening pig and sow in intensive pig farms in different seasons[J]. *Guangdong Feeds*, 2012, 21(5):22-26.
- [22] 雷郑丽, 董小海, 任 红. 饲料级硫酸锌中高含量镉的快速定性鉴别方法[J]. 中国饲料添加剂, 2007(10):44-46.
- LEI Zheng-li, DONG Xiao-hai, RENG Hong. Rapid qualitative identification method of high content of cadmium in feed-grade zinc sulfate[J]. *China Feeds Additive*, 2007(10):44-46.
- [23] 刘瑞生. 夏季猪热应激及其防治措施[J]. 畜禽养殖, 2010(4):50-52.
- LIU Rui-sheng. Heat stress of swine and its prevention and control measures in summer[J]. *Livestock and Poultry Breeding*, 2010(4):50-52.
- [24] 李书田, 刘荣乐. 国内外关于有机肥料中重金属安全限量标准的现状与分析[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(增刊):777-782.
- LI Shu-tian, LIU Rong-le. Establishment and evaluation for maximum permissible concentrations of heavy metals in biosolid wastes as organic manure[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(Suppl):777-782.
- [25] Han J, Kim K, Kim H, et al. Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure[J]. *Waste Management*, 2008, 28:813-820.
- [26] Quan C, Ce M, Qi W, et al. Concentration and speciation of heavy metals in six different sewage sludge-composts[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2007, 147:1063-1072.