

北京集约化养殖畜禽饲料 Zn 含量及粪便 Zn 残留特征研究

索超¹, 李艳霞², 张增强³, 韩伟², 熊雄⁴, 李惟⁴, 林春野²

(1.西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2.北京师范大学环境学院水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875;
3.西北农林科技大学理学院, 陕西 杨凌 712100; 4.中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 针对集约化养殖中大量使用含 Zn 饲料添加剂及其在畜禽粪便中的残留问题, 采集北京 6 个郊区县集约化养殖场 208 个猪、奶牛、鸡饲料样品和 204 个粪便样品, 分析测定了其中 Zn 含量。结果表明, 北京地区集约化养殖饲料和粪便中 Zn 含量差异很大, 猪饲料和猪粪中 Zn 含量远高于奶牛和鸡。猪、奶牛、鸡饲料中 Zn 的含量范围分别为 72.77~3 170.37 mg·kg⁻¹、13.63~471.39 mg·kg⁻¹、32.64~344.67 mg·kg⁻¹, 平均含量分别为 347.57、86.44、138.76 mg·kg⁻¹; 猪、奶牛、鸡粪便 Zn 的平均含量分别为 2 333.97、119.41、391.01 mg·kg⁻¹, 含量范围分别在 458.21~14 031.79、10.36~502.39、73.15~678.91 mg·kg⁻¹ 之间。猪饲料和猪粪 Zn 超标率分别为 9.3% 和 15.0%, 奶牛、鸡的饲料和粪便均未超标。畜禽粪便中 Zn 含量与其饲料中 Zn 含量之间呈显著或极显著正相关 ($P < 0.05$), 猪、奶牛、鸡粪便中 Zn 的平均含量分别是其饲料的 6.7 倍、1.4 倍、2.8 倍, 表现出一定的“浓缩”效应, 其中断奶仔猪饲料和粪便中 Zn 的平均含量最高, 分别为 645.37 和 5 133.64 mg·kg⁻¹, “浓缩系数”高达 6.61。高 Zn 含量的畜禽粪便在土地利用时可能会带来土壤污染风险。

关键词: 畜禽; 饲料; 粪便; 锌含量; 集约化养殖

中图分类号: X835 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2009)10-2173-07

Residual Character of Zn in Feeds and Their Feces from Intensive Livestock and Poultry Farms in Beijing

SUO Chao¹, LI Yan-xia², ZHANG Zeng-qiang³, HAN Wei², XIONG Xiong⁴, LI Wei⁴, LIN Chun-ye²

(1.College of Resource and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2.State Key Laboratory of Water Environment Simulation, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3.College of Science, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 4.Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: 208 pig, dairy cow, chicken feeds and 204 fecal samples from intensive livestock and poultry farms were collected in 6 districts and counties of Beijing. The concentrations of Zn were analyzed. The results showed that Zn contents varied greatly among feeds and feces in this study. The concentrations of Zn were in the range of 72.77~3 170.37 mg·kg⁻¹, 13.63~471.39 mg·kg⁻¹ and 32.64~344.67 mg·kg⁻¹ respectively in pig, dairy cow and chicken feeds, and the mean values were 347.57 mg·kg⁻¹, 86.44 mg·kg⁻¹, 138.76 mg·kg⁻¹, respectively. The concentrations of Zn ranged from 458.21 to 14 031.79 mg·kg⁻¹, 10.36 to 502.39 mg·kg⁻¹, 73.15 to 678.91 mg·kg⁻¹ respectively in pig, dairy cow and chicken feces, and the mean values were 2 333.97 mg·kg⁻¹, 119.41 mg·kg⁻¹ and 391.01 mg·kg⁻¹, respectively. It is clearly that the concentrations of Zn in pig feeds and feces were much higher than that in dairy cow and chicken feces. The over standard rate of Zn concentrations in pig feeds and feces were 9.3%, 15.0%, respectively, no samples of dairy cow and chicken contained Zn beyond the ceiling limitation. The contents of Zn in livestock and poultry feces showed a significantly positive correlation with that in their feeds at the 0.05 level. Zn concentrations in pig, dairy cow and chicken feces were 6.7, 1.4, 2.8 times greater than in their feeds, displayed an obvious “concentrated effect”. The mean contents of Zn in weaner feeds and feces were 645.37 mg·kg⁻¹ and 5 133.64 mg·kg⁻¹, respectively, were the highest in the study, with “concentrated coefficient” of 6.61. Hence, the utilization of animal feces with high Zn content might cause the potential risk on farmland and the plants.

Keywords: livestock and poultry; feeds; feces; Zn content; intensive animal production

收稿日期: 2009-04-13

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目 (2004CB418507); 国家“十一五”科技支撑计划 (2006BAD10B05); 国家自然科学基金项目 (20377040)

作者简介: 索超 (1982—), 男, 陕西户县人, 在读硕士, 主要从事固体废物处置与资源化研究。E-mail: scpissa@126.com

通讯作者: 李艳霞 E-mail: liyxbnu@bnu.edu.cn

Zn 是动物机体必需的微量元素之一,现代集约化养殖禽畜日粮中普遍添加含 Zn 的促生长添加剂,常用作饲料添加剂的锌一般为氧化锌和硫酸锌。通常锌的添加量为 200~400 mg·kg⁻¹ (以干基计算,下同),乳猪中可达 2 000~2 500 mg·kg⁻¹ [1],而禽畜对 Zn 的消化吸收利用率极低,超过 80% 的 Zn 会随粪尿排出 [2~3]。在部分地区,畜禽粪便中重金属是农田土壤重金属的重要来源之一 [4~5]。长期施用畜禽粪便可能导致土壤中重金属的累积以及作物中重金属含量的增加 [6~7]。随着我国畜禽养殖业规模的不断壮大,畜禽粪便的排放量逐年增加 [6],由此带来的环境和食品安全已经越来越受到重视。

本文在大量样品采集的基础上,研究不同畜种、不同年龄和功能的畜禽饲料中 Zn 的含量及粪便中的残留及其差异,对充分了解北京地区畜禽养殖饲料和粪便安全现状,为合理使用畜禽粪便以防止土壤污染提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试饲料和粪便

供试饲料和粪便采自北京市 6 个主要养殖区县的集约化养殖场,共采集猪、奶牛、鸡饲料样品 208 个和粪便样品 204 个,同畜种饲料和粪便按动物年龄和功能分类,详见表 1。为保证样品的代表性,粪便分别

从畜舍 30 个点采集样品,饲料从饲料仓或多个饲料袋子采集 20 个样品,分别充分混匀后取 2 kg 作为一个代表性样品,放入塑料袋中冷藏保存运回实验室。饲料和粪便样品的采集数量和分类详见表 1。

1.2 样品处理

饲料及粪便样品经风干、粉碎、研磨后过 0.25 mm 尼龙筛,备用。分别称取 0.5 g 样品用浓 HNO₃ 和 H₂O₂ (USEPA, 1996) 消煮。采用火焰原子吸收光谱仪 (AAS, Vario 6, Jena Co. Ltd., Germany) 测定 Zn 浓度 (mg·kg⁻¹, DM)。

1.3 数据分析

测定数据用 SPSS 统计软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同畜禽饲料 Zn 含量

不同畜禽种类饲料和粪便样本的 Zn 检出率达 100%, 变幅极大, 差异显著, 见表 2。可以看出, 不同畜禽种类饲料中 Zn 平均含量由大到小依次为猪、奶牛、鸡, 分别为 347.57、86.44、138.76 mg·kg⁻¹, 猪饲料 Zn 含量较高, 奶牛和鸡饲料基本处于中等偏低水平。猪饲料 Zn 的平均含量远高于牛和鸡饲料, 分别是奶牛、鸡饲料的 4.0、2.5 倍。这与 Cang 等 [3] 对江苏地区畜禽饲料的研究结论相似。107 个猪饲料样本中, 其中 95.3% 高于 100 mg·kg⁻¹, 45.8% 高于 200 mg·kg⁻¹, 8.4%

表 1 饲料和粪便样品的采集数量和分类
Table 1 Description of sample collections for feed and fecal materials

猪 Pig			奶牛 Dairy cow			鸡 Chicken		
种类 Variety	饲料 Feed	粪便 Feces	种类 Variety	饲料 Feed	粪便 Feces	种类 Variety	饲料 Feed	粪便 Feces
断奶仔猪 Weaner	30	38	非泌乳牛 Male	19	22	蛋鸡 Layer	成年蛋鸡 Adult layer	8 5
育肥猪 Grower-finisher	32	35	泌乳牛 Lactating cow	27	25		青年蛋鸡 Youth layer	7 7
母猪 Sow	36	36	犊牛 Calf	28	21		雏蛋鸡 Chicken layer	10 8
种猪 Boar	4	4				肉鸡 Broiler	3	3
总计 Total	107	113		74	68		27	23

表 2 不同畜种饲料和粪便 Zn 含量统计特征值
Table 2 Statistics of Zn concentration in different livestock and poultry feed and feces

项目 Items	猪 Pig		奶牛 Dairy cow		鸡 Chicken	
	饲料 Feed	粪便 Feces	饲料 Feed	粪便 Feces	饲料 Feed	粪便 Feces
均值 Mean/mg·kg ⁻¹	347.57	2 333.97	86.44	119.41	138.76	391.01
最大值 Max/mg·kg ⁻¹	3 170.37	14 031.79	471.39	502.39	344.67	678.91
最小值 Min/mg·kg ⁻¹	72.77	458.21	13.63	10.36	32.64	73.15
标准差 SD/mg·kg ⁻¹	547.85	3 511.73	77.44	82.97	70.34	165.54
变异系数 CV/%	157.62	150.46	89.59	69.49	50.70	42.34

高于 $1\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 绝大多数在 $100\sim 300\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间; 74 个奶牛饲料样本中, 27.0% 高于 $100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 37.8% 低于 $40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 27 个鸡饲料样本中, 77.8% 高于 $100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 14.8% 高于 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。本研究中, 奶牛和鸡饲料 Zn 平均含量均低于 Cang 等^[3]的研究结果 (109.24 和 $153.78\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), 但基本处于同一水平, 而猪饲料远高于 Cang 等报道的 $144.17\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。这可能与添加剂使用量有很大关系。

我国还没有畜禽养殖饲料 Zn 含量的相关标准, 本文以美国、加拿大饲料协会规定的饲料中 Zn 最大限量 $500\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为标准^[8], 猪饲料超标率为 9.3%, 奶牛、鸡饲料均不超标。由于畜禽饲料的原料构成不同, 且原料的来源广泛、复杂, 所含重金属种类含量均有较大差异, 以及饲料添加剂种类和添加量的差别, 导致不同畜禽饲料的 Zn 含量差异显著, 同时也表明北京地区集约化养殖场普遍使用含 Zn 添加剂的畜禽饲料。

2.2 不同畜禽粪便 Zn 含量

畜禽粪便中 Zn 平均含量明显高于饲料。由于畜禽对 Zn 的吸收利用率较低, 小于 20%^[2~3], 绝大部分 Zn 以原形或代谢物被排出, 残留于粪、尿等排泄物, 导致粪便中 Zn 含量大幅度增加。猪粪中 Zn 平均含量高达 $2\,333.97\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 奶牛、鸡粪分别为 119.41 、 $391.01\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。猪粪中 Zn 的平均含量分别是奶牛粪和鸡粪的近 20 和 6 倍。113 个猪粪样本中, 98.2% 高于 $500\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 44.2% 高于 $1\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 12.4% 高于 $5\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 8.0% 高于 $10\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 68 个奶牛粪样本中, 14.7% 低于 $50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 50.0% 高于 $100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 13.2% 高于 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 23 个鸡粪样本中, 86.9% 高于 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 17.4% 高于 $500\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

本研究中, 猪粪 Zn 平均含量及变幅均远高于国内其他学者^[3, 6, 9~10]的研究结果, Zn 平均含量约为 Cang 等对江苏地区、刘荣乐等对我国 14 个省份、张树清等对北京地区、姚丽贤等对广东地区的研究报道的 2~4 倍, 而牛粪和鸡粪中 Zn 含量基本处于同一水平。参考中国农用污泥中污染物控制标准 (GB 4284—84) 对 Zn 的限量值 (土壤 $\text{pH}<6.5$ 为 $500\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 土壤 $\text{pH}\geq 6.5$ 为 $1\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), 若以 $500\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为标准, 则猪、奶牛、鸡粪的超标率分别为 98.2%、1.5%、17.4%; 若以 $1\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为标准, 则 44.2% 的猪粪样本超标或严重超标, 奶牛粪和鸡粪均不超标。若以欧盟同类标准的 $4\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为标准^[11], 则只有猪粪超标, 超标率为 15.0%。上述结果表明, 北京地区猪粪

Zn 平均含量远高于奶牛粪和鸡粪, 奶牛粪和鸡粪 Zn 含量水平较低。由于我国土壤缺锌情况比较普遍^[11], 畜禽粪便中的 Zn 可起到补充土壤 Zn 的作用, 但是高含量的 Zn 还是会带来污染风险。在还田利用时还应考虑到畜禽粪便中其他重金属和污染物, 长期施用依然存在土壤和农产品污染风险^[3~4, 9]。

总体上看, 北京地区不同畜种饲料和粪便 Zn 含量差异较显著, 猪饲料和粪便 Zn 含量显著高于牛和鸡。重金属含量超标是限制畜禽粪便农业利用的主要因素之一, 我国传统上把畜禽粪便当作优质的有机肥并提倡长期大量施用, 目前国际上提倡的生态农业或有机农业中也都十分强调此类有机肥的施用。鉴于目前我国对畜禽粪便农用没有相关的限量标准, 有必要对畜禽粪便长期施用于土壤的重金属污染风险和不同地区土壤环境容量进行研究, 为畜禽粪便的合理施用提供科学依据。

2.3 不同年龄和功能的畜禽饲料中 Zn 含量

不同年龄和功能的畜禽饲料中 Zn 含量测定结果见表 3。

畜禽对 Zn 的需要量受其生长阶段、健康状况、日粮的组成形式及气候条件等多种因素的影响^[12]。从本研究中可以看出, 北京市规模化养殖畜禽饲料中 Zn 的投入量也存在差异。猪饲料中 Zn 平均含量由大到小依次为断奶仔猪、育肥猪、母猪和种猪, 分别为 645.37 、 237.24 、 177.41 和 $154.52\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。30 个断奶仔猪饲料样本中, Zn 含量高于 $150\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的占 82.9%, 22.9% 高于 $1\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 36 个母猪饲料样本中, Zn 含量高于 $110\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的占 88.9%; 32 个育肥猪饲料样本中, Zn 含量高于 $100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的占 97.0%; 4 个种猪饲料样本均高于 $65\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

许多动物营养工作者认为猪对饲料 Zn 的需要量为 $40\sim 170\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 其中断奶仔猪饲料的 Zn 添加量以 $100\sim 150\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为宜, 育肥猪为 $90\sim 100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 种猪为 $50\sim 65\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 母猪为 $80\sim 110\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[13~16]。上述结果表明, 断奶仔猪、种猪、育肥猪和母猪饲料 Zn 的平均含量均远高于推荐量。高 Zn 的促生长作用主要体现在仔猪上^[17], 因此仔猪饲料 Zn 含量最高。国内外众多学者研究了高 Zn 对断奶仔猪的促生长功效, 证实 $3\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Zn 对断奶仔猪具有显著的促生长效果, 并能提高机体的免疫功能^[17~20], 但饲料中高锌的适宜水平及锌促进生长的机制尚不明确。也有报道显示, $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 蛋白锌的促生长效果接近 $3\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 氧化锌^[21]。这表明, 不同功能猪饲料中 Zn 含量

的差异也受添加剂种类和数量的影响。

奶牛饲料 Zn 含量也存在较大差异,平均含量由大到小依次为泌乳牛、犊牛、非泌乳牛,分别为 101.70、84.27 和 65.57 mg·kg⁻¹,均高于牛饲料中 Zn 的最佳推荐值 40~50 mg·kg⁻¹[14]。27 个泌乳牛饲料样本中,48.2%样品为 50~100 mg·kg⁻¹;28 个犊牛饲料样本中,25.0%样品为 50~100 mg·kg⁻¹;19 个非泌乳牛饲料样本中,22.6%样品为 50~100 mg·kg⁻¹。Zn 可以有效促进奶犊牛生长,提高泌乳牛产奶量和乳 Zn 含量,因此泌乳牛饲料中 Zn 含量最高。

蛋鸡和肉鸡饲料 Zn 平均含量分别为 136.75、154.84 mg·kg⁻¹,差别不大。同时,蛋鸡不同生长时期饲料的 Zn 平均含量在 132.28~142.14 mg·kg⁻¹ 之间,浓度也较为接近。各组 Zn 均高于鸡饲料 Zn 的推荐量 35~70 mg·kg⁻¹[15],绝大多数超过 100 mg·kg⁻¹。肉鸡饲

料样本全都高于 100 mg·kg⁻¹,75.0%蛋鸡样本高于 100 mg·kg⁻¹,其中成年蛋鸡、青年蛋鸡、雏蛋鸡各占 87.5%、66.7%、66.7%。有报道称,在雏蛋鸡日粮中添加 Zn 能促进雏蛋鸡的生长、采食、羽毛生长和骨的生长发育,但只是 Zn 添加量≤120 mg·kg⁻¹ 时能促进生长,高于 120 mg·kg⁻¹ 时生长受到抑制[21]。也有研究表明,肉鸡日粮中添加不同水平的锌或不添加微量元素对其生长性能没有影响[23-24]。因此,可考虑适当减少肉鸡饲料中 Zn 的添加量。

上述结果表明,北京地区养殖业饲料中普遍存在含 Zn 添加剂,其中猪饲料和鸡饲料中 Zn 含量添加量较大,奶牛饲料 Zn 含量水平中等偏低。

2.4 不同年龄和功能畜禽的粪便中 Zn 含量

不同年龄和功能畜禽的粪便中 Zn 含量测定结果见表4。

表 3 不同年龄和功能畜禽饲料 Zn 含量统计特征值
Table 3 Statistics of Zn concentration in the different stages of livestock and poultry feed

	种类 Variety	平均值 Mean/mg·kg ⁻¹	最大值 Max/mg·kg ⁻¹	最小值 Min/mg·kg ⁻¹	标准差 SD/mg·kg ⁻¹	变异系数 CV/%
猪 Pig	断奶仔猪 Weane	645.37	3 170.37	98.55	834.91	129.37
	母猪 Sow	177.41	297.84	76.67	54.75	30.86
	育肥猪 Grower-finisher	237.24	2 003.92	72.77	327.57	138.08
	种猪 Boar	154.52	165.17	147.41	8.53	5.47
奶牛 Daily cow	非泌乳牛 Male	65.57	162.91	16.88	46.64	71.13
	泌乳牛 Lactating cow	101.70	224.82	13.63	62.57	61.52
	犊牛 Calf	84.27	471.39	14.12	102.25	121.34
鸡 Chicken	成年蛋鸡 Adult layer	132.28	204.41	98.77	38.54	29.14
	青年蛋鸡 Youth layer	142.14	222.62	32.74	75.63	53.21
	雏蛋鸡 Chicken layer	137.09	344.67	32.64	88.41	64.49
	蛋鸡合计 Total layer	136.75	344.67	32.64	11.46	7.40
	肉鸡 Broiler	154.84	164.40	142.13	69.06	50.50

表 4 不同年龄和功能畜禽粪便 Zn 含量统计特征值
Table 4 Statistics of Zn concentration in the different stages of livestock and poultry feces

	种类 Variety	平均值 Mean/mg·kg ⁻¹	最大值 Max/mg·kg ⁻¹	最小值 Min/mg·kg ⁻¹	标准差 SD/mg·kg ⁻¹	变异系数 CV/%
猪 Pig	断奶仔猪 Weane	5 133.64	14 031.79	578.77	4 996.21	97.32
	母猪 Sow	947.71	2 589.11	458.21	413.99	43.68
	育肥猪 Grower-finisher	908.45	1 566.48	460.09	276.80	30.47
	种猪 Boar	686.83	720.17	632.59	39.64	5.77
奶牛 Daily cow	非泌乳牛 Male	84.23	275.56	13.45	53.03	62.96
	泌乳牛 Lactating cow	147.24	375.29	19.96	80.82	54.89
	犊牛 Calf	123.12	502.39	10.36	99.64	80.93
鸡 Chicken	成年蛋鸡 Adult layer	413.32	544.72	341.86	78.18	18.92
	青年蛋鸡 Youth layer	304.44	480.62	74.89	167.77	55.11
	雏蛋鸡 Chicken layer	428.96	678.91	73.15	216.11	50.38
	蛋鸡合计 Total layer	381.47	678.91	73.15	44.79	9.85
	肉鸡 Broiler	454.62	499.77	410.2	175.46	46.00

断奶仔猪粪便中 Zn 平均含量高达 $5\,133.64\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 其中 76.3% 高于 $1\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 44.7% 高于 $4\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 23.7% 高于 $10\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 母猪、育肥猪和种猪 Zn 含量也处于较高水平, 依次为 947.71 、 908.45 、 $686.83\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 各组猪粪样本 Zn 含量差异十分显著。不同组牛粪中 Zn 含量差异较大, 平均含量由大到

小依次为泌乳牛、犍牛、非泌乳牛, 分别为 147.24 、 123.12 、 $84.23\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 其中低于 $100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的各占 26.9%、52.4%、69.6%, 均处于较低水平。肉鸡粪中 Zn 平均含量比蛋鸡高近 20%, 分别为 454.62 和 $381.47\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 成年蛋鸡、青年蛋鸡和雏蛋鸡粪中 Zn 平均含量分别为 413.32 、 304.44 、 $428.96\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 整体处于较

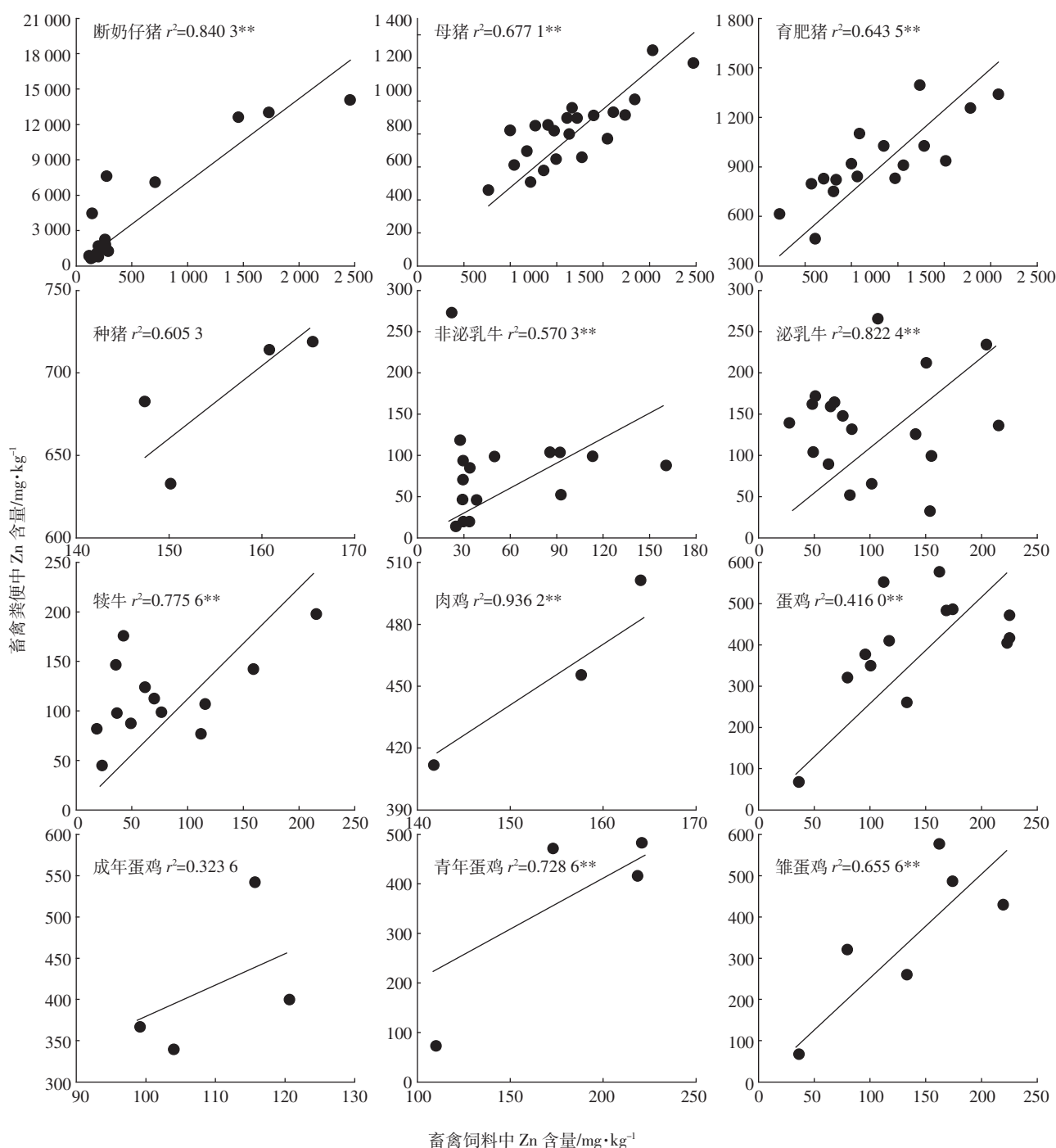


图 1 不同畜禽饲料与对应粪便中 Zn 含量之间的关系 ($P<0.05$)

Figure 1 The relationship of Zn concentration in different poultry and livestock feed and feces ($P<0.05$)

高水平。

总体来说,不同组分猪、奶牛、鸡粪中 Zn 含量差异显著,这可能与饲料中 Zn 添加量和喂饲水平有关。

2.5 不同畜禽饲料和对应粪便中 Zn 含量的关系

不同畜禽饲料与对应粪便中 Zn 含量之间的关系见图 1。除了种猪和成年蛋鸡,猪、奶牛、鸡粪便中 Zn 含量与其饲料中 Zn 含量具有显著或极显著的正相关关系,说明畜禽粪便中的 Zn 主要来源于其饲料饲喂。

图 1 中线性回归方程的斜率可粗略表示粪便和饲料中 Zn 的“浓缩系数”,一定程度地反映畜禽粪便中 Zn 含量随饲料中 Zn 含量增加而增加的倍数。断奶仔猪、母猪、育肥猪和种猪的“浓缩系数”分别为 6.61、4.74、4.98 和 4.40,可认为猪粪中 Zn 的浓缩效应由大到小依次为:断奶仔猪、育肥猪、母猪和种猪。这也反映了不同功能和年龄的猪对 Zn 的吸收利用和排泄的不同水平,其中断奶仔猪对 Zn 的利用率最低。肉鸡和蛋鸡 Zn 的“浓缩系数”为 2.94 和 2.58,水平相当。三组蛋鸡中,成年蛋鸡、青年蛋鸡和雏蛋鸡的“浓缩系数”依次为 3.80、2.06 和 2.52。三组奶牛中,Zn 的“浓缩系数”大小依次为犍牛 1.12、泌乳牛 1.09 和非泌乳牛 1.01。牛粪中 Zn 含量与饲料几乎相等,部分牛粪样本 Zn 含量还低于饲料中 Zn 含量。分析认为,相比猪而言,调查样本中奶牛对饲料中 Zn 的利用率较高。

3 结论

(1)北京市集约化养殖畜禽饲料和粪便中 Zn 含量变异较大,猪饲料和猪粪中 Zn 含量远高于奶牛和鸡。猪、奶牛、鸡饲料中 Zn 平均含量分别为 347.57、86.44、138.76 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;猪粪中 Zn 平均含量高达 2 333.97 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,奶牛和鸡粪分别为 119.41、391.01 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。猪饲料和猪粪 Zn 超标率分别为 9.3%和 15.0%,奶牛、鸡饲料和粪便均不超标。

(2)畜禽粪便中 Zn 与其饲料中 Zn 含量之间具有显著或极显著的正相关关系。畜禽饲料中含 Zn 添加剂的使用,导致畜禽粪便含高浓度的 Zn 残留,其中猪饲料中的 Zn 在猪粪中的累积效应最为明显,达 4.40~6.61 倍。

(3)我国还没有畜禽饲料中 Zn 的限量标准。北京地区畜禽粪便中的 Zn 可以补充土壤中 Zn 的含量,但是 Zn 含量太高的畜禽粪便可能引起土壤和农产品的 Zn 含量超标。因此,有必要加快制定规模化养殖畜禽饲料和粪便中的重金属控制标准,规范畜禽饲料添加剂的使用,降低畜禽粪便农用的环境污染风险。

参考文献:

- [1] 李松岩. 猪饲料中高剂量的铜锌对环境的影响及其控制[D]. 南京: 南京农业大学兽医学院, 2005.
LI Song-yan. The assessment and control of environmental impact of high-dose zinc and copper in the pig's feed[D]. Nanjing: College of Veterinary Medicine, Nanjing Agricultural University, 2005.
- [2] 冯秉福, 赵新全, 曹俊虎. 微量元素锌在动物生产中的作用[J]. 中国畜牧兽医, 2008, 435(6): 26-29.
FENG Bing-fu, ZHAO Xin-quan, CAO Jun-hu. The functions of the trace element zinc in animal product[J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2008, 435(6): 26-29.
- [3] Cang L, Wang Y J, Zhou D M, et al. Study of heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu Province[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2004, 16(3): 371-374.
- [4] Nicholson F A, Chambers B J, Williams J R, et al. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales[J]. *Biore-source Technology*, 1999, 70(1): 23-31.
- [5] Nicholson F A, Smith S R, Alloway B J. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales[J]. *Sci Total Environ*, 2003, 311(1-3): 205-219.
- [6] 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): 822-829.
ZHANG Shu-qing, ZHANG Fu-dao, LIU Xiu-mei, et al. Determination and analysis on main harmful in excrement of scale livestock and poultry feedlots[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(6): 822-829.
- [7] Bolan N S, Khan M A, Donaldson D C, et al. Distribution and bioavailability of copper in farm effluent[J]. *Sci Total Environ*, 2003, 309(1-3): 225-236.
- [8] 王建辉, 康琳. 猪饲料中高铜、高锌的危害[J]. 饲料营养, 2003(9): 40-42.
WANG Jian-hui, KANG Lin. The harmful of high Cu and Zn in pig feed[J]. *Feed Nutrition*, 2003(9): 40-42.
- [9] 刘荣乐, 李书田, 王秀彬, 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 Agro-Environment Science*, 2005, 24(2): 392-397.
- [10] 姚丽贤, 李国良, 党志. 集约化养殖畜禽粪中主要化学物质调查[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1989-1992.
YAO Li-xian, LI Guo-liang, DANG Zhi. Major chemical components of poultry and livestock manures under intensive breeding [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(10): 1989-1992.
- [11] 陈同斌, 郑国砥, 高定, 等. 关于《农用污泥中污染物控制标准》中锌限量值的讨论[J]. 环境科学学报, 2007, 27(7): 1057-1065.
CHEN Tong-bin, ZHENG Guo-di, GAO Ding, et al. Approach to limit of zinc in "China's National Standards of Sewage Sludge Applied to Agricultural Soils" (GB42842284)[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(7): 1057-1065.

- [12] 荣俊, 赵阿勇, 肖立新, 等. 对市售猪饲料中铜、锌、铬含量的评测[J]. 饲料工业, 1998, 19(5): 17-19.
RONG Jun, ZHAO A-yong, XIAO Li-xin, et al. The determination and evaluation on copper, zinc, chromium contents in pig feed on the market[J]. *Feed Industry*, 1998, 19(5): 17-19.
- [13] 李清宏, 罗绪刚. 仔猪和生长肥育猪微量元素营养需要量的研究进展[J]. 饲料工业, 1999, 20(6): 33-35.
LI Qing-hong, LUO Xu-gang. Advances of requirements of trace elements for weaning and growing-finishing pigs in nutrition[J]. *Feed Industry*, 1999, 20(6): 33-35.
- [14] 赵坤. 微量元素锌在猪营养中的研究进展[J]. 江西畜牧兽医杂志, 2000(5): 34-46.
ZHAO Kun. Advances of the zinc research in the nutrition of pigs[J]. *Jiangxi Journal of Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2000(5): 34-46.
- [15] 庞全海, 张莉, 张春有, 等. 微量元素锌在动物健康及营养中的研究进展[J]. 动物医学进展, 2002, 23(2): 41-43.
PANG Quan-hai, ZHANG Li, ZHANG Chun-you, et al. Advances of the zinc research in the health and nutrition of animals[J]. *Progress of Veterinary Medicine*, 2002, 23(2): 41-43.
- [16] 范颖, 周丽荣, 范强. 微量元素锌在动物营养中的应用[J]. 辽宁农业职业技术学院学报, 2006, 8(1): 12-14.
FAN Ying, ZHOU Li-rong, FAN Qiang. Discussion on the mechanism of zinc as nutrition and its application in animal nutrition[J]. *Journal of Liaoning Agricultural College*, 2006, 8(1): 12-14.
- [17] 赵昕红, 李德发, 田福刚, 等. 高锌和高铜对仔猪生长性能、免疫机能和抗氧化酶活性的影响[J]. 中国农业大学学报, 1999, 4(1): 91-96.
ZHAO Xin-hong, LI De-fa, TIAN Fu-gang, et al. Effect of high level of zinc and copper on piglet growth performance, immune response and blood antioxidative enzyme activities in blood[J]. *Journal of China Agricultural University*, 1999, 4(1): 91-96.
- [18] Muirhead, Sarah. Feeding of high levels of zinc oxide found benefited to weanling pigs[J]. *Feedstuffs*, 1992(9): 22-25.
- [19] Hahn J D, Baker D H. Growth and plasma zinc responses of young pigs fed pharmacologic levels of zinc [J]. *Journal of Animal Science*, 1993, 71(11): 3020-3024.
- [20] Hill G M, Cromwell G L, Crenshaw T D, et al. Impact of pharmacologic intakes of zinc and (or) copper on performance of weanling pigs[J]. *Journal of Animal Science*, 1996, 74(Suppl. 1): 181-184.
- [21] 许梓荣, 王敏奇. 氧化锌和蛋白锌盐对仔猪生长和消化的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 1999, 25(1): 103-106.
XU Zi-rong, WANG Min-qi. Effect of zinc oxide and zinc proteinate on growth and digestion of weanling pigs[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 1999, 25(1): 103-106.
- [22] 张桂芝, 黄保华, 石天红, 等. 锌在蛋雏鸡上的应用效果研究[J]. 山东农业科学, 2001(5): 36-37.
ZHANG Gui-zhi, HUANG Bao-hua, SHI Tian-hong, et al. Zinc in chicken eggs on the application of research results[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2001(5): 36-37.
- [23] Bartlett J R, Smith M O. Effects of different levels of zinc on the performance and immune competence of broilers under heat stress[J]. *Poultry Science*, 2003, 82(10): 1580-1588.
- [24] Maiorka A, Laurentiz A C, Santin E, et al. Dietary vitamin or mineral mix removal during the finisher period on broiler chicken performance [J]. *Journal of Applied Poultry Research*, 2002, 11(2): 121-126.