

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

刘荣乐, 李书田, 王秀斌, 王 敏

(中国农业科学院土壤肥料研究所, 北京 100081)

摘 要: 采用调查采样及室内测试方法, 分析了我国主要商品有机肥料和有机废弃物的重金属含量状况。结果表明, 我国商品有机肥中重金属 Zn、Cu、Cr、Pb、Cd、Ni、Hg 和 As 的含量变异很大, 从痕量到百分之几, 平均分别为 732.4、75.4、53.5、36.6、5.64、21.0、0.44 及 2.96 mg · kg⁻¹。按照目前有机 – 无机复混肥国家标准, Cr、Pb、Cd、As 和 Hg 超标率并不高, 参照德国腐熟堆肥中重金属限量标准, 则 Zn、Cu、Cr、Pb、Cd、Ni、Hg 的超标率分别为 19.1%、16.7%、9.3%、1.2%、67.9%、45.1%、10.5%。商品有机肥中重金属含量与所使用的有机物料中重金属含量呈显著正相关 ($r = 0.440 \sim 0.9377$)。目前, 世界各国对畜禽粪便等有机废弃物中的重金属没有相应的限量标准, 参照德国腐熟堆肥中部分重金属限量标准, 对于 Zn、Cu、Cr、Cd、Ni, 我国鸡粪中的超标率为 21.3% ~ 66.0%, 以 Cd、Ni 超标为主; 猪粪中超标率为 10.3% ~ 69.0%, 以 Zn、Cu、Cd 超标为主; 牛粪中超标率为 2.4% ~ 38.1%, 以 Cd 超标为主; 羊粪中 Zn、Cd、Ni 和 Hg 的超标率为 6.7% ~ 20.0%, 以 Cd、Ni 超标为主; 农作秸秆、菜籽饼和味精下脚料、糠醛渣和造纸废弃物中以 Cd、Ni 超标为主, 分别为 38.7% 和 22.6%; 堆肥中以 Cd、Ni 超标为主, 分别为 83.3% 和 41.7%, 但这些有机物料中 Pb 的含量不超标。

关键词: 商品有机肥料; 有机废弃物; 畜禽粪便; 重金属; 含量

中图分类号: X833 文献标识码: A 文章编号: 1672 – 2043(2005)02 – 0392 – 06

Contents of Heavy Metal in Commercial Organic Fertilizers and Organic Wastes

LIU Rong-le, LI Shu-tian, WANG Xiu-bin, WANG Min

(Soil and Fertilizer Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Heavy metals in main commercial organic fertilizers and organic wastes in China were monitored and analyzed. There was great variability in the contents of heavy metals such as Zn, Cu, Cr, Pb, Cd, Ni, Hg and As in the commercial fertilizers. On average, the contents of the above heavy metals were 732.4, 75.4, 53.5, 36.6, 5.64, 21.0, 0.44 and 2.96 mg · kg⁻¹, respectively. According to GB18877 – 2002 for organic – inorganic compound fertilizers, the number of the samples in which the concentrations of Cr, Pb, Cd exceed standard limitations was only 1, 2 and 9, respectively, in the total 162 tested samples. Neither As nor Hg in the samples was over the standard limitations. However, in reference to the limitations of mature compost in Germany about 19.1%、16.7%、9.3%、1.2%、67.9%、45.1%、10.5% of samples exceeded the limitations for Zn, Cu, Cr, Pb, Cd, Ni and Hg, respectively. The contents of heavy metals in commercial organic fertilizers was significantly correlated with that in the raw organic materials ($r = 0.440 \sim 0.9377$). The content of some heavy metals in various organic wastes increased greatly compared with those tested in the 1990's. The reason for causing the pollution of the heavy metals in organic wastes was complicated. According to the limitations of mature compost in Germany, in chicken manure, for example, the percentage of the samples exceeding limitation for Zn, Cu, Cr, Cd, Ni was 31.9%, 23.4%, 21.3%, 66.6% and 57.4%, respectively. In hog manure: for Zn, Cu, Cr, Cd, Ni and Hg was 58.6%, 69.0%, 10.3%, 51.7%, 24.1% and 3.4%, respectively. In cattle manure: for Zn, Cu, Cr, Cd, Ni was 4.8%, 9.5%, 2.4%, 38.1% and 21.4%, respectively. In sheep manure: for Zn, Cd, Ni and Hg was 6.7%, 20.0%, 20.0% and 6.7%, respectively. In crop straw, seed cake, wastes from monosodium glutamate, furfural and paper production etc. the percentage of samples that exceed limitation for Zn, Cu, Cd, Ni and Hg was 3.2%, 3.2%, 38.7%, 22.6% and 6.5%, respectively. In compost, for Zn, Cu, Cr, Cd, Ni and Hg was 16.7%, 8.3%, 16.7%, 83.3%, 41.7% and 16.7%, respectively. In chicken and sheep manure, compost and organic wastes from crop straw, seed cake, monosodium glutamate, furfural and paper production Cd and Ni were the main heavy metals that excess limitations. But in hog manure Zn, Cu and Cd were the main heavy metals that excess limitations, and in cattle manure only Cd was the main heavy metals that excess limitations. The content of Pb in all organic wastes is below the limitation. Further studies need to be taken for establishing national standard limitations not only considering the concentration of heavy metals in organic fertilizers but also considering maximum application rate and accumulation effects of long – term applications.

Keywords: commercial organic fertilizer; organic waste; animal manure; heavy metals; content

收稿日期: 2004 – 07 – 24

基金项目: 国家科技攻关计划重要技术标准研究专项课题(2002BA906A16)

作者简介: 刘荣乐(1963 —), 男, 博士, 研究员, 从事有机废弃物利用研究。E – mail: rlliu@caas.net.cn

现代农业中有机肥在农产品生产中占有极其重要的地位,是无公害农业和绿色食品生产中的主要肥料。随着我国工农业的发展,产生大量的有机废弃物,这些有机废弃物的农用是处理这些废弃物最经济有效的措施之一。用这些物料生产的有机肥虽然可以提供有机质和部分大中微量元素,但目前的有机肥已发生了质的变化,同样存在着严重的安全隐患。有机肥料的物料来源十分广泛,如规模化畜禽场的畜禽粪便、污泥、城市垃圾、工农业有机废弃物等。这些物料生产的有机肥中重金属等存在着被作物吸收而进入食物链和在农业环境中积累而污染农产品和环境的很大风险。

虽然农业部在上个世纪 90 年代初对我国主要有机肥源中的养分和有害元素进行了系统调查和分析^[1],但随着农业和畜牧业的迅速发展,农业废弃物和畜禽粪便等的成分发生了很大变化,国外有机肥料产品已瞄准并开始进入我国市场。目前,许多国家尤其是发达国家对有机肥料的生产和使用有严格的质量安全管理、标准和监督体系,而我国目前对有机肥的生产和使用的管理还很薄弱,对其中的有毒有害物质还没有限量标准。因此,研究我国目前商品有机肥和有机废弃物中重金属的含量状况,对于充分了解和评价有机肥的安全现状,为规范有机肥料生产、进口和使用,为有机肥料标准的制定都是十分必要的。

1 材料与方法

1.1 商品有机肥和有机废弃物样品的采集

在全国范围内包括山东、山西、黑龙江、吉林、甘肃、宁夏北方 6 省和广东、广西、湖南、湖北、贵州、云南、江西、上海南方 8 省(市)采取有代表性的样品 346 个,包括商品有机肥料 162 个和有机废弃物 184 个。肥料烘干粉碎后,过 1 mm 筛储存备用。

1.2 测定方法

采用盐酸-硝酸(3:1)消化(GB18877—2002)提取^[2],Zn、Cu、Cr、Pb、Cd、Ni 用原子吸收分光光度法测定,As、Hg 采用原子荧光分光光度法测定。

2 结果与讨论

2.1 商品有机肥料中重金属的含量状况分析

从全国采集的 162 个商品有机肥料样品,大多是畜禽粪便、农业有机废弃物(如作物秸秆、饼粕等)、工业有机废弃物(如糖醛渣、味精下脚料、造纸废液提取物、污泥等)以及草(泥)炭、腐植酸、风化煤等单独或

混合发酵熟化后直接生成,或混配一定量的无机肥料如尿素、二铵、硫酸钾或氯化钾等造粒而成的肥料。

由于商品有机肥料的原料来源复杂,其重金属含量差异较大,从痕量到百分之几,不同重金属种类含量分布状况也有差异,见图 1。Zn 的含量范围为 0.0~63 647.5 mg·kg⁻¹,平均为 732.4 mg·kg⁻¹,61.1% 的样品小于 200 mg·kg⁻¹,小于 1 000 mg·kg⁻¹ 的占 92.6%,大于 1 000 mg·kg⁻¹ 的只有 7.4%;Cu 的含量范围为 0.0~998.6 mg·kg⁻¹,平均为 75.4 mg·kg⁻¹,83.3% 的样品小于 100 mg·kg⁻¹,小于 500 mg·kg⁻¹ 的占 96.9%,大于 500 mg·kg⁻¹ 的只有 3.1%;Cr 的含量范围为 0.5~2 386.3 mg·kg⁻¹,平均为 53.5 mg·kg⁻¹,90.8% 的样品小于 100 mg·kg⁻¹,小于 500 mg·kg⁻¹ 的占 99.4%,大于 500 mg·kg⁻¹ 的只有 0.6%;Pb 的含量范围为 0.7~1 352.0 mg·kg⁻¹,平均为 36.6 mg·kg⁻¹,75.9% 的样品小于 30 mg·kg⁻¹,小于 150 mg·kg⁻¹ 的占 98.8%,大于 150 mg·kg⁻¹ 的只有 2 个,占 1.2%;Cd 的含量范围为 0.2~256.0 mg·kg⁻¹,平均为 5.64 mg·kg⁻¹,1/2 以上的样品 Cd 含量在 1.0~3.0 mg·kg⁻¹ 之间,小于 5 mg·kg⁻¹ 的占 90.7%,大于 10 mg·kg⁻¹ 的有 9 个,占 5.6%;Ni 的含量范围为 3.6~84.4 mg·kg⁻¹,平均为 21.0 mg·kg⁻¹,1/2 以上的样品 Ni 含量小于 20 mg·kg⁻¹,小于 50 mg·kg⁻¹ 的样品占 96.3%。砷的含量范围为 0~14.1 mg·kg⁻¹,平均为 2.96 mg·kg⁻¹,80% 的 As 含量小于 5 mg·kg⁻¹,小于 10 mg·kg⁻¹ 的占 96.3%。Hg 的含量范围为 0~4.4 mg·kg⁻¹,平均为 0.44 mg·kg⁻¹,90% 的 Hg 含量小于 1.0 mg·kg⁻¹。

我国对有机肥中重金属没有限量标准,按照现有的有机-无机复混肥料的国家标准(GB18877—2002)对重金属 Cr(500 mg·kg⁻¹)、Pb(150 mg·kg⁻¹)、Cd(10 mg·kg⁻¹)、As(50 mg·kg⁻¹) 和 Hg(5 mg·kg⁻¹) 的限量来看,在采取的 162 个商品有机肥中,有 1 个样品 Cr 超标,2 个样品 Pb 超标,9 个样品 Cd 超标,As 和 Hg 在所测定的样品中均不超标,对 Zn、Cu、Ni 含量没有相应的标准。但按照德国腐熟堆肥中部分重金属限量标准,即 Zn、Cu、Cr、Pb、Cd、Ni、Hg 的最高限量分别为 400、100、100、150、1.5、20、1.0 mg·kg⁻¹DM^[3],则测定的 162 个商品有机肥样品中分别有 31、27、15、2、110、73 和 17 个样品超标,分别占 19.1%、16.7%、9.3%、1.2%、67.9%、45.1% 和 10.5%,其中 Cd 的超标最严重,其次为 Ni、Zn、Cu、

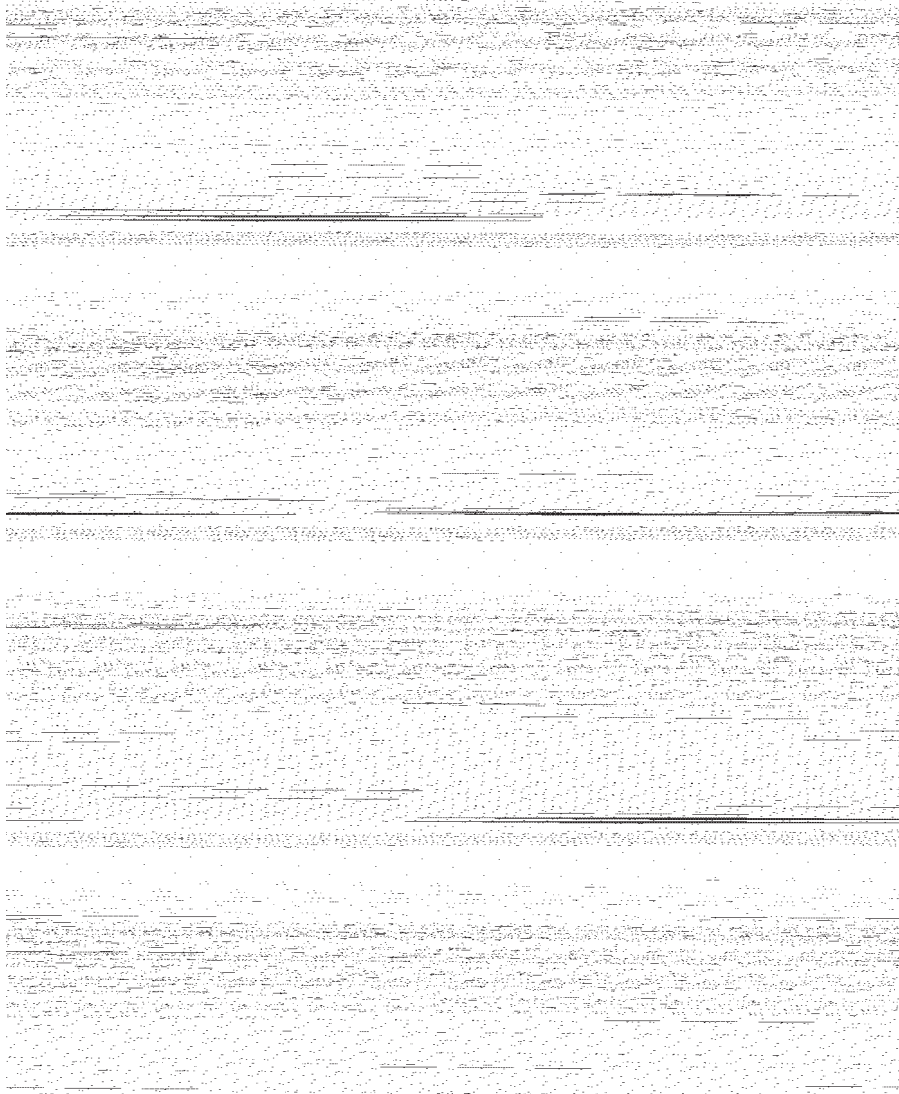


图 1 商品有机肥中重金属的含量分布状况

Figure 1 Frequent distribution of heavy metal contents in commercial organic fertilizers

Hg、Cr、Pb 超标较少。

国外对有机肥中重金属的限量标准主要针对城市固体废弃物(MSW)或含有 MSW 和工业/农业废弃物的混合物以及污泥制成的商品堆肥,除考虑堆肥本身的重金属含量外,还对土壤中最高含量和年最高承载量作了规定^[4]。我国对商品有机肥中重金属的限量没有标准,而且有机肥料的安全用量和土地年承载量还不完全清楚,还缺乏长期试验监测有机肥中重金属在土壤中的残留、积累和污染风险的信息。因此,有必要进一步研究有机肥的合理施用技术以及长期施用有机肥料对土壤中重金属的积累和生物有效性的影响,从而正确评价有机肥料的安全风险。

不同物料生产的有机肥中重金属含量有一定的差异,以鸡粪为原料生产的有机肥中 Zn 含量较高,以

猪粪为原料生产的有机肥中 Zn、Cu 的含量较高,这可能与饲料添加剂的种类有关,有待进一步研究。以腐植酸、风化煤、作物秸秆等为主要原料生产的有机肥中重金属含量均不高,见表 1。图 2 的结果表明,有机废弃物中重金属含量与用其生产有机肥料中的重金属含量之间具有显著的正相关关系,对 Zn、Cu、Cr、Pb、Cd、Ni、As、Hg 来说,相关系数(r)分别为 0.837 4、0.645 7、0.937 7、0.830 9、0.749 6、0.533 8、0.440、0.591 2。说明有机物料的安全性直接影响到商品有机肥的安全质量,见图 2。畜禽粪便商品有机肥料的主要原料,随着饲料添加剂的应用,畜禽粪便中 Zn、Cu 等含量增加,势必影响商品有机肥料的质量。但商品有机肥中的重金属含量还可能受所加入的粘结剂和无机肥料等物料的影响。

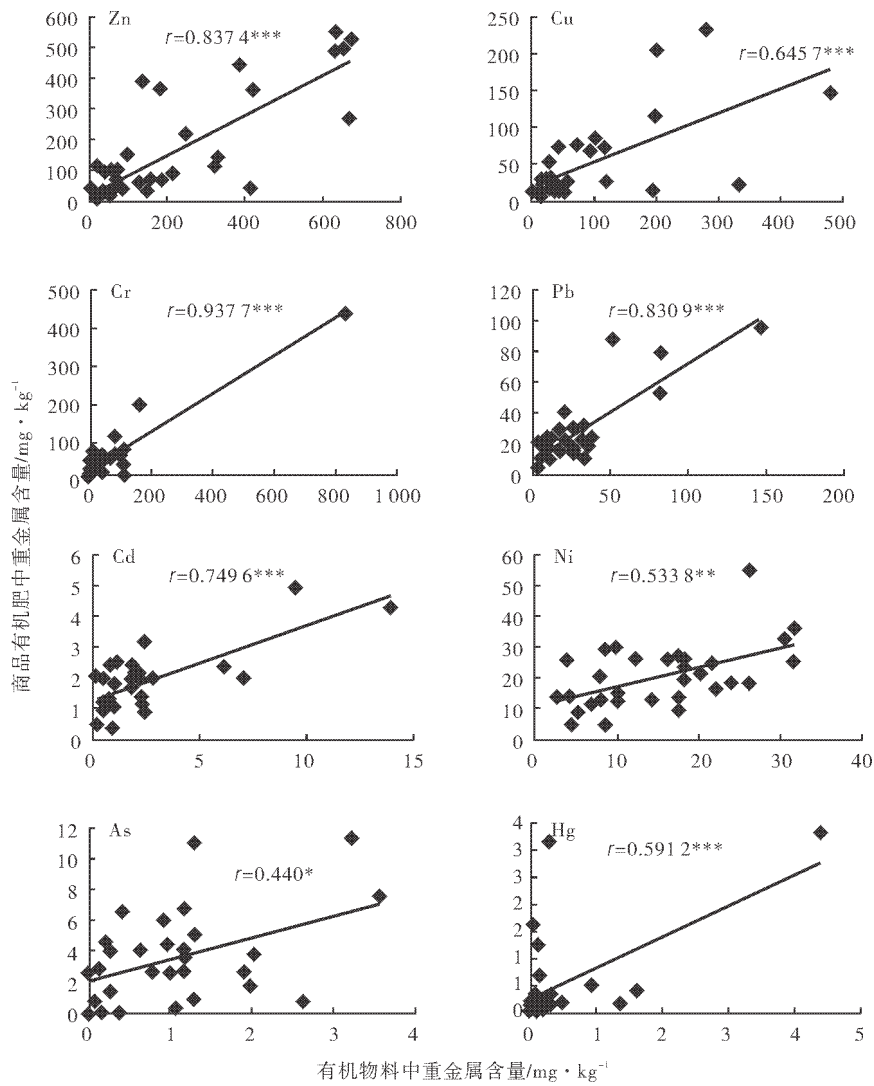


图 2 商品有机肥料与对应有机物料中重金属含量间的关系

Figure 2 Relationship between heavy metal contents in commercial organic fertilizers and that in their raw organic materials

表 1 不同有机物料生产的商品有机肥中重金属的的平均含量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 1 Heavy metal concentrations in commercial organic fertilizers manufactured from different raw organic materials

物料种类	样本数	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	As
腐植酸	5	68.7	20.0	23.2	32.6	2.3	24.6	1.2	7.7
味精、造纸废弃物	8	13.1	6.2	8.2	11.4	1.1	11.0	0.3	1.0
作物秸秆	11	69.9	20.7	37.5	16.7	1.3	19.5	0.3	3.0
鸡粪	14	275.8	72.6	51.4	26.6	2.4	20.2	0.1	2.6
猪粪	7	615.0	414.7	53.5	40.0	2.7	22.0	0.5	3.6

2.2 畜禽粪便等有机废弃物中重金属的含量状况

在所调查的有机废弃物中,猪粪中 Zn、Cu、Cd、As 的平均含量高于其他有机废弃物,而鸡粪中 Cr 的平均含量高于其他畜禽粪便、堆肥和工农业有机废弃物如秸秆、菜籽饼、味精下脚料、糠醛渣、造纸废弃物等,但城市污泥中 Cr、Pb、Ni、Hg 的平均含量较高(表 2)。Drechsel and Kunze(2001)也指出,不同有机废弃物中,污泥和猪粪中的重金属含量高于其他来源的废

弃物如牛粪、人类尿液和堆肥^[5]。世界各国对畜禽粪便等有机废弃物中的重金属还没有相应的限量标准,但欧洲一些国家如比利时、荷兰和德国对堆肥中重金属有较为严格的限量,参考德国腐熟堆肥中部分重金属限量标准^[3],经过分析比较,鸡粪中 Zn、Cu、Cr、Cd、Ni 的超标率分别为 31.9%、23.4%、21.3%、66.0%、57.4%;猪粪中 Zn、Cu、Cr、Cd、Ni、Hg 超标率分别为 58.6%、69.0%、

表 2 有机废弃物中重金属的含量状况 (mg · kg⁻¹ 干重)
Table 2 Concentrations of heavy metals in organic wastes (mg · kg⁻¹DM)

元素	项目	鸡粪 (n = 47)	猪粪 (n = 29)	牛粪 (n = 42)	羊粪 (n = 15)	秸秆等废弃物 ^a (n = 31)	堆肥/厩肥 (n = 12)	污泥/滤泥 (n = 8)
Zn	范围	0.0 ~ 1017.7	40.5 ~ 2286.8	42.2 ~ 634.4	30.2 ~ 435.4	4.3 ~ 560.7	52.0 ~ 1014.0	92.5 ~ 1539.5
	平均值	5	656.2	7	2	103.4	261.4	516.0
	中值	309.5	541.8	151.9	123.4	70.2	143.8	497.5
	超标率/% ^b	262.8	58.6	105.2	70.2	3.2	16.7	12.5
		31.9		4.8	6.7			
Cu	范围	16.8 ~ 736.4	10.2 ~ 1742.1	8.8 ~ 437.2	13.2 ~ 59.2	0.0 ~ 116.2	14.5 ~ 786.4	27.8 ~ 589.2
	平均值	5	452.2	46.5	28.7	27.4	98.9	175.0
	中值	91.6	452.4	27.8	28.7	21.9	37.1	163.9
	超标率/%	45.3	69.0	9.5	0	3.2	8.3	0
		23.4						
Cr	范围	4.4 ~ 1482.2	3.8 ~ 316.3	2.6 ~ 140.2	3.3 ~ 21.6	0.9 ~ 87.7	9.9 ~ 338.4	10.1 ~ 783.5
	平均值	9	42.8	15.2	8.0	17.1	65.6	151.2
	中值	98.3	17.1	10.0	5.8	7.3	32.6	75.0
	超标率/%	18.7	10.3	2.4	0	0	16.7	0
		21.3						
Pb	范围	1.8 ~ 143.3	5.1 ~ 42.8	0.8 ~ 50.0	2.8 ~ 23.4	3.2 ~ 137.8	8.9 ~ 130.6	19.9 ~ 334.5
	平均值	23.3	17.4	15.7	12.4	21.9	32.6	89.2
	中值	19.4	13.0	13.1	10.6	15.5	24.3	57.6
	超标率/%	0	0	0	0	0	0	0
Cd	范围	0.3 ~ 23.1	0.44 ~ 42.7	0.05 ~ 51.5	0.3 ~ 4.7	0.05 ~ 11.6	0.9 ~ 4.6	1.2 ~ 7.1
	平均值	3.2	4.6	3.4	1.3	1.8	2.7	3.1
	中值	1.9	1.7	1.1	0.7	0.9	2.7	2.7
	超标率/%	66.0	51.7	38.1	20.0	38.7	83.3	0
Ni	范围	3.9 ~ 39.4	5.7 ~ 43.6	2.5 ~ 31.3	4.1 ~ 24.4	0.8 ~ 45.7	11.4 ~ 27.9	14.2 ~ 49.3
	平均值	20.5	16.0	14.1	12.4	14.2	19.3	32.3
	中值	21.4	15.1	12.9	9.9	12.4	18.2	32.3
	超标率/%	57.4	24.1	21.4	20.0	22.6	41.7	0
As	范围	0.08 ~ 8.25	0.07 ~ 18.9	0.0 ~ 14.9	0.02 ~ 4.3	0.0 ~ 14.1	0.08 ~ 3.6	0.97 ~ 16.2
	平均值	2.53	5.02	2.01	1.46	2.14	2.12	4.82
	中值	1.89	3.28	1.44	0.78	0.82	2.50	3.53
	超标率/%	0	0	0	0	0	0	0
Hg	范围	0.03 ~ 0.86	0.02 ~ 1.75	0.03 ~ 0.31	0.02 ~ 1.98	0.01 ~ 1.61	0.05 ~ 2.94	0.03 ~ 4.40
	平均值	0.12	0.18	0.10	0.19	0.25	0.45	1.45
	中值	0.08	0.08	0.07	0.06	0.1	0.16	0.90
	超标率/%	0	3.4	0	6.7	6.5	16.7	0

注：^a 主要包括腐熟秸秆、菜籽饼、蔗渣、糠醛渣、造纸或味精厂有机废弃物等。^b 畜禽粪便等有机废弃物参考德国腐熟堆肥重金属限量标准^[3]，污泥参照我国农用污泥重金属含量标准^[6]。

10.3%、51.7%、24.1%和3.4%；牛粪中Zn、Cu、Cr、Cd、Ni超标率分别为4.8%、9.5%、2.4%、38.1%和21.4%；羊粪中Zn、Cd、Ni和Hg的超标率分别为6.7%、20.0%、20.0%和6.7%；作物秸秆、糠醛渣等有机废弃物中Zn、Cu、Cd、Ni、Hg的超标率分别为3.2%、3.2%、38.7%、22.6%和6.5%；堆肥中Zn、Cu、Cr、Cd、Ni、Hg的超标率分别为16.7%、8.3%、16.7%、83.3%、41.7%和16.7%。但这些有机废弃物中Pb含量都不超标。按照我国农用污泥重金属含量标准^[6]，8个污泥样品中，只有一个样品Zn含量超标。

当前部分有机废弃物中的重金属含量与上个世纪90年代初相比，部分重金属含量增加，见表2、表3。鸡粪和猪粪中Zn、Cu、Cr、Cd、As、Hg增加较多，牛粪中Zn、Cu、As、Hg含量增加，羊粪则变化不大，可能是饲料添加剂用量增加的原因。秸秆等有机废弃物中所有重金属的含量均有所增加，但变化不大，堆肥中Zn、Cu、Cr增加2~4倍。

畜禽粪便等有机废弃物是生产商品有机肥料的重要有机物料来源，直接影响到商品有机肥料的品质，而且有机废弃物还以有机肥的形式直接用于农业生产，因此，有机物料中有毒有害物质如重金属含量

表 3 20 世纪 90 年代初我国一些有机废弃物中重金属的含量状况($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 干重)

Table 3 Concentrations of heavy metals in organic wastes collected in early 1990's ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}\text{DM}$)

	鸡粪	猪粪	牛粪	羊粪	秸秆、饼肥、渣肥等	堆肥
Zn	159.6	137.2	100.3	110.5	40.2	85.5
Cu	52.4	37.6	26.9	44.3	12.5	28.8
Cr	20.5	10.6	6.1	11.3	4.0	12.7
Pb	29.3	13.2	12.0	25.8	3.7	25.4
Cd	0.5	0.9	1.4	2.5	0.68	1.4
Ni	19.5	12.7	8.1	12.4	—	21.4
As	0.3	1.1	1.0	1.6	0.7	2.0
Hg	0.03	0.07	0.04	0.07	0.04	0.29

资料来源:邢文英和李荣,1999^[1]。

直接影响农产品的安全生产。目前我国只对城镇垃圾和污泥的农用制定了相应的标准^[6、7],但对畜禽粪便等其他有机废弃物中有毒有害物质还没有安全控制标准。另外,一些标准缺少长期定位研究结果的支持,并缺少对施用年限和年施用量的规定。虽然施用畜禽粪便时,其中的重金属可能不会影响当季作物的质量安全,但因为重金属具有累积的特点,长期施用会在土壤中积累而具有超过土壤环境质量标准(GB 15618—1995)^[8]的风险。因此,开展有机废弃物安全控制标准的研究,对规范和指导商品有机肥料的安全生产,对发展无公害食品和绿色食品生产至关重要,是保障从农田到餐桌的全过程监控的技术保障。

3 结论与建议

(1)商品有机肥中重金属 Zn、Cu、Cr、Pb、Cd、Ni、Hg 和 As 的含量变异很大,从痕量到百分之几,平均分别为 732.4、75.4、53.5、36.6、5.64、21.0、0.44 及 2.96 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。商品有机肥中重金属含量与所使用的有机物料中重金属含量呈显著正相关。参照有机—无机复混肥国家标准,Cr、Pb、Cd、As 和 Hg 超标率并

不高。

(2)不同来源的有机废弃物中重金属含量差异也很大。猪粪中 Zn、Cu、Cd、As 的平均含量高于其他有机废弃物,而鸡粪中 Cr 的平均含量较高。参照德国腐熟堆肥标准,有相当一部分样品的重金属含量超标,猪粪以 Zn、Cu、Cd 超标为主,牛粪以 Cd 超标为主,鸡粪、羊粪、堆肥和其他有机废弃物以 Cd、Ni 超标为主。

(3)目前针对有机肥中重金属还没有相应的限量标准,对有机肥料的施用应该考虑其中的重金属含量和土壤年最高承载量,因为重金属具有累积的特点,长期施用会在土壤中积累而具有超过土壤容量的风险。因此,开展有机肥料安全控制标准研究,对于指导有机肥料的安全生产和施用至关重要。

参考文献:

[1] 邢文英,李 荣. 中国有机肥料养分数据库[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1999.

[2] GB18877—2002.《有机—无机复混肥料》[S].

[3] Verdonck O, Szmidt RAK. Compost Specifications[J]. *Acta Horticulturae*, 1998, 469: 169—177.

[4] Zucconi F, Bertoldi M DE. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste[A]. In: Bertoldi, M. DE, Ferranti, M. P., L' Hermite, P. and Zucconi F. (eds.). Compost: Production, Quality and Use[C], Elsevier Applied Science, London and New York. 1987. 30—40.

[5] Drechsel P, Kunze D. Waste composting for urban and peir—urban agriculture: closing the rural—urban nutrient cycle in sub—saharan Africa[M]. International Water Management Institute, Africa Office, Grana and FAO of the United Nations, Regional Office for Africa, Ghana. 2001. 139.

[6] 杨毓峰,薛澄泽,袁红旭,杨雪峰. 城市污泥堆肥商品化应用问题的探讨[J]. 农业环境与发展, 2000, 17(1): 6—8.

[7] GB 8172—87.《城镇垃圾农用控制标准》[S].

[8] GB 15618—1995.《土壤环境质量标准》[S].