

北京商品有机肥重金属含量与污染程度分析

范珊珊, 刘继远, 高飞, 季卫, 李昌伟, 谭晓东 (北京市土肥工作站, 北京 100029)

摘要 通过北京市 2012—2019 年的 788 个商品有机肥料样品检测, 分析北京市商品有机肥料重金属含量状况和污染程度情况。结果表明, 重金属 Hg、As、Pb、Cr 和 Cd 的含量差异和变异系数值均较大, 平均值分别为 0.3、8.0、11.5、53.9 和 0.3 mg/kg, 均符合农业行业标准 NY 525—2012 有机肥料中重金属限量标准。近 8 年来重金属 Hg、As、Pb、Cr 和 Cd 含量整体呈下降趋势, 分别下降了 50.0%、21.2%、26.1%、48.1% 和 50.0%。5 种重金属元素总体超标状况为 As>Cr>Pb>Hg>Cd, 超标率较低, 合格率以 2.4 %/a 的趋势增长。Cr 每年都有超标, As 仅有 2017 年未超标, As 和 Cr 含量成为限制商品有机肥品质提高的关键因素。5 种重金属单因子污染指数均小于 1.0, 全部为清洁等级范围。内梅罗综合污染指数 $P_{\text{综}}$ 除 2016 年在警戒线边缘 ($P_{\text{综}}=0.75$), 其他全部为安全级别 ($P_{\text{综}}\leq 0.7$)。因此, 北京市商品有机肥重金属整体质量状况和污染程度发展趋势良好, 但在施用过程中应注重控制使用量, 防止环境污染的风险, 尤其加强 As 和 Cr 元素防控。

关键词 商品有机肥; 重金属; 含量; 超标情况; 污染评价

中图分类号 S19 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)10-0083-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.10.022

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis of Heavy Metal Content and Pollution Degree of Commercial Organic Fertilizers in Beijing

FAN Shan-shan, LIU Ji-yuan, GAO Fei et al (Beijing Soil Fertilizer Extension Service Station, Beijing 100029)

Abstract Through the testing of 788 commercial organic fertilizer samples in Beijing from 2012 to 2019, the heavy metal content and pollution level of commercial organic fertilizers in Beijing were analyzed. The results showed that there were great variability in the contents and coefficient of variation in heavy metals such as Hg, As, Pb, Cr and Cd. On average, the contents of the above heavy metals were 0.3, 8.0, 11.5, 53.9 and 0.3 mg/kg, respectively, which were in line with the agricultural industry standard NY 525-2012 for heavy metals in organic fertilizers. In the past 8 years, the content of heavy metals Hg, As, Pb, Cr, and Cd had shown a downward trend as a whole, with a decrease of 50.0%, 21.2%, 26.1%, 48.1% and 50.0% respectively. The order of over the limitation of agricultural standard rate of five heavy metal content was As>Cr>Pb>Hg>Cd, but the exceeding rates of the five heavy metals were relatively low. The passing rate increased by an average of 2.4% per year. The Cr exceeded the limitation every year, and the As exceed too except in 2017. Therefore, the content of As and Cr was the key factor to limit the quality improvement of commercial organic fertilizer. The single factor pollution index was less than 1.0, which indicated the heavy metals were clean level. Nemerow integrated factor pollution index were clean and safe level which was under the 0.7, except the edge of the warning line level in 2016 which was the 0.75. In general, the heavy metals quality and pollution level of commercial organic fertilizer in Beijing were good, but in the application process, the amount of heavy metals should be controlled to prevent the risk of environmental pollution, especially to strengthen the prevention and control of As and Cr elements.

Key words Commercial organic fertilizers; Heavy metals; Content; Excessive situation; Pollution evaluation

有机肥是我国农业生产中非常重要的肥料, 富含丰富的有机质、作物生长必需的养分及有机酸等物质, 具有培肥、改良土壤、提高作物产量的功效, 是绿色农业和有机农业生产中的主要肥料。2015 年农业农村部公布《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》, 明确提出以有机肥替代化肥^[1], 鼓励企业和农民发展有机肥市场, 有机肥应用越来越受到广泛关注。同时, 各地也结合实际, 相应出台了一系列促进有机肥发展的扶持政策, 包括补贴资金等管理措施, 加快推进有机肥资源利用的政策路线、生产应用和行业发展^[2]。

有机肥原料来源广泛、质量参差不齐, 甚至部分商品有机肥产品重金属含量存在超标问题^[3-5]。有研究表明, 不同有机肥产品由于原料和工艺的差别, 重金属含量差别很大^[6], 将这些有机肥施入土壤后, 土壤中重金属元素含量明显增加^[7]。如果过量施用含重金属元素的有机肥, 就会造成土壤重金属污染, 降低土壤肥力, 影响作物生长, 甚至导致农作物重金属超标^[8-10], 最终引发农产品安全问题, 严重威胁人类健康^[11-12]。因此, 掌握有机肥重金属含量状况, 如何有效控制有机肥施用, 降低对农田污染, 成为当前研究的热点。该研究通过对北京市 2012—2019 年连续 8 年检测的商品有

机肥料重金属含量进行统计, 参照《有机肥料》NY 525—2012 限量标准, 分析北京市商品有机肥产品中重金属含量情况和发展趋势, 初步评价北京市有机肥市场重金属污染对环境的影响, 为北京市有机肥行业整体发展和有机肥产品安全监督提供数据支撑和科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品的采集 样品来源于 2012—2019 年北京市肥料检测样品, 包括房山、大兴、顺义、通州、昌平、密云、延庆、怀柔等 12 个区县的 788 个商品有机肥样品, 采样方法按有机肥的采集与处理进行。

1.2 样品重金属测定方法 样品重金属含量参照 NY/T 1978—2010^[13-14] 标准进行处理, 将样品风干后过 2 mm 筛, 置于样品袋中干燥保存, 样品经过盐酸-硝酸消煮后, 用原子吸收分光光度法分析测定 Cd、Pb、Cr, 采用原子荧光分光光度法测定 As、Hg 的含量。

1.3 重金属状况评价标准 商品有机肥中的总 As、总 Hg、总 Pb、总 Cd、总 Cr 等重金属成分限量指标参考 NY 525—2012^[15] 有机肥料中重金属的限量指标(以烘干基计, $Hg\leq 2$ mg/kg, $As\leq 15$ mg/kg, $Pb\leq 50$ mg/kg, $Cr\leq 150$ mg/kg, $Cd\leq 3$ mg/kg), 样品中重金属超标率指所取样本中重金属含量超过限量指标值的样本的百分数。

作者简介 范珊珊(1989—), 女, 山东济南人, 农艺师, 硕士, 从事植物营养和土壤肥料研究。

收稿日期 2020-09-21

1.4 肥料中重金属污染评价方法 采用单因子污染指数法^[16-17]评价5种水溶肥料重金属污染状况,单因子污染指数计算公式如下:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

式中, P_i 为第*i*种重金属的质量分数(单因子污染指数); C_i 为第*i*种重金属含量的均值(mg/kg); S_i 为第*i*种重金属限量标准(mg/kg)。 P_i 值越大重金属污染越严重。

为全面反映5种重金属在商品有机肥中的综合污染状况,采用内梅罗(Nemerow)综合污染指数法^[16-17]比较5种水溶肥料重金属污染的总体差异。计算公式如下:

$$P_{\text{综}} = \sqrt{\frac{(P_i)^2 + (P_{\text{imax}})^2}{2}} \quad (2)$$

$$\bar{P}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (3)$$

式中, $P_{\text{综}}$ 为内梅罗综合污染指数; P_i 为某种重金属单因子污染指数; P_{imax} 为5种重金属单因子污染指数的最大值。综合污染指数法不仅考虑了各种污染物的平均污染状况,而且考虑了污染程度最严重的污染物的权重,能较全面地反映出有机肥重金属污染的真实状况。

1.5 数据处理 采用 Microsoft Excel 2010 统计软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 商品有机肥中重金属含量情况 商品有机肥原料来源复杂,导致重金属含量差异较大,从痕量到千分之几,不同重金属之间含量也有很大差异。对788个有机肥样品的重金属含量进行分析,结果发现(表1),2012—2019年抽检样品中5种重金属元素(Hg、As、Pb、Cr和Cd)的含量平均值远低于限量值。Hg和Cd平均值均为0.3 mg/kg,平均含量最低,变化范围分别在0~45.8和0~10.4 mg/kg,Hg变异系数最高,达882.7%,Cd变异系数为181.8%,均为强变异,说明不同样本重金属含量差异性较大。As变化范围在0.4~54.8 mg/kg,平均含量为8.0 mg/kg,变异系数最低,为72.8%,说明As含量相对集中;Cr平均值最高,为53.9 mg/kg,变化范围最大,在0.2~4 404.2 mg/kg,变化幅度达2万多倍,变异系数仅次于Hg,为478.4%,为强变异。Pb变化范围在0~628.7 mg/kg,与其他重金属比较,变化范围和平均含量均仅次于Cr,变异系数为

表1 商品有机肥中汞、砷、铅、铬、镉含量情况

Table 1 The content of Hg, Pb, As, Cr and Cd in commercial organic fertilizer

元素 Element	范围 Range mg/kg	平均值± 标准差 Mean±SD mg/kg	中位数 Median mg/kg	变异系数 Coefficient of variation %
汞 Hg	0~45.8	0.3±2.3	0.1	882.7
砷 As	0.4~54.8	8.0±5.8	6.6	72.8
铅 Pb	0~628.7	11.5±24.2	7.2	209.8
铬 Cr	0.2~4 404.2	53.9±258.1	17.1	478.4
镉 Cd	0~10.4	0.3±0.6	0.2	181.8

209.8%,为强变异。

从表2可以看出,2012—2019年5种重金属平均含量均有不同程度下降。Hg含量下降50%,Cr含量下降48.1%,其中2016年两者的平均含量均为最高值,这是因为在这一年有2个样品的Hg含量超过40 mg/kg,有2个样品的Cr含量每千克达数千毫克,有10个样品的Cr含量每千克达数百毫克,导致这一年平均含量突然上升。As和Pb平均含量没有明显规律性变化,呈缓慢波动型下降,与2012年相比,平均含量分别下降21.2%和26.1%。Cd含量整体下降50.0%。

表2 商品有机肥重金属年际变化情况

Table 2 Annual variability of heavy metals in commercial organic fertilizer

年份 Year	样本量 Sample size	汞 Hg	砷 As	铅 Pb	铬 Cr	镉 Cd
2012	127	0.2	9.9	11.1	53.9	0.4
2013	88	0.1	8.5	15.4	47.6	0.8
2014	75	0.2	6.7	21.3	50.5	0.5
2015	136	0.2	10.4	7.2	49.7	0.2
2016	92	1.1	6.8	8.5	144.0	0.2
2017	84	0.1	6.4	8.6	32.9	0.1
2018	117	0.1	5.5	14.4	25.5	0.2
2019	69	0.1	7.8	8.2	28.0	0.2
下降幅度 Degree of decrease//%		-50.0	-21.2	-26.1	-48.1	-50.0

2.2 商品有机肥中重金属超标情况 由表3可知,788个商品有机肥样品中重金属的变异系数均较大(表1),但总体超标率均较低,为14.7%(超标个数为116个)。从5种重金属超标情况看,As超标率最大,为7.8%,其次是Cr,为4.0%,其他3种元素超标率均小于1.0%,表现为As>Cr>Pb>Hg>Cd。Cr每年均有超标,在2016年超标率最高,为13.0%,可见Cr对商品有机肥质量影响较大。As除2017年外,其他年份均有超标情况,2015和2012年超标情况较为明显,超标率分别为20.6%和18.1%;Hg、Pb和Cd仅在部分年份出现超标现象,其中Hg在2012、2015和2016年均出现了超标样品,超标率分别为1.6%、0.7%和2.2%;Pb在2014、2018和2019年均出现了超标样品,超标率分别为4.0%、1.7%和1.4%;Cd在2012、2013和2018年均出现了超标样品,超标率分别为0.8%、2.3%和0.9%。从每年超标率情况看,2015年超标率最高,为4.9%,2017—2019年超标率明显低于2012—2016年,近年来由于市场监管力度加大,肥料质量明显提升。

将每年商品有机肥重金属含量的合格率进行线性回归,以直线斜率表示每年平均增长量,得到5种重金属元素合格率平均增长量线性方程(表4),2012—2019年重金属总合格率平均增长量为2.4%/a,其中,As合格率平均增长量最高,为2.2%/a,Pb的年平均增长量呈下降趋势,为-0.1%/a,说明近年来重金属虽有超标现象,但合格率越来越高,北京市商品有机肥料重金属质量有所提升。

表 3 商品有机肥重金属超标情况

Table 3 Excessive conditions of heavy metals in commercial organic fertilizer

年份 Year	汞 Hg	砷 As	铅 Pb	铬 Cr	镉 Cd	累计 Total
2012	1.6(2 个)	18.1(23 个)	0	1.6(2 个)	0.8(1 个)	4.4
2013	0	9.1(8 个)	0	2.3(2 个)	2.3(2 个)	2.7
2014	0	6.7(5 个)	4.0(3 个)	6.7(5 个)	0	3.5
2015	0.7(1 个)	20.6(28 个)	0	2.9(4 个)	0	4.9
2016	2.2(2 个)	3.3(3 个)	0	13.0(12 个)	0	3.7
2017	0	0	0	2.4(2 个)	0	0.5
2018	0	1.7(2 个)	1.7(2 个)	1.7(2 个)	0.9(1 个)	1.2
2019	0	2.9(2 个)	1.4(1 个)	1.4(1 个)	0	1.2
平均 Mean	0.6	7.8	0.9	4.0	0.5	

表 4 商品有机肥重金属合格率年平均增长量情况

Table 4 Average annual increase in pass rate of the heavy metal in commercial organic fertilizer

重金属 Heavy metal	线性方程 Linear equation	R^2	平均增长量 Average annual increase // %/a
汞 Hg	$y=0.114 1x+98.926$	0.104 5	0.1
砷 As	$y=2.151 4x+82.528$	0.468 0	2.2
铅 Pb	$y=-0.079 7x+99.464$	0.018 2	-0.1
铬 Cr	$y=0.076 8x+95.65$	0.002 2	0.1
镉 Cd	$y=0.15x+98.836$	0.205 5	0.2
总量 Total	$y=2.412 6x+75.403$	0.523 0	2.4

2.3 商品有机肥中重金属污染情况 从表 5 可以看出, 2012—2019 年 5 种重金属含量单因子污染指数(P_i)均小于 1, 全部为清洁等级(表 6)。2016 年 Cr 的 P_i 值在所有年份和元素中最高, 达到 0.96, 接近轻污染等级; 其他年份, As 的 P_i 值普遍高于其他重金属的 P_i 值, 说明 As 污染程度普遍偏高。

表 5 商品有机肥重金属单因子污染指数

Table 5 Single factor pollution index of the heavy metal in commercial organic fertilizer

年份 Year	汞 Hg	砷 As	铅 Pb	铬 Cr	镉 Cd
2012	0.10	0.66	0.22	0.36	0.14
2013	0.07	0.57	0.31	0.32	0.27
2014	0.10	0.45	0.43	0.34	0.17
2015	0.08	0.69	0.14	0.33	0.07
2016	0.56	0.46	0.17	0.96	0.07
2017	0.04	0.42	0.17	0.22	0.04
2018	0.05	0.37	0.29	0.17	0.08
2019	0.06	0.52	0.16	0.19	0.07
平均 Mean	0.15	0.53	0.22	0.35	0.10

从图 1 可以看出, 2012—2019 年北京市商品有机肥重金属综合污染指数分别为 0.51、0.46、0.38、0.52、0.75、0.33、0.29、0.40, 除 2016 年在警戒线范围内, 其他全部为安全级别(表 6)。单因子污染指数和综合污染指数分别都在 2016 年处于污染的边界值, 是因为 2016 年有 2 个样本量的 Cr 含量极高所致。

3 结论

2012—2019 年检测的 788 个商品有机肥料中重金属 Hg、As、Pb、Cr 和 Cd 的含量差异和变异系数均较大, 从痕量

到千分之几, 平均值分别为 0.3、8.0、11.5、53.9 和 0.3 mg/kg。近 8 年来有机肥重金属平均含量均呈下降趋势, 分别下降了 50.0%、21.2%、26.1%、48.1% 和 50.0%。

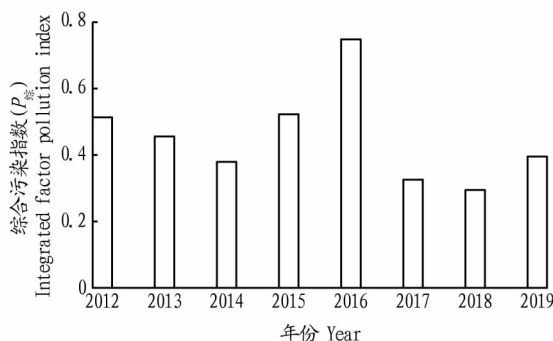


图 1 商品有机肥重金属综合污染指数

Fig.1 Integrated factor pollution index of the heavy metal in commercial organic fertilizer

表 6 内梅罗综合污染指数法评价标准

Table 6 Evaluation standard of Nemerow pollution index method

级别 Grade	单因子污染指数 Single factor pollution index	污染等级 Pollution level	综合污染指数 Integrated factor pollution index	污染等级 Pollution level
I	$P_i \leq 1$	清洁	$P_{综} \leq 0.7$	安全
II	$1 < P_i \leq 2$	轻污染	$0.7 < P_{综} \leq 1.0$	警戒线
III	$2 < P_i \leq 3$	中污染	$1.0 < P_{综} \leq 2.0$	轻污染
IV	$P_i > 3$	重污染	$2.0 < P_{综} \leq 3.0$	中污染
V			$P_{综} > 3.0$	重污染

参照我国现有的 NY 525—2012 有机肥料中重金属限量标准, 总体超标率为 14.7%, 总体超标状况为 As>Cr>Pb>Hg>Cd, 其中, Cr 每年均有超标情况, As 仅有 2017 年未超标。合格率年平均增长量为 2.4 %/a, 说明北京市商品有机肥重金属情况整体良好, 但由于受 As 和 Cr 的影响较明显, 因此农作中应注意控制使用量, 如大量施用, 仍存在土壤和环境污染的风险。

用单因子污染指数法和内梅罗综合污染指数法评价有机肥料重金属污染情况, 结果表明, 单因子污染指数全部小于 1, 全部为清洁等级范围。2012—2019 年内梅罗综合污染指数 $P_{综}$ 分别是 0.51、0.46、0.38、0.52、0.75、0.33、0.29、0.40, 除

道,建立一批特色鲜明的文冠果产业大乡大镇,为文冠果产业可持续发展提供资源保障,发展生态林业新型战略产业。抓住国家林业工程建设的机遇,调整种植结构,发展生态、经济、观光等兼育型文冠果木本油料基地,集约经营,形成规模经济效益。

4.2 建立良种采穗圃,加快苗木培育 文冠果种苗必须实行“三定三清楚”管理,即定点育苗、定单生产、定向供应,品系清楚、种源清楚、销售去向清楚,对种苗生产、经营等环节严格依法管理,杜绝非良种壮苗用于造林^[13]。全面推进林木良种选育推广、林木种苗生产供应、林木种苗社会化服务体系建设。

4.3 加大建设投入 针对文冠果林木良种基地位于河西生态脆弱区的现实状况,建议国家和省、市财政每年稳定投入一定资金作为保障良种基地营建和产业化栽培发展资金,用于新品种、新技术引进和试验示范,推广体系及农民的技术更新和培训,专业合作组织的扶持等,进一步做大做强示范基地产业延伸链条,为后期产品的加工创造必要条件。

5 展望

张掖市文冠果省级林木良种基地的营建,可促进木本油料树种文冠果的可持续利用,解决干旱半干旱区荒山、沙荒地的有效利用问题。通过文冠果良种基地建设推广示范的双向驱动,不仅能够大大加快村镇居民实现能源现代化进程,满足农民富裕后对优质能源的可持续利用,还可有效地绿化荒山和沙荒地,减轻土壤侵蚀和水土流失,治理沙漠化,

保护生物多样性,促进生态的良性循环。同时,木本油料加工及现代生物质能一体化系统的建设将促进现代种植业的发展,成为农村新的经济增长点,可增加农村就业机会,改善生活环境,提高农村居民收入,振兴农村经济,也可为木本油料产业发展奠定资源基础,实现生态建设与经济发展的“双赢”目标。

参考文献

- [1] 李帮同.山西省省直林区林木良种繁育工程建设对策研究[J].林业经济,2019,41(5):71-74.
- [2] 王印肖.林木良种繁育基地项目建设程序与内容[J].河北林业,2008(5):19-22.
- [3] 徐秀琴.林木良种基地营建技术[J].河北林业科技,2006(S1):73-75.
- [4] 谢俊锋,廖绍明,郭美丽,等.油松良种基地营建和管理技术研究[J].陕西林业科技,2015(3):38-41.
- [5] 刘建海.张掖市北部荒漠区文冠果大田播种育苗试验[J].防护林科技,2012(1):33-35.
- [6] 汪智军,张东亚,卓立.准噶尔盆地南缘文冠果物候与气温变化的关系[J].经济林研究,2013,31(1):102-105.
- [7] 李昱晔.临泽县文冠果产业发展探析[J].现代农业科技,2019(19):157,162.
- [8] 江萍,宋于洋,王学君.木本油料树种文冠果栽培技术体系初探[J].山西林业,2007(3):22-23.
- [9] 向小芹,李巧芹,李忠红,等.文冠果造林技术研究[J].安徽农业科学,2011,39(33):20421-20423.
- [10] 付丽萍.加强荒漠化治理的思路与措施[J].中国林业,2012(14):60.
- [11] 王艺林.甘肃构筑黑河中游文冠果改碱固沙产业示范[N].中国花卉报,2019-05-23(A03).
- [12] 吴红雅.大力发展生态经济促进和谐家园建设:甘肃省永登文冠果生物质能源基地剪影[N].大众科技报,2008-06-22(A11).
- [13] 陈光兴.张掖市发展木本油料文冠果产业的思路及措施[J].花卉,2017(20):176.
- [14] 鲁洪娟,马友华,樊霆,等.有机肥中重金属特征及其控制技术研究进展[J].生态环境学报,2014,23(12):2022-2030.
- [15] ZHAO Y C, YAN Z B, QIN J H, et al. Effects of long-term cattle manure application on soil properties and soil heavy metals in corn seed production in Northwest China [J]. Environmental science and pollution research, 2014, 21(12): 7586-7595.
- [16] 梁金凤,齐庆振,贾小红,等.京郊有机肥料的质量状况分析[J].中国土壤与肥料,2009(6):79-83.
- [17] 逢玉万,唐拴虎,张发宝,等.广东省主流肥料质量与环境风险分析[J].中国农学通报,2014,30(24):265-269.
- [18] 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.
- [19] KLECKEROVA A, DOCEKALOVA H. Dandelion plants as a biomonitor of urban area contamination by heavy metals [J]. International journal of environmental research, 2014, 8(1): 157-164.
- [20] 徐良骥,黄璇,章如芹,等.煤矸石充填复垦地理化特性与重金属分布特征[J].农业工程学报,2014,30(5):211-219.
- [21] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- [22] 中华人民共和国农业部.肥料 汞、砷、镉、铅、铬含量的测定:NY/T 1978—2010[S].北京:中国标准出版社,2010.
- [23] 中华人民共和国农业部.有机肥料:NY 525—2012[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [24] 唐功政,刘国栋,高润青,等.利用单因子污染指数与内梅罗综合指数进行土壤重金属污染程度评级[J].科技风,2019(13):125-126.
- [25] 常瑛,李彦荣,施志国,等.基于内梅罗综合污染指数的农田耕地土壤重金属污染评价[J].安徽农业科学,2019,47(19):63-67,80.

(上接第85页)

2016年在警戒线边缘,其他全部为安全级别。可见,北京市商品有机肥样品中重金属污染程度整体发展趋势良好,可以适当地在农业生产中安全使用。

因此,针对市场有机肥生产工艺简单、品种繁多、质量参差不齐的现状,加强对商品有机肥料质量品质的监督管理是非常有必要的,同时,在未来制定相应的产品市场准入规范和要求,为有机肥行业的健康发展和农产品质量安全生产保驾护航。

参考文献

- [1] 中华人民共和国农业部.农业农村部关于印发《到2020年化肥使用量零增长行动方案》和《到2020年农药使用量零增长行动方案》的通知[A/OL].[2020-07-23].http://jiuban.moa.gov.cn/zwl/m/tzgg/tz/201503/t20150318_4444765.htm.
- [2] 钟杭,娄烽.浙江省商品有机肥重金属含量调查与分析[J].浙江农业学报,2013,25(5):1092-1095.
- [3] 朱建华,杨晓磊,严瑾,等.上海商品有机肥料中重金属含量及影响因素研究[J].上海农业学报,2010,26(4):113-116.
- [4] 吴凌云.福建省商品有机肥料重金属含量的分析与研究[J].福建农业科技,2010(1):67-69.
- [5] 孙玉桃,黄凤球,杨茜,等.湖南省商品有机肥料质量与重金属污染程度分析[J].中国土壤与肥料,2020(3):176-181.