

遵义市常用有机肥料重金属含量分析及污染风险评价

胡引 (遵义市产品质量检验检测院, 贵州遵义 563000)

摘要 [目的]分析遵义市常用有机肥料重金属污染状况,为遵义市农作物栽培及重金属污染防治提供一定的理论依据和数据保障。[方法]调查分析2017年1月—2021年6月在遵义市产品质量检验检测院检测的有机肥料样品中重金属含量数据,共采集样品数量494个,并对有机肥料重金属污染情况进行风险评估。[结果]重金属Pb、As、Hg、Cd、Cr总的超标率分别为7.5%、1.6%、1.6%、9.3%、1.0%,反映出遵义市有机肥料重金属污染主要以Pb、Cd污染为主,其次为As、Hg、Cr。通过对5种重金属单因子污染指数进行比较,得出2017年1月—2021年6月有机肥料中重金属Pb、As、Hg、Cd、Cr的单因子污染指数均小于1.0,处于非污染级别。5种重金属综合污染指数均小于0.7,处于安全水平。[结论]遵义市常用有机肥料重金属污染状况良好,但在施用过程中应控制好使用量,防止重金属累积污染,特别应加强Pb和Cd元素的防控。

关键词 遵义市;有机肥料;重金属;含量测定;污染风险评价

中图分类号 S14-31 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)07-0055-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.07.014



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Content Analysis and Pollution Risk Assessment of Heavy Metal in Common Organic Fertilizers in Zunyi City

HU Yin (Zunyi Institute of Products Quality Inspection and Testing, Zunyi, Guizhou 563000)

Abstract [Objective] To analyze the heavy metal pollution status of common organic fertilizers in Zunyi City and provide certain theoretical basis and data guarantee for crop cultivation and heavy metal pollution prevention in Zunyi City. [Method] This paper investigated and analyzed the heavy metal content data of organic fertilizer samples detected in Zunyi Product Quality Inspection and Testing Institute from January 2017 to June 2021. A total of 494 samples were collected. And the risk assessment of heavy metal pollution in organic fertilizers was conducted. [Result] The total exceeding rates of heavy metals Pb, As, Hg, Cd and Cr were 7.5%, 1.6%, 1.6%, 9.3% and 1.0%, respectively, indicating that heavy metal pollution of organic fertilizers in Zunyi City was mainly caused by Pb and Cd, followed by As, Hg and Cr. By comparing the single-factor pollution indexes of five heavy metals, it was concluded that the single-factor pollution indexes of heavy metals Pb, As, Hg, Cd and Cr in organic fertilizers from January 2017 to June 2021 were all less than 1.0, which was at the non-pollution level. The comprehensive pollution index of the five heavy metals was less than 0.7, which was at a safe level. [Conclusion] The heavy metal pollution of common organic fertilizers in Zunyi City is in good condition, but the use amount should be controlled well in the application process to prevent the accumulation of heavy metal pollution, especially the prevention and control of Pb and Cd elements.

Key words Zunyi City; Organic fertilizer; Heavy metal; Content determination; Pollution risk assessment

有机肥料的使用可以增加土壤养分,改善土壤理化性质和微生物环境,提高农作物产量。有机肥料在生产过程中会大量使用到畜禽粪便、农作物茎秆、酒糟、豆粕、污泥、柴灰、餐厨垃圾等原材料,原材料中的重金属污染会直接影响到有机肥料中重金属的含量^[1-3],重金属含量较高的有机肥料会导致土壤中重金属的富集^[4-8],从而经过农产品通过食物链迁移影响到人类身体健康^[9-12]。

为了解遵义市生产和销售的有机肥料重金属污染情况,笔者对2017年1月—2021年6月在遵义市产品质量检验检测院检测的有机肥料重金属含量数据进行了统计和分析,并对有机肥料重金属污染情况进行风险评估,以期对遵义市农作物栽培和重金属污染防治提供一定的理论依据和数据保障。

1 材料与方

1.1 有机肥料样品采集 分析样品来自2017年1月—2021年6月遵义市各级监管部门监督抽查样品、有机肥料生产企业及个人委托检测样品,共采集样品数量494个,各年度样品采集数量依次为123、108、95、122、46个。

1.2 重金属检测指标及方法 按GB/T 23349—2009《肥料中砷、镉、铅、铬、汞生态指标》^[13]的检测方法检测有机肥料样品中总铅(Pb)、总砷(As)、总汞(Hg)、总镉(Cd)、总铬

(Cr)5个指标。

1.3 重金属含量标准限值 有机肥料重金属含量标准限值参照农业部标准NY 525—2012《有机肥料》^[14]规定执行,各指标限值分别为Pb≤50 mg/kg、As≤15 mg/kg、Hg≤2 mg/kg、Cd≤3 mg/kg、Cr≤150 mg/kg。

1.4 有机肥料重金属污染风险评价方法 该研究采用单因子污染指数法和内梅罗综合污染指数法对有机肥料重金属污染进行风险评价^[15-18]。

1.4.1 单因子污染指数法。单因子污染指数法是采用污染物的实测数据与评价标准的比值作为单因子污染指数,污染指数越大,受污染程度越重。计算公式如下:

$$P_i = C_i / S_i \quad (1)$$

式中, P_i 为有机肥料中重金属*i*的污染指数; C_i 为有机肥料中重金属*i*的实测数据平均值, S_i 为有机肥料中重金属*i*的限量值。单因子污染指数分级标准如表1所示。

表1 单因子污染程度分级标准

污染等级 Pollution level	P_i	污染程度 Pollution degree
1	$P_i \leq 1.0$	非污染
2	$1.0 < P_i \leq 2.0$	轻度污染
3	$2.0 < P_i \leq 3.0$	中度污染
4	$P_i > 3.0$	重度污染

作者简介 胡引(1985—),男,贵州安顺人,工程师,从事食用农产品、化肥、土壤、饲料等产品的分析检测及研究。

收稿日期 2021-07-27

1.4.2 内梅罗综合污染指数法。内梅罗综合污染指数法是当前国内外进行综合污染指数计算最常用的方法之一,能整体全面地反映有机肥料的重金属实际污染状况,同时兼顾了单因子污染指数的平均值和最高值,突出污染较重的重金属对有机肥料的影响。内梅罗综合污染指数法计算公式如下:

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

式中, $P_{\text{综}}$ 为有机肥料中重金属的内梅罗综合污染指数; \bar{P}_i 为有机肥料中5种重金属的单因子污染指数平均值; P_{imax} 为有机肥料中单一重金属的单因子污染指数最大值。内梅罗综合污染指数分级标准如表2所示。

表2 内梅罗综合污染指数分级标准

Table 2 Nemeiro comprehensive pollution index classification standard

污染等级 Pollution level	$P_{\text{综}}$	污染程度 Pollution degree
1	$P_{\text{综}} \leq 0.7$	安全
2	$0.7 < P_{\text{综}} \leq 1.0$	警戒线
3	$1.0 < P_{\text{综}} \leq 2.0$	轻度污染
4	$2.0 < P_{\text{综}} \leq 3.0$	中度污染
5	$P_{\text{综}} > 3.0$	重度污染

2 结果与分析

2.1 有机肥料重金属含量分析 对近5年(2017年1月—2021年6月)有机肥料样品中重金属检测数据进行统计,结果发现(表3),Pb含量为26.9~35.3 mg/kg,As含量为4.3~6.2 mg/kg,Hg含量为0.36~0.60 mg/kg,Cd含量为1.3~2.0 mg/kg,Cr含量为42.4~66.3 mg/kg。调查结果显示,5种重金属平均含量均未超过各指标限值。

表3 重金属检测结果统计

Table 3 Statistics of heavy metal detection results

年份 Year	样品数量 Number of samples 个	含量 Content//mg/kg				
		Pb	As	Hg	Cd	Cr
2017	123	35.3	5.6	0.43	1.7	66.3
2018	108	26.9	4.3	0.48	1.3	50.8
2019	95	30.4	5.2	0.60	1.8	59.5
2020	122	32.1	6.0	0.36	2.0	49.3
2021	46	29.6	6.2	0.55	1.5	42.4

根据近5年检测有机肥料样品中重金属含量数据进行分析,参照各指标的限量值,分别给出5种重金属在不同年份的不合格情况,并用不合格样品数量除以该年调查样品总量,得出各年份的不合格率。用总不合格样品数量除以调查样品总数,得出该指标总的不合格率。各年份的不合格率和总不合格率如图1~2所示。近5年间遵义市有机肥料中重金属超标率呈不规则变动趋势,重金属Cd每年的超标率和5年间总超标率均为最高;其中2020年重金属Cd超标率最高,达到11.5%;2021年上半年最低,为6.5%。除此之外,Pb的超标率也相对较高,2020年为9.8%,是5年中最大值,2021年上半年最低,为2.2%(图1)。

通过对近5年遵义市常用有机肥料中重金属检测数据统计,重金属Pb、As、Hg、Cd、Cr总的超标率分别为7.5%、1.6%、1.6%、9.3%、1.0%(图2),反映出遵义市有机肥料重金属污染主要以Pb、Cd污染为主,其次为As、Hg、Cr。

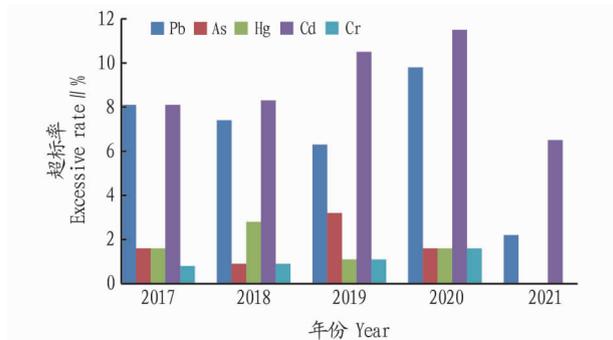


图1 不同年份有机肥料重金属含量超标率

Fig. 1 Excessive rate of heavy metal content in organic fertilizers in different years

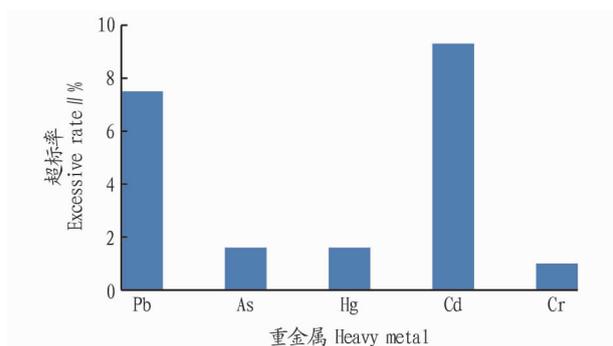


图2 重金属总超标率

Fig. 2 The total excess rate of heavy metals

2.1.1 有机肥料中Pb含量。从有机肥料中Pb检测结果(表4)可以看出,2017—2021年有机肥料中Pb超标率分别为8.1%、7.4%、6.3%、9.8%、2.2%,超标样品平均含量分别为78.2、71.1、80.5、83.3、68.4 mg/kg。各年间重金属Pb超标率和超标样品平均含量均呈现无规律变化趋势。

2.1.2 有机肥料中As含量。从有机肥料中As检测结果(表5)可以看出,2017—2021年有机肥料中As超标率分别为1.6%、0.9%、3.2%、1.6%、0,2017—2020年超标样品平均含量分别为17.6、20.5、19.9、18.5 mg/kg,2021年上半年未检出有机肥料中As不合格情况。

2.1.3 有机肥料中Hg含量。从有机肥料中Hg检测结果(表6)可以看出,2017—2021年有机肥料中Hg超标率分别为1.6%、2.8%、1.1%、1.6%、0,2017—2020年超标样品平均含量分别为3.3、3.6、2.9、3.3 mg/kg,2021年上半年未检出有机肥料中Hg不合格情况。

2.1.4 有机肥料中Cd含量。从有机肥料中Cd检测结果(表7)可以看出,2017—2021年有机肥料中Cd超标率分别为8.1%、8.3%、10.5%、11.5%、6.5%,超标样品平均含量分别为4.1、5.1、4.8、4.6、5.3 mg/kg。

2.1.5 有机肥料中Cr含量。从有机肥料中Cr检测结果(表8)可以看出,2017—2021年有机肥料中Cr超标率分别

为 0.8%、0.9%、1.1%、1.6%、0, 2017—2020 年超标样品平均含量分别为 173.7、245.9、201.3、285.4 mg/kg, 2021 年上半年

未检出有机肥料中 Cr 不合格情况。数据反映出遵义市常用有机肥料中 Cr 超标情况相对较低。

表 4 有机肥料中 Pb 含量检测结果

Table 4 Test results of Pb content in organic fertilizer

年份 Year	样品总数 Total number of samples//个	超标样品数 Number of over-standard samples//个	超标率 Excessive rate//%	含量范围 Content range mg/kg	平均含量 Average content mg/kg	超标样品平均含量 Average content of over-standard samples//mg/kg	标准偏差 SD//mg/kg	变异系数 CV
2017	123	10	8.1	12.5~121.3	35.3	78.2	13.46	0.38
2018	108	8	7.4	7.3~135.1	26.9	71.1	15.89	0.59
2019	95	6	6.3	6.2~100.9	30.4	80.5	11.37	0.37
2020	122	12	9.8	11.5~227.8	32.1	83.3	13.24	0.41
2021	46	1	2.2	10.1~68.4	29.6	68.4	9.17	0.31

表 5 有机肥料中 As 含量检测结果

Table 5 Test results of As content in organic fertilizer

年份 Year	样品总数 Total number of samples//个	超标样品数 Number of over-standard samples//个	超标率 Excessive rate//%	含量范围 Content range mg/kg	平均含量 Average content mg/kg	超标样品平均含量 Average content of over-standard samples//mg/kg	标准偏差 SD//mg/kg	变异系数 CV
2017	123	2	1.6	ND~18.3	5.6	17.6	4.45	0.79
2018	108	1	0.9	ND~20.5	4.3	20.5	5.16	1.20
2019	95	3	3.2	ND~24.6	5.2	19.9	4.21	0.81
2020	122	2	1.6	ND~19.8	6.0	18.5	6.77	1.13
2021	46	0	0	0.7~10.3	6.2	—	3.36	0.54

注:ND 表示未检出

Note:ND means not detected

表 6 有机肥料中 Hg 含量检测结果

Table 6 Test results of Hg content in organic fertilizer

年份 Year	样品总数 Total number of samples//个	超标样品数 Number of over-standard samples//个	超标率 Excessive rate//%	含量范围 Content range mg/kg	平均含量 Average content mg/kg	超标样品平均含量 Average content of over-standard samples//mg/kg	标准偏差 SD//mg/kg	变异系数 CV
2017	123	2	1.6	ND~3.5	0.43	3.3	1.29	3.00
2018	108	3	2.8	ND~4.1	0.48	3.6	1.14	2.38
2019	95	1	1.1	ND~2.9	0.60	2.9	1.21	2.02
2020	122	2	1.6	ND~3.7	0.36	3.3	1.05	2.92
2021	46	0	0	ND~1.4	0.55	—	0.98	1.78

注:ND 表示未检出

Note:ND means not detected

表 7 有机肥料中 Cd 含量检测结果

Table 7 Test results of Cd content in organic fertilizer

年份 Year	样品总数 Total number of samples//个	超标样品数 Number of over-standard samples//个	超标率 Excessive rate//%	含量范围 Content range mg/kg	平均含量 Average content mg/kg	超标样品平均含量 Average content of over-standard samples//mg/kg	标准偏差 SD//mg/kg	变异系数 CV
2017	123	10	8.1	0.2~8.1	1.7	4.1	3.83	2.25
2018	108	9	8.3	0.4~11.9	1.3	5.1	4.10	3.15
2019	95	10	10.5	ND~9.5	1.8	4.8	3.56	1.98
2020	122	14	11.5	ND~13.1	2.0	4.6	2.98	1.49
2021	46	3	6.5	0.2~7.8	1.5	5.3	3.13	2.09

注:ND 表示未检出

Note:ND means not detected

从变异系数分析,重金属 Hg 和 Cd 变异系数大于 1,属于强变异^[15],Pb 和 Cr 变异系数相对平稳,As 不同年份间变

异系数相差较大。表明遵义市常用有机肥料中重金属 As、Hg、Cd 含量差异较大,而重金属 Pb 和 Cr 含量相对平稳。

表8 有机肥料中Cr含量检测结果

Table 8 Test results of Cr content in organic fertilizer

年份 Year	样品总数 Total number of samples//个	超标样品数 Number of over-standard samples//个	超标率 Excessive rate//%	含量范围 Content range mg/kg	平均含量 Average content mg/kg	超标样品平均含量 Average content of over-standard samples//mg/kg	标准偏差 SD//mg/kg	变异系数 CV
2017	123	1	0.8	16.2~173.7	66.3	173.7	15.8	0.24
2018	108	1	0.9	13.7~245.9	50.8	245.9	18.2	0.36
2019	95	1	1.1	14.1~201.3	59.5	201.3	13.9	0.23
2020	122	2	1.6	17.1~371.0	49.3	285.4	21.1	0.43
2021	46	0	0	18.3~97.4	42.4	—	10.4	0.25

注:ND表示未检出

Note:ND means not detected

2.2 有机肥料重金属污染风险分析 通过对近5年(2017—2021年)有机肥料样品中重金属检测结果数据分析,分别计算出各年份重金属污染的单因子污染指数(P_i)和内梅罗综合污染指数($P_{综}$),并将数据与该指标污染分级标准(表1~2)进行比较,得出不同年份5种重金属污染程度。结果如表9所示。

表9 重金属污染指数

Table 9 Heavy metal pollution index

年份 Year	单因子污染指数(P_i)					内梅罗综合 污染指数($P_{综}$)
	Pb	As	Hg	Cd	Cr	
2017	0.71	0.37	0.22	0.57	0.44	0.60
2018	0.54	0.29	0.24	0.43	0.34	0.46
2019	0.61	0.35	0.30	0.60	0.40	0.54
2020	0.64	0.40	0.18	0.67	0.33	0.57
2021	0.59	0.41	0.28	0.50	0.28	0.51

由表9可知,2017年1月—2021年6月遵义市常用有机肥料中重金属Pb、As、Hg、Cd、Cr的单因子污染指数均小于1.0,处于非污染级别,但Pb和Cd单因子污染指数较高,因此,有机肥料生产企业在保持重金属污染控制质量的同时,应加强控制重金属Pb和Cd含量。由于重金属污染主要是原材料带来的,因此,选用重金属较低的原材料是改善有机肥料成品质量的有效途径。

表9显示,5种重金属综合污染指数均小于0.7,处于安全水平,因此2017年1月—2021年6月遵义市常用有机肥料中重金属Pb、As、Hg、Cd、Cr污染程度均处于安全水平。

3 小结

有机肥料中重金属含量的高低与使用的原材料密切相关,由于有机肥料生产所使用的原材料复杂多样,导致不同有机肥料中重金属含量也出现较大差别。此次调查选用2017年1月—2021年6月在遵义市产品质量检验检测院检测的有机肥料重金属含量数据进行了统计和分析,结果发现,重金属Cd每年的超标率和5年间总超标率均为最高,其中2020年重金属Cd超标率最高,达到11.5%,2021年上半年最低,为6.5%;重金属Pb、As、Hg、Cd、Cr总的超标率分别为7.5%、1.6%、1.6%、9.3%、1.0%,反映出遵义市有机肥料重金属污染主要以Pb、Cd污染为主,其次为As、Hg、Cr;从变异系数分析,遵义市常用有机肥料中重金属As、Hg、Cd含量差异较大,而重金属Pb和Cr含量相对平稳。通过对5种重

金属单因子污染指数进行比较,得出2017—2021年有机肥料中重金属Pb、As、Hg、Cd、Cr的单因子污染指数均小于1.0,处于非污染级别;5种重金属综合污染指数均小于0.7,处于安全水平。

尽管绝大部分有机肥料样品中重金属含量检测合格,但由于重金属具有在土壤和植物中富集的特性,因此,长期施用重金属含量较高的有机肥料对环境、农作物和人类健康的危害应该引起足够的重视。如何降低有机肥料中重金属的含量,减轻重金属污染,确保农业可持续发展和农产品质量安全,仍需要更深入的研究。

参考文献

- [1] 苏诗博,徐慧婷,贾飞,等.矿物固化剂添加对蔬菜重金属吸收富集和污染风险的影响[J].湖北农业科学,2020,59(7):136-141.
- [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] 苟曦,冯海涛,杨荣.四川省常用肥料重金属含量调查分析[J].安徽农业科学,2016,44(19):153-155.
- [4] 王忠林,虞铁俊,王紫艳,等.有机肥施用对蔬菜及其土壤环境中重金属含量的影响及健康风险评估[J].浙江农业科学,2020,61(10):2109-2112.
- [5] NZIGUHEBA G, SMOLDERS E. Inputs of trace elements in agricultural soils via phosphate fertilizers in European countries[J]. Science of the total environment, 2008, 390(1):53-57.
- [6] 黄雯,梁河,陶丽,等.浙西某地土壤重金属特征分析及风险安全评价[J].江苏农业科学,2020,48(16):278-284.
- [7] 聂新星,段小丽,张敏敏,等.长期不同施肥措施对土壤重金属含量的影响[J].湖北农业科学,2018,57(S2):58-62.
- [8] 张贵友,王素萍,杜雷,等.武汉市江夏区农田土壤重金属含量及其生态风险评价[J].湖北农业科学,2020,59(17):54-57,136.
- [9] 赵颖,王飞,乔鹏明.污灌区农田土壤-作物体系重金属复合污染及健康风险评价[J].江苏农业科学,2020,48(23):270-274.
- [10] SUN C Y, LIU J S, WANG Y, et al. Multivariate and geostatistical analyses of the spatial distribution and sources of heavy metals in agricultural soil in Dehui, Northeast China[J]. Chemosphere, 2013, 92(5):517-523.
- [11] 杨冰雪,方晨,马勤,等.浙江省某地区农田土壤重金属污染的健康风险评价[J].安徽农业科学,2021,49(7):66-69.
- [12] 曹冉,孜比布拉·司马义,杨胜天,等.典型蔬菜基地土壤重金属健康风险评价[J].江苏农业科学,2020,48(4):246-253.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.肥料中砷、镉、铅、汞、汞生态指标:GB/T 23349—2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [14] 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.
- [15] 陈景春,易廷辉,陈丽.重庆市市售化肥重金属含量调查分析[J].湖南农业科学,2017(6):41-44.
- [16] 刘海伟,肖先仪,黄平香,等.赣州烟田灌溉水和肥料中重金属含量分析与评价[J].江西农业学报,2013,25(8):116-119.
- [17] 范珊珊,刘继远,高飞,等.北京商品有机肥重金属含量与污染程度分析[J].安徽农业科学,2021,49(10):83-85,110.
- [18] 江南,平令文,季晓慧,等.典型北方菜田常用肥料中重金属含量分析及污染风险评价[J].农业环境科学学报,2020,39(3):521-529.