

浙江省商品有机肥中主要质量指标含量的时空变异

沈月¹, 麻万诸², 邓勋飞², 陈思力¹, 陆若辉^{1,*1}

浙江省耕地质量与肥料管理总站, 浙江 杭州 310029; 2. 浙江省农业科学院 数字农业研究所, 浙江 杭州 310021)

摘要:为明确商品有机肥中主要质量指标含量的时空演变, 调查并检测了 2008—2017 年间浙江省主要商品有机肥的原料来源、重金属含量、有机质含量、总养分含量、pH 值, 及水分含量。结果表明, 调查的商品有机肥中主要重金属砷(As)、镉(Cd)、铅(Pb)、铬(Cr)和汞(Hg)的平均含量分别为 7.74、1.84、29.14、100.76、0.34 mg·kg⁻¹, 总养分(N+P2O5+K2O)平均含量为 8.39%, 有机质平均含量为 58.16%, pH 值和水分平均含量分别为 7.76、17.07%。调查的商品有机肥中重金属含量存在明显的地区差异: 杭州 Hg, 温州 Cr, 绍兴、嘉兴 As, 丽水、金华 Cd, 湖州 Pb 平均含量较高。近 10 a 来, 调查的商品有机肥中重金属含量总体呈现下降趋势, 其中 As 的平均含量下降最为明显, Hg 和 Pb 的平均含量在大部分地区也呈现下降趋势。商品有机肥原料中, 猪粪的 As 含量最高, 参照 NY 525—2012, 超标样本达 36.1%, 污泥中 Pb、Cr 和 Cd 的超标比例较大(>20%), 其他原料的重金属超标样本较少, 尤其是餐厨残余基本无超标。原料构成和原料中重金属含量的差异是导致区域内商品有机肥重金属含量呈现空间变异的重要原因。

关键词: 有机肥; 时空变异; 原料来源; 重金属; 趋势

中图分类号:S141

文献标志码:A

文章编号:1004-1524(2019)12-2073-11

有机肥是无公害农业、绿色食品和有机农业生产中使用的主要肥料^[1]。有机肥的合理利用可以有效解决畜禽粪便直接排放污染环境的问题, 改善土壤理化性状, 提高土壤供肥容量与农业生态系统恢复力^[2, 3]。我国政府提出到 2020 年化肥使用量零增长的目标, 明确提出以有机肥替代化肥、加快推进有机肥资源利用的政策路线^[4]。然而, 有机肥原料来源繁多、成分复杂, 质量参差不齐, 部分有机肥产品存在重金属超标或总养分不达标等问题^[5, 6], 若不加强管理, 易给农产品质量安全和农业生产质量带来潜在风险^[1]。

20 世纪 90 年代初, 研究人员曾就我国主要有有机肥中的养分和有害元素开展过调查^[7], 但随着畜禽养殖方式的转变, 作为有机肥主要原料的畜禽粪便的成分发生了较大的变化^[1]。近年来, 有机肥料的行业限量标准也经历了多次更新^[8], 从 NY 525—2002 到 NY 525—2011 再到 NY 525—2012。相应地, 商品有机肥中主要质量指标的含量很可能随着时间和限量标准的更新而表现出不同的演变特征。然而, 目前国内外很少有多年持续跟踪一定区域内商品有机肥主要质量指标含量变化的研究^[4, 8]。

商品有机肥中主要质量指标的受其原料来源影响很大^[2, 6, 9], 而部分原料的质量又与当地的饲料添加、食材、废弃物紧

1

*通信作者, 陆若辉, E-mail: h67918@tom.com

作者简介:沈月(1980—), 女, 河南商丘人, 硕士, 农艺师, 主要从事土壤肥料检测和管理研究。E-mail: 282920596@qq.com

收稿日期: 2019-07-08

基金资助: 国家重点研发计划(2016YFD0200802, 2018YFD0200502); 浙江省“三农六方”项目(CTZB-F170623LWZ-SNY1-25)

密相关。据此推测,不同区域商品有机肥的重金属等质量指标会呈现出区域性差异。目前,仅见少量新近研究描述性地阐述商品有机肥中重金属含量的区域差异^[10],但仍欠缺关于商品有机肥中重金属含量时空演变的研究。

本研究针对 2008—2017 年浙江省范围内的主要商品有机肥及其肥料来源,从时间和空间 2 个维度分析商品有机肥中主要质量指标含量的特征演变,以及不同有机肥原料的重金属含量变异,以期掌握近年来研究区域内商品有机肥的质量变化,和持续开展有机肥质量监控提供支持。

1 材料与方法

1.1 样品采集

于 2008—2017 年共采集了浙江省商品有机肥样本 2 355 个,覆盖全省 11 个地级市(以下简称为市)的主要有机肥生产企业,其时空分布如图 1 所示,其中,杭州、嘉兴和金华的样本数量都超过了 300 个。2008—2011 年间,商品有机肥样本数量大幅增长,2013 年达到最高峰(361 个),随后样本数量稳定在 300 个左右。

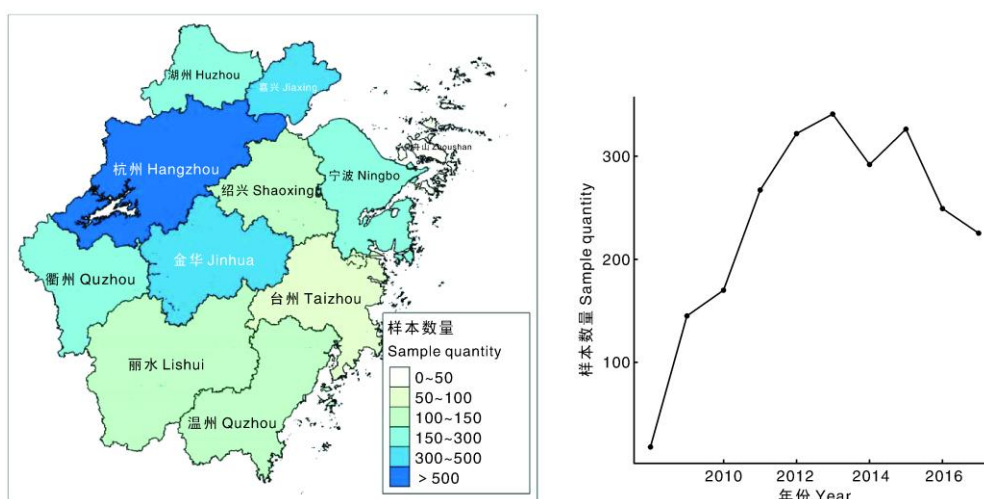


图 1 2008—2017 年调查的商品有机肥样本时空分布

考虑到商品有机肥的原料主要来自生产当地,因此在浙江省主要有机肥企业中相应采集有机肥原料样本 296 个,全部从参与 2008—2017 年调查的商品有机肥生产企业中选择,主要采集时间为 2013 年 3 月和 6—12 月。选取原则是兼顾各市典型的有机肥生产企业和主要原料类型,在全省的分布和原料来源构成上具有代表性。原料样本涵盖了餐厨残余、混合、鸡粪、菌菇渣类、牛粪、生活垃圾、污泥、羊粪和猪粪,其中,猪粪最多,约占 45%。采样范围覆盖全省除温州、舟山、衢州外的所有市。

1.2 主要质量指标含量测定

商品有机肥样本中各指标含量参照 NY 525—2012《有机肥料》测定。其中,有机质(简记为 OM)含量采用重铬酸钾容量法测定;总养分(N+P2O5+K2O,简记为 T_NPK)含量采用硫酸-过氧化氢消煮,消煮液定容后,氮用定氮仪法、钾用火焰光度计法、磷用分光光度计法测定;水分(简记为 WC)含量用真空烘箱法测定;pH 值采用 pH 计法测定;重金属含量采用王水消煮,砷(As)含量用原子荧光光度法,汞(Hg)含量用测汞仪法,铅(Pb)、铬(Cr)、镉(Cd)含量用原子吸收分光光度法测定。有机质、总养分和重金属含量以烘干质量计,水分含量以鲜样质量计。

1.3 主要质量指标的时空变异分析

以 NY 525— 2012 颁布实施为分割节点，划分 2008— 2012 年和 2013— 2017 年 2 个时间段。以市为区域单元，分别获取商品有机肥中各主要质量指标含量的平均值(剔除 0 值)，以及 2 个时间段下各市商品有机肥中重金属(Cd、Pb、As、Hg 和 Cr)、总养分、有机质、水分平均含量和酸碱度，前后时间段相比，后者增加的表示商品有机肥中该质量指标含量在 2008— 2017 年间呈增加趋势，反之则表示呈下降趋势。

1.4 数据统计分析

采用 Excel 2010 整理数据，后续的数据处理与分析主要基于 R 软件进行，应用到的主要程序包为 sp、gstat、stat 和 ggplot2，分别进行空间数据处理、统计分析、可视化做图等。

2 结果与分析

2.1 主要质量指标含量的总体情况

2008— 2017 年间，调查的商品有机肥中各重金属指标含量变异较大，变异系数(CV)都超过了 99%，其中 Cr 含量变异系数最高，达到了 1 573. 4%(表 1)。Cr 的高变异系数主要是由于实际检测中存在 3 个特高超标值(65 030、38 585、12 262 mg • kg⁻¹)。As、Cd、Pb、Cr、Hg 的平均含量分别为 7. 74、1. 84、29. 14、100. 76、0. 34 mg • kg⁻¹。调查的商品有机肥中，有机质、总养分含量变异较小，平均值分别为 58. 16%和 8. 39%，pH 值平均为 7. 76，总体偏碱性。对照 NY 525— 2012，调查的商品有机肥中各主要质量指标含量的平均值均在限量标准之内。

表 1 调查的商品有机肥中主要质量指标含量的总体情况

项目	重金属 Heavy metals/(mg • kg ⁻¹)					OM/%	T_NPK/%	WC/%	pH
Item	As	Cd	Pb	Cr	Hg				
范 围	0. 1~11	0. 04~4	1~784	0. 05~6	0. 002~1	4~97	0. 45~27	0. 2~6	3. 2~60
Range	3	2		5 030	4		. 5	3	
均 值	17:45:	20:09:	3:21:3	18:14:	8:09:36	3:50:	9:21:36	1:40:	18:14:
Mean	36	36	6	24	24			48	24
CV/%	2:24:0	9:36:0	12:00:	1	7:12:00	7:12:	9:36:00	0:00:	14:24:
	0	0	00	573. 4	00			00	00

CV, Coefficient of variation. The same as below.

CV, 变异系数。下同。

2.2 主要质量指标含量的年际变化

调查的商品有机肥中，各主要质量指标含量在 2008—2017 年间均发生了明显变化(图 2)。As、Hg、Cr 含量总体呈下降趋势，且 As 含量表现出持续下降趋势；Pb、Cd 含量表现为振荡，总体变化相对稳定，总养分含量和 pH 值的变化趋势基本一致，表现为先降后升再趋稳定。调查的商品有机肥历年都偏碱性，pH 值基本都维持在 7.5 以上。有机质含量总体上升趋势较为明显，自 2012 年后都稳定在 60% 以上；而水分含量在 2011 年之后经过 2 a 的稳定上升，基本维持在 20% 左右。

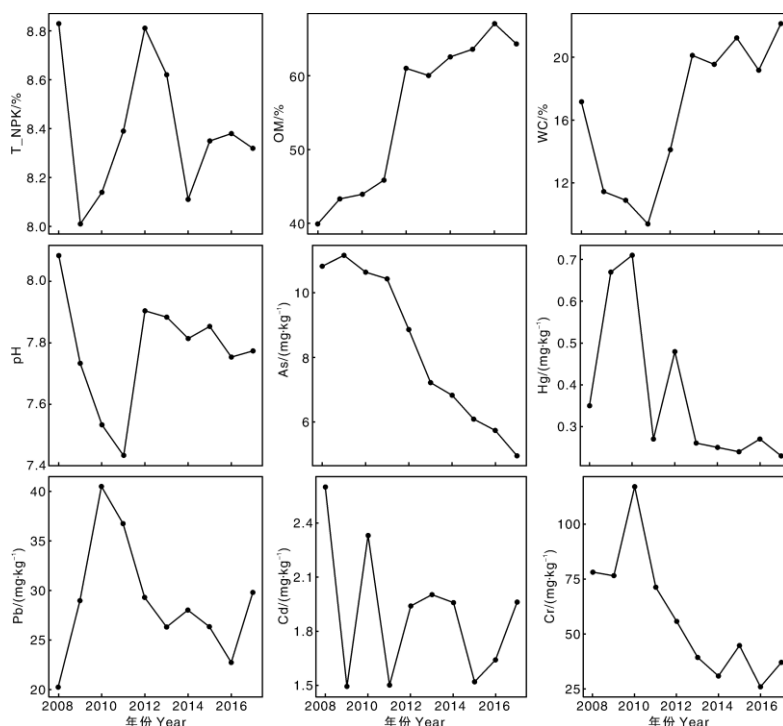


图 2 2008—2017 年调查的商品有机肥中主要质量指标的含量变化
在计算 Cr 的平均值时，将 3 个特高超标值剔除。图 4 同。

2.3 主要质量指标含量的空间变异

调查的商品有机肥中，各主要质量指标的平均含量在不同地区间也存在着明显差异(图 3)。舟山、衢州、台州商品有机肥的总养分和有机质含量较高；绍兴、金华和温州等地的商品有机肥中水分含量较高；丽水、嘉兴商品有机肥的 pH 值较高。从重金属含量上来看，同样存在着空间差异性。温州商品有机肥的 Cr 平均含量最高；丽水、金华商品有机肥的 Cd 平均含量最高；杭州商品有机肥的 Hg 平均含量最高，但也仅为 $0.45 \sim 0.53 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ；嘉兴、绍兴商品有机肥的 As 平均含量最高；湖州商品有机肥的 Pb 平均含量最高。

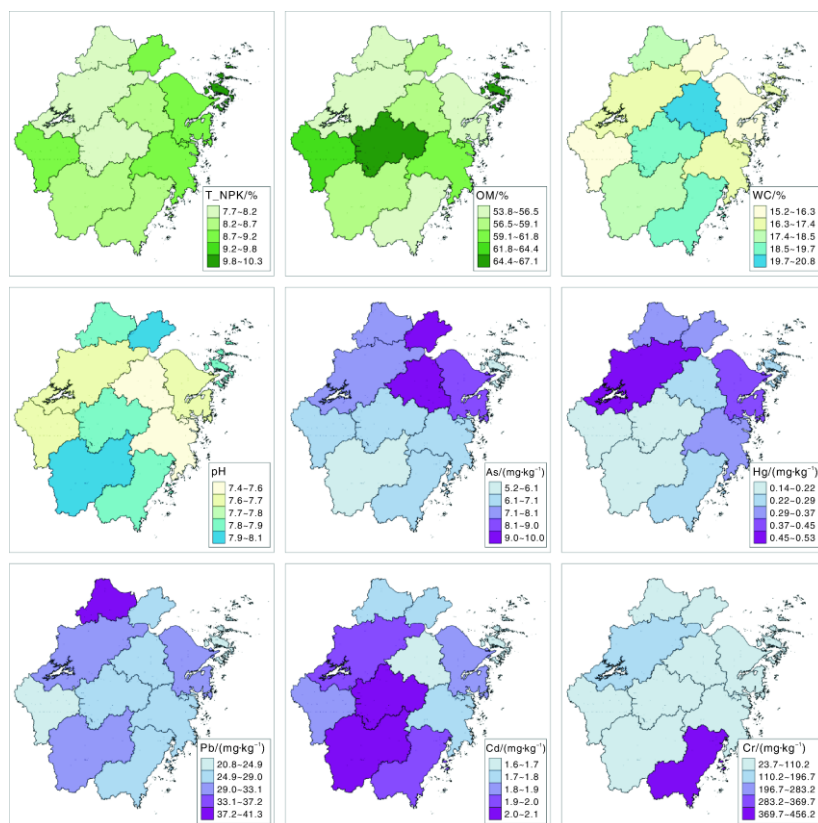


图 3 商品有机肥中主要质量指标含量的空间变异

2.4 主要质量指标含量的时空演变

调查的商品有机肥中，2008—2017 年多数重金属元素含量在大部分地区总体呈现下降趋势(图 4)，尤其是 As 的平均含量在各地均下降，Hg 和 Pb 的平均含量在大部分地区也呈现下降趋势；然而，温州、台州商品有机肥中 Hg 的平均含量，温州、台州、舟山商品有机肥中 Pb 的平均含量，温州、台州、金华、舟山、嘉兴商品有机肥中 Cd 的平均含量，以及温州、丽水商品有机肥中 Cr 的平均含量有所增加。

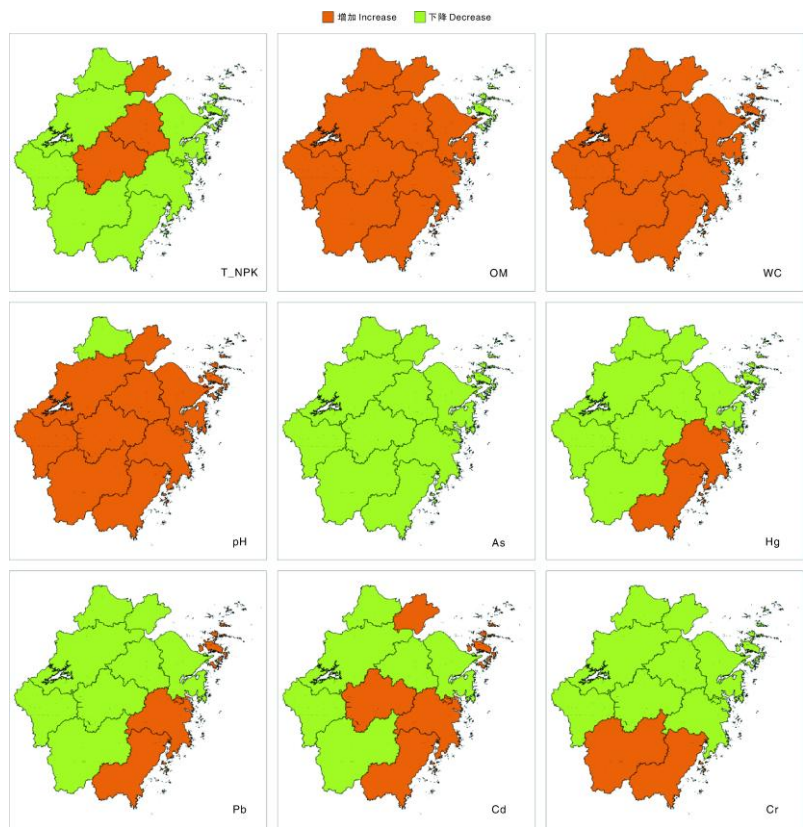


图 4 商品有机肥中主要质量指标含量的时空演变特征

2008—2017 年，调查的商品有机肥中水分含量均增加；除舟山外，商品有机肥中的有机质含量也均增加；除湖州外，商品有机肥中的 pH 值也均增加。然而，总养分含量仅在嘉兴、绍兴和金华 3 市的商品有机肥中有所增加。

2.5 原料中的重金属来源及其空间变异

不同商品有机肥原料中的重金属含量差异较大(表 2)。猪粪中 As 含量相对较高，平均值为 $18.62 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，超出 NY 525—2012 中的限量标准，且有 36.1% 的检测样本超标。基于羊粪和猪粪等的混合样中也有 15.4% 的样品 As 含量超标。此外，猪粪中还有 7% 以上的样本 Pb、Cd 含量超标，3.0% 的样本 Hg、Cr 含量超标。羊粪中 Cd、Pb、Hg、Cr 含量相对较高，As 含量相对较低。菌菇渣类 Cd 含量最高，平均值达 $2.44 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。污泥虽然样本较少，但超标现象比较普遍，其中，Pb、Cd、Cr 含量较高，且超标率普遍在 20% 以上。生活垃圾除部分样品 Cd 含量超标外，其他重金属指标均符合限量标准。餐厨残余中的重金属含量全部达到限量要求。总体来看，有机肥来源中占比较大的猪粪、鸡粪和牛粪原料中，猪粪中重金属超标问题相对较严重，鸡粪存在少量 As、Cd 超标和 Pb 含量较高($19.27 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)的问题，牛粪重金属指标总体较好。

表 2 不同原料的重金属含量情况

重 金 属	项 目	餐厨残余	混合	鸡粪	菌菇渣类	牛粪	生活垃圾	污泥	羊粪	猪粪
Heavy	Item	Food	Mix	Hen	Mushroom	Cow	Household	Sludge	Sheep	Pig

metal		remnants	dung	dung	residue	dung	waste	(n=10)	dung	dung
		(n=8)	(n=26)	(n=54)	(n=11)	(n=41)	(n=4)		(n=11)	(n=134)
As	范围	1.2~8.4	0.8~68.2	1~53	1~36	1.2~55	3.7~14.3	0.8~21.4	1.0~22	1~199
	Range/(mg • kg ⁻¹)									
	平均值	15:07:12	3:21:36	6:14:24	8:24:00	21:50:24	23:31:12	16:19:12	0:57:36	14:52:48
	Mean/(mg • kg ⁻¹)									
	CV/%	4:48:00	2:24:00	16:48:00	7:12:00	7:12:00	2:24:00	2:24:00	19:12:00	12:00:00
	PSBML/%	0:00:00	9:36:00	0:00:00	2:24:00	21:36:00	0:00:00	12:00:00	4:48:00	2:24:00
Hg	范围	0.1~2.3	0.2~3.1	0.01~2	0.01~1.7	0.1~1.8	0.3~1	0.1~0.7	0.02~11	0.01~4.3
	Range/(mg • kg ⁻¹)									
	平均值	13:12:00	11:02:24	9:07:12	9:07:12	8:38:24	12:00:00	5:16:48	5:02:24	11:31:12
	Mean/(mg • kg ⁻¹)									
	CV/%	2:24:00	21:36:00	2:24:00	2:24:00	16:48:00	14:24:00	12:00:00	9:36:00	21:36:00
	PSBML/%	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	7:12:00	0:00:00	0:00:00	2:24:00	0:00:00
Pb	范围	2.9~13.7	0.5~52.3	0.2~92.6	10~90.1	2.3~232	3.6~12.4	0.1~17.1	3.2~271	1.8~219
	Range/(mg • kg ⁻¹)									
	平均值	16:19:12	1:12:00	6:28:48	18:00:00	20:38:24	23:45:36	19:40:48	22:19:12	8:24:00
	Mean/(mg • kg ⁻¹)									
	CV/%	14:24:00	2:24:00	7:12:00	2:24:00	7:12:00	7:12:00	12:00:00	0:00:00	0:00:00
	PSBML/%	0:00:00	0:00:00	0:00:00	2:24:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	12:00:00
Cd	范围	0.4~2.4	0.06~2.3	0.06~6.2	0.9~9.3	0.03~7.8	0.4~0.9	0.2~6.3	1~8.0	0.1~56.4

Range/(mg • kg-1)										
平均值	19:12:00	15:21:36	2:38:24	10:33:36	0:14:24	15:07:12	9:07:12	6:00:00	0:57:36	
Mean/(mg • kg-1)										
CV/%	14:24:00	9:36:00	19:12:00	21:36:00	19:12:00	21:36:00	0:00:00	14:24:00	0:00:00	
PSBML/%	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	7:12:00	
Cr	范围	6.5~21.1	0.5~103	0.2~199	8~190	5.2~187	12.5~37	6.9~54.8	8~480	1~366
Range/(mg • kg-1)										
平均值	10:33:36	0:57:36	5:31:12	8:52:48	5:45:36	16:04:48	23:02:24	16:48:00	14:38:24	
Mean/(mg • kg-1)										
CV/%	2:24:00	12:00:00	21:36:00	12:00:00	14:24:00	16:48:00	21:36:00	16:48:00	12:00:00	
PSBML/%	0:00:00	0:00:00	0:00:00	2:24:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	

PSBML, Percentage of samples with heavy metal contents beyond the maximum limits based on NY 525— 2012.

PSBML, 超标率，即依照 NY 525— 2012，重金属含量超标样本所占比例。

通过关联不同商品有机肥的原料构成和地区差异发现，不同地区商品有机肥的原料来源构成和重金属平均含量也存在着较大差异(图 5)。从原料来源构成上看:嘉兴和杭州的商品有机肥原料中，猪粪占比较大(超过 50%)；金华的商品有机肥原料中，牛粪占比最大；宁波的商品有机肥原料以鸡粪为主；其他地区的商品有机肥样本较少，零星以猪粪、混合和羊粪等为主。从不同地区商品有机肥原料的重金属平均含量上看:金华牛粪的各项重金属含量均小于杭州，而嘉兴猪粪的 As 含量明显最高。由此可知，各地商品有机肥中不同重金属含量的平均值会受到各地区商品有机肥原料构成和原料中重金属平均含量的共同影响，如嘉兴和绍兴商品有机肥中较高的 As 含量就与其猪粪中 As 平均含量高，且猪粪在原料中占比较大明显相关。

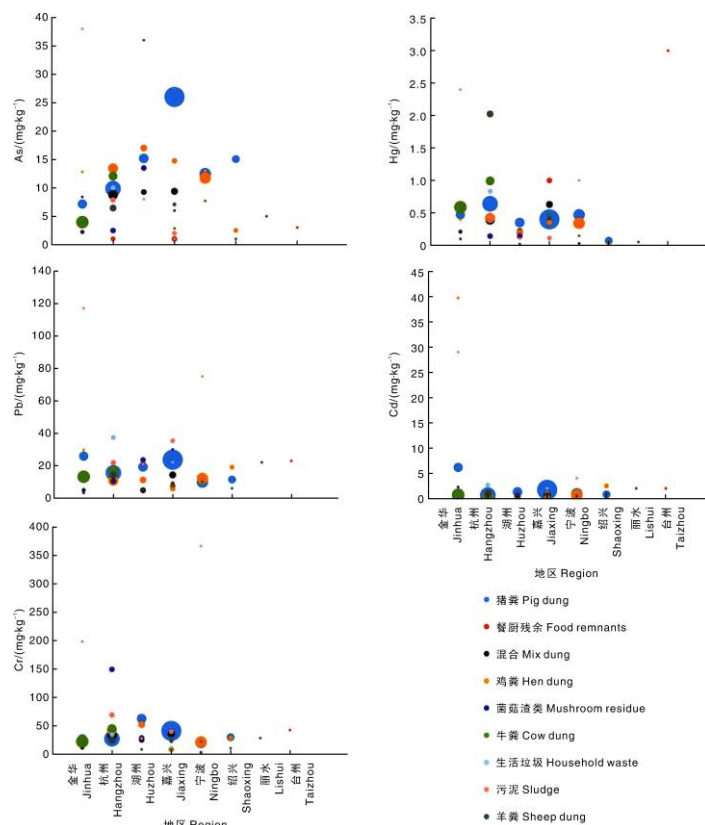


图 5 不同商品有机肥原料重金属含量的地区差异
点的大小表示有机肥原料样本数量(最大值为 54，最小值为 1)。

3 讨论

3.1 商品有机肥主要指标含量的时间演变

本研究发现，近 10 a 来，调查的商品有机肥中重金属含量总体呈现下降趋势，总养分含量和 pH 值表现出先降后升再趋稳定的趋势，有机质和水分含量从 2008—2012 年到 2013—2017 年上升趋势较为明显，并自 2012 年后分别稳定在 60%和 20%。总体来说，近 10 a 来商品有机肥的质量有所提高，主要体现为总有机质含量提高，以及主要重金属含量不同程度的下降。造成这种变化趋势的首要原因是，商品有机肥生产中重要行业标准对主要质量指标限量标准的调整，尤其是对有机肥料中有机质含量、水分含量、pH 值，和对重金属 Hg、Pb 和 Cr 含量限量标准的调整。2008—2017 年间，有机肥料主要质量指标的限量标准经过了 3 轮调整，从 NY 525—2002 临时过渡到 NY 525—2011，再到 NY 525—2012(现行有效)[8]。调查的商品有机肥中，Pb 和 Cr 的含量自 2011 年开始逐渐下降并趋于稳定，极有可能是受到 NY 525—2011 中 Pb 和 Cr 限量标准提高(上限值降低)的影响，这与广东省 2012—2016 年有机肥中相应指标含量逐渐下降的研究结果一致[4]。有机质含量、pH 值和水分含量在 2012 年之后出现明显上升，主要是由于 NY 525—2012 中放宽了水分含量和 pH 值的最高限量标准——分别从 20%升到 30%和从 8.0 升到 8.5，同时提高了有机质含量标准(从 30%到 45%)。Hg 含量在 2012 年之后出现下降并趋于稳定，主要也是因为 Hg 的限量标准大幅度收紧(从 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 到 $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)所致。但是，也有部分有机肥质量指标的含量与限量标准调整间不存在关联性，如总养分在限量标准提高的情况下反而下降并逐渐趋于稳定，这很可能是由于目前有机肥中的总养分含量普遍较高(8%以上)，因而对限量标准调整不敏感。

此外，有机肥生产规范化程度和监管强度的加强是引起近 10 a 来商品有机肥主要质量指标变化中不可忽视的积极因素。浙

浙江省自 2010 年出台《关于促进商品有机肥生产应用的意见》(浙政办发〔2010〕151 号)以来,商品有机肥的生产应用得到了快速发展,2011—2017 年共推广应用商品有机肥面积 165 万 hm²·次,消纳当地畜禽排泄物 1 976 万 t。同时,有机肥推广应用量的大幅提升也推动了有机肥监管的强化,主要包括企业登记考核中要求企业配备化验室和培训合格的专职化验员,企业对原料和成品的主要项目进行检测,缺乏自检能力的项目如重金属须送到有检验资质的机构化验等,促使有机肥企业质量与管理能力得到了有效提升。自 2013 年以来,浙江省畜牧业向规模化和正规化转型升级,对饲料添加剂中重金属的限制和监管也在加强。调查的商品有机肥中 As 含量的持续下降可能就得益于近年来畜禽养殖饲料中砷制剂添加限制的逐步加强[11, 12]。

3.2 商品有机肥中重金属含量的空间演变

商品有机肥生产目前具有较强的地域性要求,一般地,除辅料(如木屑、菇渣类)外,其主要原料(如猪粪、牛粪)通常是就近从当地获取,这是导致商品有机肥中不同重金属指标含量在浙江省内呈现出地区性差异的基础。通过将不同原料的重金属含量与相应商品有机肥的重金属含量空间变异进行对比分析,发现商品有机肥原料的构成比例和原料中重金属平均含量的组合结果与商品有机肥中相应重金属的空间变异具有较好的一致性。例如,杭州商品有机肥中较高的 Hg 含量、嘉兴和绍兴商品有机肥较高的 As 含量、金华和丽水商品有机肥中较高的 Cd 含量,都与这些地区商品有机肥的原料构成及其原料中的重金属含量具有较大的直接相关性。同时,这一结果也印证了本调查中有机肥原料与商品有机肥样本的代表性较好。具体来说,不同地区的有机肥原料构成比例差异是影响其重金属含量的首要因素。有机肥生产中的原料来源与当地产业具有很强的关联性,如嘉兴的生猪产业和金华的奶牛产业分别在当地形成了以猪粪和牛粪为主的商品有机肥原料来源。相应地,这些地区生产的有机肥中重金属的含量很大程度上是由这些主要原料决定的[5, 8, 13],如嘉兴商品有机肥中较高的 As 含量,即是受其主要原料——猪粪(占比 70%)的直接影响。

同时,有机肥原料中的重金属含量也是影响不同地区商品有机肥中重金属含量差异的不可忽视的重要因素。本研究发现,不同地区间相同有机肥原料的部分重金属指标平均含量仍存在较大差异,如猪粪中的 As,以及牛粪中的 As、Hg、Cr。这与研究人员对华北、黄淮海地区饲料中重金属含量进行研究时所发现的地域差异情况基本一致^[10, 13]。通常,Cu、Zn、As、Cr、Pb 等重金属作为饲料添加剂在集约化养殖过程中被引入并进入畜禽粪便^[11, 13]。最近的研究表明,不同类型的饲料来源中其主要重金属指标也存在显著差异,如生猪、奶牛和蛋鸡饲料中各主要重金属指标含量的变异系数分别在 70%、50%和 100%以上^[13]。以 As 为例,嘉兴市是浙江省生猪养殖大市,集约化程度高,相应地,饲料喂食强度可能更大。作为当地的农业主导产业,重金属添加的益处更可能倾向于被强调以扶持其发展,再加上不同饲料源重金属含量本身存在差异,这些因素很可能共同引起嘉兴猪粪中 As 平均含量较高。此外,不同畜禽品种(如蛋鸡、肉鸡、奶牛和肉牛)和不同生长时期(如育雏期、育成期)饲料和畜禽粪便中的重金属含量最近也被发现存在显著差异^[10, 13, 14]。由于本研究并未针对以畜禽粪便为主要原料的商品有机肥专门设计严格的畜禽品种限定或固定采样时间,而这些因素很可能共同对有机肥中重金属含量的地区差异性产生影响;因此,后续还需要进一步规范各地区有机肥及其原料(包括畜禽饲料)的调查采样和检测分析,深入解析有机肥中主要重金属的风险源头,以进一步分析、论证浙江省有机肥时空演变的机制。

3.3 原料来源对有机肥中重金属含量的影响与启示

商品有机肥的不同原料中,猪粪和污泥中的重金属含量通常高于其他来源^[1]。本研究中,以猪粪为主要原料的商品有机肥中 As 和 Cd 含量普遍较高,尤其是 As,平均含量和超标率均最高。这与在我国主要蔬菜种植区开展的有机肥调查情况一致^[2]。以城市污泥为原料的商品有机肥也普遍存在重金属超标的情况。这与刘荣乐等^[1]提出的我国不同有机废弃物中 Cr、Pb 等含量均超过现行限量值的结果相印证。污泥用作辅料添加到以畜禽粪污为主要原料的有机肥中,很可能会带来新的污染或加重原有有机肥原料的重金属污染,因此,在有机肥料加工过程中,有机肥原料和辅料质量的监测也是必不可少的。

从现有的有机肥可用资源量来看,畜禽粪便仍是有机肥的主要原料来源。随着秸秆焚烧逐渐退出,植物性的原料,如秸秆、核桃皮等的部分替代可以调节有机肥的碳氮比和理化性状,同时也可在一定程度上对畜禽粪便中的重金属等污染物起到稀释作

用, 从而降低重金属污染的风险。随着城市、农村生活垃圾分类的推行和新技术的运用^[15], 生活垃圾和餐厨残余有望成为一个重要的有机肥原料分支。农村生活垃圾和餐厨残余重金属含量低、有机物含量高, 营养元素比较全面, 是优良的有机肥来源或辅料。对于浙江省有机肥中普遍偏高的 pH 值, 混合加入酸性的油渣和餐厨固形物等, 可以有效调节 pH 值, 并能在一定程度上稀释有机肥中的重金属含量。

4 结论

本研究调查了 2008—2017 年间浙江省主要商品有机肥中的重金属、有机质、总养分、水分含量和 pH 值的时空变异。近 10 a 来, 调查的商品有机肥质量总体呈上升趋势, 其中, 主要重金属指标含量在多数地区总体呈现下降趋势, 尤其是全省范围内 As 平均含量持续下降, Hg、Pb 含量在大部分地区也呈现下降趋势, 有机质、水分含量和 pH 值总体增加, 但总养分含量总体有减少趋势。有机肥主要原料中, 猪粪重金属超标问题相对较严重, 鸡粪存在少量 As、Cd 超标和 Pb 含量较高的问题, 而牛粪重金属指标含量总体较好。近年来, 有机肥生产标准的多次调整对商品有机肥中主要质量指标含量的演变产生了重要影响, 而不同区域商品有机肥的原料构成, 以及原料中的重金属含量差异是造成商品有机肥重金属含量呈现出区域差异性的主要原因。研究结果可以用于辅助浙江省不同地区商品有机肥的后续质量抽查、重点区域污染风险定位和商品有机肥质量变化动态监测预警等, 并能为后续评估区域商品有机肥用量、土壤重金属安全使用风险和有机肥原料源头追查等提供参考。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 黄绍文, 唐继伟, 李春花. 我国商品有机肥和有机废弃物中重金属、养分和盐分状况[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(1): 162-173.
- [3] GABHANE J, WILLIAM S P, BIDYADHAR R, et al. Additives aided composting of green waste: effects on organic matter degradation, compost maturity, and quality of the finished compost[J]. Technology, 2012, 114: 382-388. [本文引用:1]
- [4] 蔡永通, 陈宝虹. 2012—2016 年广东省有机肥料质量和环境安全分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2017, 37(8): 87-88.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料养分数据集[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1999. [本文引用:1]
- [8] 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.
- [9] 李书田, 刘荣乐, 陕红. 我国主要畜禽粪便养分含量及变化分析[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(1): 179-184.

-
- [10] 迪娜·吐尔生江, 贾宏涛, 王农, 等. 黄淮海地区商品鸡饲料中重金属含量特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(11): 2603-2612.
- [11] 任玉琴, 黄娟, 饶凤琴, 等. 浙江省重点地区猪粪中重金属含量及安全施用评估[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(3): 703-711.
- [12] 蒋媛婧. 饲料砷污染对产蛋鸡的危害作用及其在机体和蛋中的残留[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [13] 王飞, 邱凌, 沈玉君, 等. 华北地区饲料和畜禽粪便中重金属质量分数调查分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(5): 261-267.
- [14] 张辉, 李文凤, 赵盈盈, 等. 猪饲料中重金属对猪粪有机肥的影响[J]. 浙江农业科学, 2018, 59(11): 2120-2122.
- [15] 刘茂忠, 王圣, 殷秀娟, 等. 农村生活垃圾分类收集生产有机肥料的探讨[J]. 新时代学刊, 2018(1): 93-95.