



福建农田常用商品肥重金属含量分析及评价

林承奇^{1, 2, 3}, 王雯琦¹, 黄华斌^{1, 2, 3*}, 王燕云¹, 王艳¹

(1. 厦门华夏学院环境与公共健康学院, 福建 厦门 361024; 2. 环境监测福建省高校重点实验室, 福建 厦门 361024; 3. 厦门市环境监测工程技术研究中心, 福建 厦门 361024)

摘要: 为研究福建省农田常用商品肥中重金属的含量及其风险, 采集福建省农田常用商品肥样品, 用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)和原子荧光光谱法(AFS)测定了11种重金属(Cd、Hg、As、Pb、Cr、Tl、Ni、Co、V、Cu和Zn)含量, 对比分析不同商品肥中重金属含量分布并依据国家标准限值进行评价。结果表明: 氮肥中Tl和Co未检出, 而氮肥中其他9种重金属以及其他商品肥中11种重金属均有检出。不同商品肥中重金属含量的差异性较大, Tl和Cr表现为中等变异, 其他重金属均表现为强变异。磷肥、有机肥和有机-无机复混肥中的各重金属含量相对较高。有机-无机复混肥中40%样品的As含量超出《肥料中有毒有害物质的限量要求》(GB 38400—2019)规定的限值, 而有机-无机复混肥中其他重金属以及其他商品肥中各重金属含量均在限值之内。不同种类商品肥受生产原料的影响使重金属含量差异较大, 应从源头上进行严格控制。所研究的商品肥中重金属含量整体上处于安全水平, 但商品肥中重金属可能对农田系统产生的风险不可忽视。考虑到重金属的蓄积性, 应从重金属含量、施肥方式及施肥时长等方面重点关注Cd、Hg、As和Pb的潜在污染。

关键词: 重金属; 商品肥; 评价; 农田; 福建省

农业系统中的重金属污染是全球共同面临的环境问题, 因重金属的毒性、持久性和生物蓄积性而成为研究热点之一^[1-2]。农业系统中的重金属来源复杂, 包括自然源、工业源、生活源和农业源等, 通过岩石风化、大气沉降、灌溉和施肥等各种途径的输入^[3-4]。在众多的污染源中, 农田中肥料的施用是影响农业系统中重金属含量的一个非常重要的因素。已有众多研究指出, 农田系统中重金属的主要来源之一是肥料施用等农业源^[5]。在农业生产中, 肥料的施用具有增强土壤肥力、改善土壤理化性质、优化土壤微生物群落结构等功能, 已成为提高农作物产量的常规手段, 在农业经济的发展中具有重要意义^[6]。据估计, 到2030年, 全世界粮食作物产量提高所需的肥料将达到1.573亿t^[7]。肥料种类和用量的日益增加带动了农业的快速发展, 但同时也造成了一些负面效应, 如农产品重金属超

标、生态环境恶化等。肥料污染带来的食品安全和土壤污染问题日趋严重, 已经受到各界学者的关注^[8-10]。中国是肥料使用大国, 常用的肥料主要有无机肥(氮肥、磷肥、钾肥、复合肥)、有机肥和有机-无机复混肥等^[11]。根据《中国统计年鉴2021》, 我国2020年农用化肥施用量达到了5250.7万t^[12]。

肥料中通常含有多种重金属元素(As、Cd、Cr、Zn、Cu、Mn、Ni、Zn和Pb等), 使肥料在为作物提供必需营养元素的同时, 不可避免地把一些重金属带入农田土壤中^[13-14]。张蕾等^[11]对我国常用肥料中重金属含量及其对作物的影响进行了综述, 结果指出, 有机肥和无机化肥中的重金属污染问题不容忽视。农田中肥料的长期施用, 会使肥料中的重金属在农田中累积^[15], 还可能改变农田重金属的生物有效性^[16-17], 而且不同肥料对不同重金属的生物有效性的影响存在差异^[10]。此外, 肥料中重金属进入农田后还可能被生长在其上的作物吸收并迁移到可食用部分, 从而对人体产生潜在的健康风险^[18-19]。肥料的生产工艺复杂, 制作肥料的原料来源越来越广, 因原料含有重金属或生产工艺限制等原因可能会使肥料中重金属含量较高, 从而可能导致农业系统重金属污染^[20]。目

收稿日期: 2022-06-08; 录用日期: 2022-07-10

基金项目: 福建省中青年教育科研项目(JAT200871); 福建省水产功能性饲料及养殖环境调控重点实验室开放基金项目(FACE20200007); 福建省大学生创新创业训练计划项目(S202212709009)。

作者简介: 林承奇(1991-), 硕士, 讲师, 从事环境监测与评价研究。E-mail: linchengqia@163.com。

通讯作者: 黄华斌, E-mail: Huanghuabinx@163.com。

前,关于肥料中重金属含量以及施肥对土壤和作物的影响已有不少报道^[21-23],但仍缺少综合不同肥料重金属含量对比及评价的报道,且较少有研究肥料中的Tl、V、Co、Cu、Zn和Ni等重金属含量及评价。当今国内销售的肥料品牌众多,生产工艺的差异使肥料中重金属含量差异较大,肥料质量难以保证^[20, 24]。肥料的安全是粮食安全生产的源头保证,是食品安全的前提基础,因此,有必要对市场上销售的常用肥料中重金属含量进行分析与评价。

本研究通过采集福建农田常用商品肥,分析测定了有机肥、无机肥(氮肥、磷肥、钾肥、复合肥)和有机-无机复混肥中11种重金属(Cd、Hg、As、Pb、Cr、Tl、Ni、Co、V、Cu和Zn)含量并进行分析及评价,以期为农田重金属污染精准防控、农产品安全生产及农业经济可持续发展提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品的采集及预处理

根据调查,福建省农田常用商品肥主要有无机肥、有机肥和有机-无机复混肥等种类。其中,无机肥又可以分为氮肥、磷肥、钾肥、无机复合肥(氮肥、磷肥、钾肥中两种以上的复合);有机肥主要是禽畜粪便及其经发酵腐熟后制成的肥料。选择市面上较常见的商品肥品牌作为样品,从线下商品肥商店和网上商城选取主要销售的品牌和销量较大的商品肥进行采样。共采集到不同品牌的商品肥样品88个,其中氮肥16个(尿素15个和硫酸铵1个)、钾肥16个(磷酸二氢钾10个、硫酸钾3个和氯化钾3个)、磷肥17个(过磷酸钙12个和钙镁磷5个)、无机复合肥21个、有机肥13个和有机-无机复混肥5个。将采集到的固体商品肥样品经过多次缩分,最终保留约100 g样品,用玛瑙研钵将商品肥样品研磨并过0.50 mm孔径的尼龙筛,之后混合均匀,置于干燥洁净的样品瓶中,保存备用。

1.2 商品肥中重金属含量分析测定

本研究测定了商品肥中11种重金属元素(Cd、Hg、As、Pb、Cr、Tl、Ni、Co、V、Cu和Zn)的含量,参考《肥料 汞、砷、镉、铅、铬含量的测定》(NY/T 1978—2010)[注:该标准现已被《肥料 汞、砷、镉、铅、铬、镍含量的测定》(NY/

T 1978—2022)替代]进行样品的处理。其中,商品肥中As和Hg含量测定参考《肥料 汞、砷、镉、铅、铬含量的测定》(NY/T 1978—2010)的附录A“肥料汞、砷含量的同时测定 原子荧光光谱法”进行试样溶液和工作曲线的制备,用原子荧光光谱(AFS, AFS-820)进行测定;商品肥中Cr、Cu、Zn、Cd和Pb含量测定参考《肥料 汞、砷、镉、铅、铬含量的测定》(NY/T 1978—2010)的附录B“肥料 镉、铅、铬含量的测定 等离子体发射光谱法”进行试样溶液和工作曲线的制备,用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS, Agilent 7700x)进行测定;商品肥中Tl、Ni、Co和V含量测定参考《肥料中有害物质的限量要求》(GB 38400—2019)的附录B“肥料中总镍、总钴、总钒、总锑、总铈含量的测定 电感耦合等离子体发射光谱法”进行试样溶液和工作曲线的制备,用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS, Agilent 7700x)进行测定。

在商品肥重金属含量测定过程中,通过多种方式严格进行质量控制。实验器具及试剂方面,整个实验过程中所用到的玻璃器皿等均用20%硝酸浸泡24 h以上以去除重金属残留的影响;实验过程中所用到的硝酸、盐酸等试剂均为优级纯,以减少试剂对测定结果的影响。实验过程方面,通过全程试剂空白(测定值小于检出限)、平行样测定(相对偏差小于10%)、加标回收率(在80%~120%范围)和内标(ICP-MS测定时内标回收率在80%~120%范围)等方法进行质量控制。

1.3 数据统计分析

本研究中,采用Excel 2016对不同商品肥中重金属含量进行统计;运用Origin 2021b对重金属含量进行箱线图绘制;运用SPSS 19.0对重金属含量进行正态性检验等。

2 结果与分析

福建农田常用商品肥中重金属的含量统计结果如图1所示。本研究所有的商品肥样品中,氮肥中Tl和Co未检出,而氮肥中其他9种重金属以及其他商品肥中11种重金属均有检出。其中,Cd含量为0.03~2.45 mg·kg⁻¹,平均0.40 mg·kg⁻¹;Hg含量为0.01~1.94 mg·kg⁻¹,平均0.36 mg·kg⁻¹;As含量为0.02~22.61 mg·kg⁻¹,平均6.67 mg·kg⁻¹;Pb含量为0.25~47.85 mg·kg⁻¹,平均9.34 mg·kg⁻¹;Cr含量为0.60~58.47 mg·kg⁻¹,平均15.71 mg·kg⁻¹;

Tl 含量为 $0.01 \sim 0.57 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均 $0.16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; V 含量为 $0.01 \sim 71.13 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均 $8.35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;
 Ni 含量为 $0.18 \sim 25.27 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均 $6.06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; Cu 含量为 $0.03 \sim 52.12 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均 $8.61 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;
 Co 含量为 $0.03 \sim 10.34 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均 $1.33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; Zn 含量为 $0.94 \sim 364.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均 $52.06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

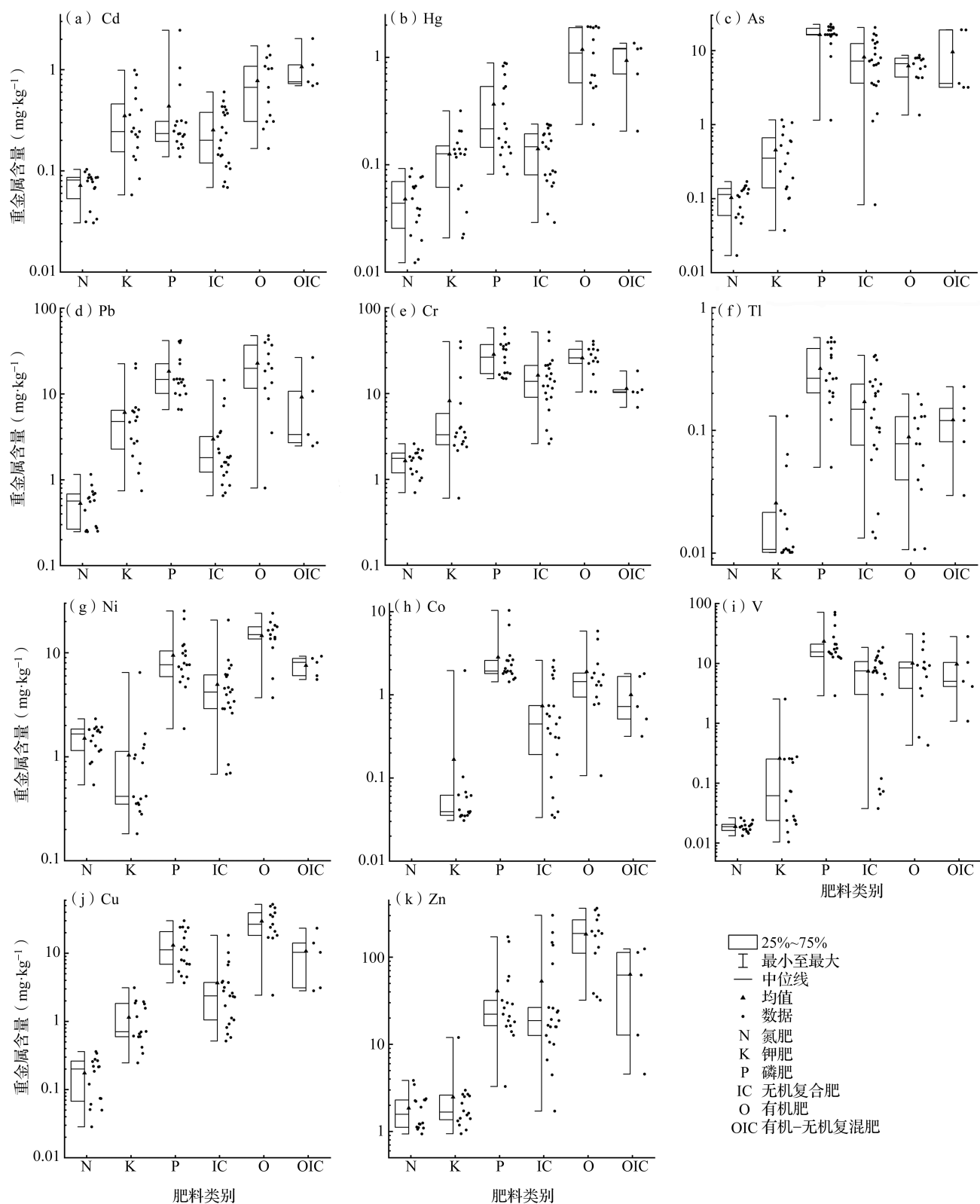


图1 农田常用商品肥中重金属含量



商品肥中各重金属的含量范围较大,不同重金属的变异系数大小顺序为: $Zn(1.64) > V(1.50) > Cu(1.42) > Hg(1.38) > Co(1.28) > Pb(1.27) > Cd(1.13) > As(1.07) > Ni(1.00) > Tl(0.96) > Cr(0.90)$ 。Tl 和 Cr 的变异系数在 0.1~1 之间,表现为中等变异,其他重金属的变异系数均大于 1,表现为强变异^[20]。可见,所有重金属在不同商品肥样品中的差异性较大。有研究者也指出了我国不同商品肥中均含有 As、Cd、Pb、Cr、Hg 等重金属且各种重金属的含量差异较大^[25]。因此,需要对不同种类商品肥中不同的重金属元素进行具体的分析研究。

运用 SPSS 19.0 对重金属含量数据进行正态性检验,结果显示,福建农田常用商品肥中重金属含量呈非正态分布。从图 1 中可以看出,不同肥料中各重金属含量数据分布比较离散,某些肥料中的重金属(如钾肥中的 Ni、Co 和 Tl 等)含量的中位值和平均值差别较大。对比分析不同商品肥中重金属含量的平均值和中位值,结果显示,不同商品肥中重金属含量的平均值大小排序及中位值大小排序均不一致,但从对比中可以大致发现,磷肥、有机肥和有机-无机复混肥中的各重金属含量普遍较高,而氮肥和钾肥中各重金属含量普遍较低,复合肥中重金属含量则介于两者之间。

3 讨论

3.1 不同商品肥中重金属含量分析

不同种类商品肥中重金属含量的差异受到众多因素的影响,例如生产商品肥的原材料、商品肥的生产过程以及商品肥生产的工艺等均会造成商品肥中重金属含量的变化^[21-22, 26]。

磷肥主要为钙镁磷肥和过磷酸钙等,其主要为含磷矿石通过物理化学等方法生产加工而成,而含磷矿石中常有重金属元素共生。有研究指出,国产磷肥中 As 含量普遍较高^[22]。本研究中,磷肥中的 As、Cr、Tl、V 和 Co 的含量均高于其他种类的商品肥,其他几种重金属的含量也均高于其他无机肥和无机复合肥。

有机肥一般为富含有机质的副产品(禽畜粪便或动植物残体等)经过发酵腐熟后制成。有研究指出,禽畜养殖时的饲料中普遍添加重金属类添加剂,可能使得禽畜粪便中某些重金属如 Cd、Pb 和 Zn 等含量较高,进而使得以其为原料生产出的有机肥中相应的重金属含量较高^[27-28]。本研究中,

有机肥中的 Ni、Cu、Zn、Pb 和 Hg 的含量均高于其他种类的商品肥,而 Cd、Cr、V 和 Co 的含量在所有种类商品肥中也较高。

有机-无机复混肥一般为富含有机质的副产品(禽畜粪便或动植物残体等)经过发酵腐熟,并添加无机肥(氮肥、磷肥、钾肥等)后制成^[29]。与有机肥相似,同样因为受原料中重金属含量的影响而使其重金属含量较高。有机-无机复混肥中如添加的无机肥为磷肥,则重金属含量可能更高。本研究中,有机-无机复混肥中的 Cd 含量在所有种类的商品肥中最高,而 Zn、As 和 Hg 的含量在所有种类商品肥中也较高。

氮肥主要为尿素和硫酸铵等,其主要为液态 NH_3 等合成的简单有机化合物,原料中重金属含量低,生产工艺简单,因此,氮肥中重金属含量普遍较低。钾肥主要为硫酸钾、氯化钾和磷酸氢二钾等,其主要为可溶性钾盐矿经过溶解结晶或浮选生产得到,因原料中可能含有一些重金属^[30],因此,钾肥中的重金属一般略高于氮肥,但整体上重金属含量仍偏低。

综上可知,不同商品肥中重金属含量差异较大,主要影响因素之一是生产商品肥的原料。因此,为减少商品肥中重金属对农田系统的污染,应从生产原料上进行把关,从源头上控制重金属通过商品肥进入土壤和食物链的途径,从而减少农业系统中重金属污染,保障生态环境安全和粮食安全。

3.2 农田常用商品肥中重金属含量评价

通过全国标准信息公共服务平台查询肥料中重金属含量限值的相关标准,我国现行有效的无机肥、有机肥和有机-无机复混肥中重金属限值相关标准主要有《肥料中有毒有害物质的限量要求》(GB 38400—2019)、《有机-无机复混肥料》(GB 18877—2020)、《有机肥》(NY/T 525—2021)、《腐植酸有机无机复混肥料》(HG/T 5933—2021)等,各标准中对重金属含量的限值见表 1。

不同标准中对肥料重金属含量限值的要求存在差异。一方面,各标准对重金属种类的要求有所差异,大部分标准中主要对 Cd、Hg、As、Pb 和 Cr 这 5 种重金属规定了限值要求,而《肥料中有毒有害物质的限量要求》(GB 38400—2019)中还还对 Tl、Ni、Co 和 V 等规定了限值要求。另一方面,各标准对重金属限值的要求有所差异,例如《肥料中有毒有害物质的限量要求》(GB 38400—2019)中对



其他肥料(包括有机-无机复混肥)中Cd、Hg、As、Pb和Cr的限值要求要比《有机-无机复混肥料》(GB 18877—2020)对有机-无机复混肥中这5种重金属的限值要求严格得多。这一现象也反映出我国在肥料重金属限量标准上的不足,一方面,不同标准中个别重金属的限量标准不统一;另一方面,重金属Cu和Zn虽然属于作物生长必需的微量营养元素,但如果其含量过高可能对土壤和农作物质量安全产生一定风险^[29, 31]。但我国目前缺乏如

Cu和Zn等重金属的限量标准。有研究参照德国堆肥中Cu和Zn的限值对肥料中的Zn进行评价^[32], Cu和Zn的限值分别为100和400 mg·kg⁻¹。如果参照这一标准,则本研究所有商品肥中Cu和Zn的含量均在该限值之内。杨旭等^[33]综述分析了我国与欧美国家在肥料重金属限量标准制定方面的比较,也指出了我国不同种类的肥料限值标准差异较大,应对肥料中重金属限量标准进行更规范化和科学化的制定。

表1 肥料中重金属限量标准

(mg·kg⁻¹)

肥料类别	Cd	Hg	As	Pb	Cr	Tl	Ni	Co	V	标准号
无机肥料	≤ 10	≤ 5	≤ 50	≤ 200	≤ 500	≤ 2.5	≤ 600	≤ 100	≤ 325	GB 38400—2019
其他肥料	≤ 3	≤ 2	≤ 15	≤ 50	≤ 150	≤ 2.5	≤ 600	≤ 100	≤ 325	GB 38400—2019
有机肥料	≤ 3	≤ 2	≤ 15	≤ 50	≤ 150					NY/T 525—2021
腐植酸有机-无机复混肥料	≤ 3	≤ 2	≤ 15	≤ 50	≤ 150					HG/T 5933—2021
有机-无机复混肥料	≤ 10	≤ 5	≤ 50	≤ 150	≤ 500					GB 18877—2020

通过对比发现,我国现行有效的无机肥、有机肥和有机-无机复混肥中重金属限值相关标准中,《有机肥》(NY/T 525—2021)和《腐植酸有机无机复混肥料》(HG/T 5933—2021)对重金属含量的限值与《肥料中有毒有害物质的限量要求》(GB 38400—2019)相同,而《肥料中有毒有害物质的限量要求》(GB 38400—2019)对重金属的限值要求比《有机-无机复混肥料》(GB 18877—2020)严格,从有利于保护生态环境的角度,本研究确定以《肥料中有毒有害物质的限量要求》(GB 38400—2019)进行评价。

将福建省农田常用商品肥中各重金属的含量参照《肥料中有毒有害物质的限量要求》(GB 38400—2019)进行评价,其中,氮肥、钾肥、磷肥和无机复合肥中重金属的限量参照其中的“无机肥料”的标准限值,有机肥和有机-无机复混肥中重金属的限值参照其中的“其他肥料”的标准限值。根据对比结果可知,所有商品肥中Cd、Hg、Pb、Cr、Tl、Ni、Co和V的含量均在标准限值之内,氮肥、钾肥、磷肥、无机复合肥和有机肥中As的含量也均在标准限值之内,而有机-无机复混肥中有两个样品存在As超标现象。整体上,本研究调查抽取的88个农田常用商品肥样品中共有2个样品出现重金属超标,超标率为2.27%。从商品肥种类看,有机-无机复混肥超标率最高,为40%;其他商品肥均未出现超标。从重金属种类看,As超标率最高,为

2.27%;其他重金属均未出现超标。

3.3 农田常用商品肥中重金属污染风险

根据前述分析及评价结果可知,农田常用商品肥中重金属含量整体上处于安全水平,但有机-无机复混肥有个别存在As超标的现象。由于重金属进入农田之后会产生蓄积以及作物对重金属的富集作用,商品肥中重金属可能对农田系统产生的污染不可忽视。

已有不少研究均指出农田系统因施肥的影响造成了重金属含量增加的现象。Hai等^[34]研究指出农田中Cd污染的一个关键来源是有机肥的施用。王腾飞等^[35]研究表明,长期施用有机肥可能增加农田中Cd的含量以及Cd的有效性。沃惜慧等^[36]研究指出,长期不同施肥处理均增加了土壤中Cd、Pb、Zn等重金属的含量,使得生态风险增加。有研究更是将Cd作为农药和化肥等农业活动的标记元素^[37]。聂新星等^[38]研究指出,长期不同的施肥方式能够在一定程度上促进Cd、Pb和As的富集,显著提高土壤Hg含量。刘高等^[39]研究指出,即使商品肥中重金属含量未超标,也可能因重金属的蓄积性而随着商品肥的大量施用,导致农作物中重金属含量的增加。

综上所述,在评价商品肥中重金属的风险时,应综合考虑商品肥中重金属含量、施肥方式以及施肥时长等的影响,一方面进行源头控制,制定合理规范的商品肥中重金属限量标准并严格执行,从源头上控制重金属进入农田的途径;另一方面进行总

量控制, 应合理控制施肥方式以及施肥时长, 以减少通过商品肥进入农田中的重金属的总量, 保障生态环境安全和粮食安全。

4 结论

(1) 氮肥中 Tl 和 Co 未检出, 而氮肥中其他 9 种重金属以及其他商品肥中 11 种重金属均有检出。所有重金属在不同商品肥样品中的含量差异性较大, Tl 和 Cr 为中等变异, 其他重金属均为强变异。不同商品肥中重金属含量差异较大, 主要的影响因素之一是生产商品肥的原料。磷肥、有机肥和有机-无机复混肥中的各重金属含量普遍较高。

(2) 我国不同标准中对商品肥重金属含量限值的要求存在差异。依据《肥料中有毒有害物质的限量要求》(GB 38400—2019), 所有商品肥中 Cd、Hg、Pb、Cr、Tl、Ni、Co 和 V 的含量均在标准限值之内, 氮肥、钾肥、磷肥、无机复合肥和有机肥中 As 的含量也均在标准限值之内, 而有机-无机复混肥中有 40% 样品存在 As 超标现象。

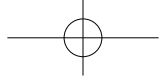
(3) 商品肥中重金属可能对农田系统产生的污染不可忽视, 在评价商品肥中重金属的风险时, 应综合考虑商品肥中重金属含量、施肥方式以及施肥时长等的综合影响。

参考文献:

- [1] Natasha, Shahid M, Khalid S, et al. A critical review of mercury speciation, bioavailability, toxicity and detoxification in soil-plant environment: ecotoxicology and health risk assessment [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 711: 134749.
- [2] 周江明. 中国耕地重金属污染现状及其人为污染源浅析 [J]. *中国土壤与肥料*, 2020 (2): 83-92.
- [3] 陈雅丽, 翁莉萍, 马杰, 等. 近十年中国土壤重金属污染源解析研究进展 [J]. *农业环境科学学报*, 2019, 38 (10): 2219-2238.
- [4] Yang Q Q, Li Z Y, Li X N, et al. A review of soil heavy metal pollution from industrial and agricultural regions in China: pollution and risk assessment [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 642: 690-700.
- [5] 黄华斌, 林承奇, 胡恭任, 等. 基于 PMF 模型的九龙江流域农田土壤重金属来源解析 [J]. *环境科学*, 2020, 41 (1): 430-437.
- [6] Ning C C, Gao P D, Wang B Q, et al. Impacts of chemical fertilizer reduction and organic amendments supplementation on soil nutrient, enzyme activity and heavy metal content [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2017, 16 (8): 1819-1831.
- [7] Guindo M L, Kabir M H, Chen R Q, et al. Potential of

Vis-NIR to measure heavy metals in different varieties of organic-fertilizers using Boruta and deep belief network [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, 228: 112996.

- [8] Rai P K, Lee S S, Zhang M, et al. Heavy metals in food crops: health risks, fate, mechanisms, and management [J]. *Environment International*, 2019, 125: 365-385.
- [9] Ali W, Mao K, Zhang H, et al. Comprehensive review of the basic chemical behaviours, sources, processes, and endpoints of trace element contamination in paddy soil-rice systems in rice-growing countries [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2020, 397: 122720.
- [10] 何其辉, 谭长银, 曹雪莹, 等. 肥料对土壤重金属有效态及水稻幼苗重金属积累的影响 [J]. *环境科学研究*, 2018, 31 (5): 942-951.
- [11] 张蕾, 李洋, 张阳. 常用肥料对作物重金属积累的影响及其机理研究进展 [J]. *中国农业科技导报*, 2020, 22 (2): 123-131.
- [12] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2021 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
- [13] 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.
- [14] 王美, 李书田. 肥料重金属含量状况及施肥对土壤和作物重金属富集的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20 (2): 466-480.
- [15] 焦璐琛, 迟荪琳, 徐卫红, 等. 施用猪粪对蔬菜生长及土壤抗生素、重金属含量的影响 [J]. *中国农学通报*, 2019, 35 (14): 94-100.
- [16] 王永壮, 彭文凤, 陈荣英, 等. 磷肥类型及其对土壤植物磷镉交互作用的影响 [J]. *土壤与作物*, 2019, 8 (2): 139-149.
- [17] 徐一兰, 金自力, 刘唐兴, 等. 不同施肥措施对双季稻田土壤和大麦植株镉累积的影响 [J]. *生态环境学报*, 2017, 26 (7): 1235-1241.
- [18] Khanam R, Kumar A, Nayak A, et al. Metal (loid)s (As, Hg, Se, Pb and Cd) in paddy soil: bioavailability and potential risk to human health [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 699: 134330.
- [19] Liang Y Y, Yi X Y, Dang Z, et al. Heavy metal contamination and health risk assessment in the vicinity of a tailing pond in Guangdong, China [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2017, 14 (12): 1557-1573.
- [20] 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.
- [21] 范珊珊, 刘继远, 谭晓东, 等. 北京市水溶肥料重金属元素分析与评价 [J]. *生态环境学报*, 2021, 30 (2): 430-437.
- [22] 闫湘, 王旭, 李秀英, 等. 我国水溶肥料中重金属含量、来源及安全现状 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2016, 22 (1): 8-18.
- [23] Yang X, Li Q, Tang Z, et al. Heavy metal concentrations and arsenic speciation in animal manure composts in China [J].



- Waste Management, 2017, 64: 333–339.
- [24] Sharma U, Paliyal S S, Sharma S P, et al. Effects of continuous use of chemical fertilizers and manure on soil fertility and productivity of maize–wheat under rainfed conditions of the western himalayas [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2014, 45 (20): 2647–2659.
- [25] 徐桂燕, 王艺, 单桂萍, 等. 微量元素水溶肥对大白菜生长和生理特性的影响 [J]. 中国果菜, 2021, 41 (4): 56–59.
- [26] 方慧, 张珍明, 何腾兵, 等. 贵州磷肥施用对耕地土壤重金属铅的影响 [J]. 耕作与栽培, 2016 (5): 57–72.
- [27] Guo X Y, Hao L J, Qiu P Z, et al. Pollution characteristics of 23 veterinary antibiotics in livestock manure and manure–amended soils in Jiangsu Province, China [J]. Journal of Environmental Science and Health, Part B, 2016, 51 (6): 383–392.
- [28] 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.
- [29] 魏益华, 何俊海, 冯小虎, 等. 江西省烟田肥料中重金属含量分析与评价 [J]. 中国烟草科学, 2015, 36 (5): 26–32.
- [30] 胡明勇, 蒋丽萍, 张啸, 等. 常用肥料重金属含量的调查分析——以长沙市为例 [J]. 湖南农业科学, 2014 (24): 27–29.
- [31] Atafar Z, Mesdaghinia A, Nouri J, et al. Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2010, 160: 83–89.
- [32] 沈月, 陆若辉, 姜烽. 浙江省商品有机肥及其原料中的铜、锌含量调查 [J]. 浙江农业科学, 2020, 61 (10): 2169–2170.
- [33] 杨旭, 余焱, 李花粉, 等. 我国与欧美化肥重金属限量标准的比较和启示 [J]. 植物营养与肥科学报, 2019, 25 (1): 149–156.
- [34] Hai D M, Qiu X, Hai X, et al. Contaminants in liquid organic fertilizers used for agriculture in Japan [J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2017, 99 (1): 131–137.
- [35] 王腾飞, 谭长银, 曹雪莹, 等. 长期施肥对土壤重金属积累和有效性的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2017, 36 (2): 257–263.
- [36] 沃惜慧, 杨丽娟, 曹庭悦, 等. 长期定位施肥下设施土壤重金属积累及生态风险的研究 [J]. 农业环境科学学报, 2019, 38 (10): 2319–2327.
- [37] Lv J S, Liu Y, Zhang Z L, et al. Identifying the origins and spatial distributions of heavy metals in soils of Ju Country (Eastern China) using multivariate and geostatistical approach [J]. Journal of Soils and Sediments, 2015, 15 (1): 163–178.
- [38] 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.
- [39] 刘高, 李铭, 凌小芳. 肥料生态指标调查及农作物中重金属含量超标可能性分析 [J]. 化肥工业, 2016, 43 (5): 13–16.

Analysis and evaluation of heavy metal contents in commercial fertilizers commonly used in agricultural fields of Fujian province

LIN Cheng-qi^{1, 2, 3}, WANG Wen-qi¹, HUANG Hua-bin^{1, 2, 3*}, WANG Yan-yun¹, WANG Yan¹ (1. College of Environment and Public Health, Xiamen Huaxia University, Xiamen Fujian 361024; 2. Key Laboratory of Fujian Universities for Environmental Monitoring, Xiamen Fujian 361024; 3. Xiamen Environmental Monitoring Engineering Technology Research Center, Xiamen Fujian 361024)

Abstract: In order to research the contents and risks of heavy metals in commercial fertilizers commonly used in agricultural fields in Fujian province, the samples of commercial fertilizers commonly used in agricultural fields in Fujian province were collected, and the contents of eleven heavy metals (Cd, Hg, As, Pb, Cr, Tl, Ni, Co, V, Cu and Zn) were determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) and atomic fluorescence spectrometry (AFS). The heavy metal contents in different commercial fertilizers were analyzed and evaluated according to national standard limits. The results showed that Tl and Co were not detected in nitrogen fertilizers, while other nine heavy metals were detected in nitrogen fertilizers and eleven heavy metals were detected in other fertilizers. The heavy metal contents in different commercial fertilizers varied considerably, with Tl and Cr showing moderate variation and all other heavy metals showing strong variation. The contents of heavy metals in phosphate fertilizer, organic fertilizer and organic-inorganic compound fertilizer were relatively higher. The As content in 40% of the samples of organic-inorganic compound fertilizers exceeded the limit values specified in the Limitation requirements of toxic and harmful substance in fertilizers (GB 38400—2019), while the contents of other heavy metals in organic-inorganic compound fertilizers and all heavy metals in other fertilizers were within the limit values. The contents of heavy metals in different types of fertilizers varied greatly depending on the raw materials used in their production and should be strictly controlled at source. The heavy metals in the studied fertilizers were generally at a safe level, however, the potential contamination of agricultural systems caused by heavy metals in commercial fertilizers cannot be ignored. Considering the accumulation characteristics of heavy metals, more attention should be paid to the potential contamination of Cd, Hg, As and Pb in terms of heavy metal content, fertilizer application method and duration of application.

Key words: heavy metals; commercial fertilizer; evaluation; agricultural fields; Fujian province