

江西省烟田肥料中重金属含量分析与评价

魏益华¹, 何俊海¹, 冯小虎², 王利兵², 李琰琰², 周瑶敏¹, 袁丽娟¹, 罗林广^{1*}

(1. 江西省农业科学院农产品质量安全与标准研究所, 南昌 330200; 2. 江西省烟草公司抚州市公司, 江西 抚州 344000)

摘要: 为探明江西省烟田常用肥料中重金属的质量安全状况, 采集了钙镁磷肥、镁肥、钾肥、硼肥、有机肥、有机-无机复混肥和烟草专用肥样品, 通过 ICP-MS 法分析了样品中 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb 和 Zn 的含量, 并使用内梅罗指数法对其质量进行了评价。结果发现, 江西省烟田肥料重金属含量总体处于安全水平, 但各类肥料中重金属含量差异较大, 钙镁磷肥、有机肥和有机-无机复混肥中重金属含量较高, 且钙镁磷肥中 Cr 和有机-无机复混肥中 As 存在超标现象; 镁肥、钾肥和硼肥中重金属含量较低。方差分析显示, 钙镁磷肥中 Cr 和 Ni、有机肥中 Cd 和 Hg、有机-无机复混肥中 Zn 含量均显著高于其他肥料。

关键词: 江西; 烟草; 肥料; 重金属

中图分类号: S572.06

文章编号: 1007-5119(2015)05-0026-07

DOI: 10.13496/j.issn.1007-5119.2015.05.005

Analysis and Evaluation of Heavy Metal Contents in Tobacco Fertilizers of Jiangxi Province

WEI Yihua¹, HE Junhai¹, FENG Xiaohu², WANG Libing², LI Yanyan², ZHOU Yaomin¹,
YUAN Lijuan¹, LUO Linguang^{1*}

(1. Institute for Quality & Safety and Standards of Agricultural Products, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China; 2. Fuzhou Tobacco Company of Jiangxi Province, Fuzhou, Jiangxi 344000, China)

Abstract: In order to access the quality and safety of tobacco fertilizers commonly used in Jiangxi Province, calcium magnesium phosphate, magnesium fertilizer, potash fertilizer, boric fertilizer, organic fertilizer, organic-inorganic compound fertilizer and special tobacco fertilizer were collected and the contents of As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb and Zn in these fertilizers were determined by ICP-MS. The Nemerow index method was used to evaluate their quality. The results showed that the contents of heavy metals in tobacco fertilizers of Jiangxi Province were at a safe level, although the variation was large. Heavy metal contents in calcium magnesium phosphate, organic fertilizer and organic-inorganic compound fertilizer were relatively high in general, but Cr content in calcium magnesium phosphate and As content in organic-inorganic compound fertilizer exceeded the limits. The contents of heavy metals in magnesium fertilizer, potash fertilizer, boric fertilizer, organic fertilizer were low. Analysis of variance revealed that there was significant difference among Cr and Ni concentrations in calcium magnesium phosphate, Cd and Hg concentrations in organic fertilizer, Zn concentrations in organic-inorganic compound fertilizer with other fertilizers.

Keywords: Jiangxi; tobacco; fertilizer; heavy metal

重金属是农业生产环境和农产品质量安全的主要威胁之一。烟草是我国重要的经济作物, 重金属也是影响烟叶生长发育、品质及其吸食安全性的重要因素^[1-9]。农产品安全性问题越来越受到重视, 降低烟叶中重金属含量和提高烟叶品质一直是烟草行业研究的重点^[10]。已有的研究表明,

烟草制品中的重金属主要来源于烟叶种植过程, 烟草重金属含量与土壤重金属含量有着密切的联系^[11-12]。

肥料在增加作物产量、提高品质和保证粮食安全方面起到了不可替代的作用, 但同时不可避免地会将一些有毒有害物质如重金属带入到土壤

基金项目: 江西省烟草公司科技项目“抚州市无公害烟叶生产技术体系研究与示范”(201001017)

作者简介: 魏益华(1982-), 硕士, 助理研究员, 研究方向为农产品质量安全。E-mail: weiyihua08@163.com。*通信作者, E-mail: luolinguang@126.com

收稿日期: 2015-02-03

修回日期: 2015-04-08

中^[13-15]。肥料是农田土壤外源重金属进入的主要来源之一^[16],而且长期施用较高重金属含量的肥料势必会影响植物的生长发育和品质^[17-19]。

到目前为止,我国已有诸多肥料中重金属含量的研究报道^[20-27],但烟草肥料中重金属研究报道较少^[28-31],且这些研究多数存在调查肥料种类和数量偏少,样品缺乏代表性等问题。为了较好的反映我国南方烟田肥料中重金属含量现状,分析和评价了江西省烟田 7 种常用肥料:钙镁磷肥、硼肥、钾肥、镁肥、有机肥、复混肥和烟草专用肥中重金属含量,为规范我国肥料生产、使用和标准的制定,指导烟田肥料科学合理施用以及土壤重金属污染源头控制都具有较大意义。

1 材料与方法

1.1 肥料样品的采集

供试肥料样品来自江西省烟草库房,在 2013 年间采集了烟田常用肥料 80 个,其中钙镁磷肥 7 个,镁肥(硫酸镁)10 个,钾肥(硫酸钾和硝酸钾)16 个,硼肥 7 个、有机肥 13 个、有机-无机复混肥 10 个和烟草专用肥 17 个,肥料生产厂家来自江西、湖南、湖北、福建、广东、四川、安

徽、辽宁、江苏和上海等地方。样品经研磨并过 0.18 mm 孔径筛后,密封于塑料自封袋备用。

1.2 样品测定方法

称量 0.5 g 左右(精确到 0.0001 g)肥料样品,加入 4 mL 浓硝酸和 1 mL 过氧化氢后进行微波消解。消解完毕后,将样品溶液用超纯水转移至 50 mL 容量瓶中,加入 1 mL 0.5 mg/L Rh 内标溶液,ICP-MS 测定消解液中 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb 和 Zn 的含量。

1.3 数据分析

用 SPSS 14.0 进行方差分析和多重比较。

2 结果

2.1 各类肥料中 As 含量分析

由表 1 看出,江西烟区调查肥料样品中 As 含量总体较低,平均值为 7.04±9.82 mg/kg,仅 1.2% 样品超标。方差分析显示,有机-无机复混肥和钙镁磷肥中 As 含量显著高于其他 5 种肥料。

2.2 各类肥料中 Cd 含量分析

由表 2 看出,江西烟区调查肥料样品中 Cd 含量处于一个较低水平,平均值为 0.26±0.42 mg/kg。

表 1 各类肥料样品中 As 含量

Table 1 The content of As in different fertilizers

| 肥料种类 | 样品数/ 个 | 最小值/ (mg·kg ⁻¹) | 最大值/ (mg·kg ⁻¹) | 中位值/ (mg·kg ⁻¹) | 平均值/ (mg·kg ⁻¹) | 标准偏差/ (mg·kg ⁻¹) | 限量/ (mg·kg ⁻¹) | 超标样 品数/个 |
|----------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------|
| 有机-无机复混肥 | 10 | 6.60 | 126.54 | 7.93 | 22.03a | 39.30 | 50 ^[32] | 1 |
| 钙镁磷肥 | 7 | 1.26 | 45.03 | 22.88 | 20.45a | 18.23 | 50 ^[33] | 0 |
| 有机肥 | 13 | 0.69 | 10.69 | 2.31 | 3.87b | 4.14 | 15 ^[34] | 0 |
| 烟草专用肥 | 17 | 0.017 | 8.71 | 1.06 | 2.54b | 3.01 | 50 ^[32] | 0 |
| 硼肥 | 7 | 0.042 | 0.32 | 0.11 | 0.17b | 0.12 | 50 ^[32] | 0 |
| 钾肥 | 16 | 0.006 | 0.37 | 0.10 | 0.15b | 0.13 | 50 ^[33] | 0 |
| 镁肥 | 10 | 0.023 | 0.20 | 0.062 | 0.074b | 0.054 | 50 ^[33] | 0 |

注:表中同一列数据后不同小写字母表示差异达到 5%显著水平,下同。

表 2 各类肥料样品中 Cd 含量

Table 2 The content of Cd in different fertilizers

| 肥料种类 | 样品数/ 个 | 最小值/ (mg·kg ⁻¹) | 最大值/ (mg·kg ⁻¹) | 中位值/ (mg·kg ⁻¹) | 平均值/ (mg·kg ⁻¹) | 标准偏差/ (mg·kg ⁻¹) | 限量/ (mg·kg ⁻¹) | 超标样 品数/个 |
|----------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------|
| 有机肥 | 13 | 0.026 | 2.11 | 0.64 | 0.82a | 0.71 | 3 ^[34] | 0 |
| 有机-无机复混肥 | 10 | 0.054 | 0.72 | 0.42 | 0.39b | 0.20 | 10 ^[32] | 0 |
| 钙镁磷肥 | 7 | 0.069 | 0.90 | 0.23 | 0.35b | 0.31 | 10 ^[33] | 0 |
| 烟草专用肥 | 17 | 0.002 | 0.78 | 1.06 | 0.12b | 0.19 | 10 ^[32] | 0 |
| 镁肥 | 10 | ND | 0.28 | 0.021 | 0.068b | 0.091 | 10 ^[33] | 0 |
| 硼肥 | 7 | 0.040 | 0.36 | 0.010 | 0.059b | 0.13 | 10 ^[33] | 0 |
| 钾肥 | 16 | ND | 0.17 | 0.020 | 0.046b | 0.054 | 10 ^[33] | 0 |

注:ND-未检出,下同。

方差分析显示,有机肥中 Cd 含量显著高于其他 6 种肥料,所有肥料中 Cd 含量均低于限量值,未存在超标现象。

2.3 各类肥料中 Cr 含量分析

由表 3 看出,江西烟区调查肥料样品中 Cr 含量平均值为 43.86 ± 99.80 mg/kg,仅 1.2%样品超标。方差分析显示,钙镁磷肥中 Cr 含量显著高于其他 6 种肥料,且存在超标现象。

2.4 各类肥料中 Cu 含量分析

由表 4 看出,江西烟区调查肥料样品中 Cu 含量总体较低,平均值为 19.42 ± 31.02 mg/kg。方差分析显示,钙镁磷肥中 Cu 含量显著高于有机-无机复混肥、烟草专用肥、钾肥、硼肥和镁肥,但与有机肥中 Cu 含量无显著差异。

2.5 各类肥料中 Hg 含量分析

由表 5 看出,江西烟区调查肥料样品中 Hg 含量较低,平均值为 0.12 ± 0.14 mg/kg。方差分析显示,有机肥中 Hg 含量显著高于其他 6 种肥料,各类肥料中 Hg 含量均远远低于限量值,未存在超标现象。

2.6 各类肥料中 Ni 含量分析

由表 6 看出,江西烟区调查肥料样品中 Ni 含量平均值为 76.84 ± 193.05 mg/kg,不同肥料中 Ni 含量差异较大,部分钙镁磷肥中 Ni 含量高达几千毫克每千克。方差分析显示,钙镁磷肥中 Ni 含量显著高于其他 6 种肥料。长期施用 Ni 含量高的肥料,必将给土壤带来严重的 Ni 污染。由于我国肥料标准缺乏 Ni 的限量,故建议制定钙镁磷肥

表 3 各类肥料样品中 Cr 含量

Table 3 The content of Cr in different fertilizers

| 肥料种类 | 样品数 /个 | 最小值/ (mg·kg ⁻¹) | 最大值/ (mg·kg ⁻¹) | 中位值/ (mg·kg ⁻¹) | 平均值/ (mg·kg ⁻¹) | 标准偏差/ (mg·kg ⁻¹) | 限量/ (mg·kg ⁻¹) | 超标样 品数/个 |
|----------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------|
| 钙镁磷肥 | 7 | 15.59 | 751.60 | 44.50 | 269.69a | 405.66 | 500 ^[33] | 1 |
| 有机肥 | 13 | 5.97 | 69.82 | 13.05 | 18.06b | 16.90 | 150 ^[34] | 0 |
| 有机-无机复混肥 | 10 | 4.35 | 15.44 | 11.74 | 11.67b | 2.78 | 500 ^[32] | 0 |
| 烟草专用肥 | 17 | 0.24 | 16.14 | 6.29 | 6.35b | 4.40 | 500 ^[32] | 0 |
| 钾肥 | 16 | 0.48 | 12.90 | 4.80 | 4.74b | 4.03 | 500 ^[33] | 0 |
| 硼肥 | 7 | 0.43 | 5.75 | 1.25 | 1.86b | 1.81 | 500 ^[33] | 0 |
| 镁肥 | 10 | 0.30 | 1.47 | 0.79 | 0.85b | 0.32 | 500 ^[33] | 0 |

表 4 各类肥料样品中 Cu 含量

Table 4 The content of Cu in different fertilizers

| 肥料种类 | 样品数 /个 | 最小值/ (mg·kg ⁻¹) | 最大值/ (mg·kg ⁻¹) | 中位值/ (mg·kg ⁻¹) | 平均值/ (mg·kg ⁻¹) | 标准偏差/ (mg·kg ⁻¹) | 限量/ (mg·kg ⁻¹) | 超标样品数 /个 |
|----------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------|
| 钙镁磷肥 | 7 | 7.18 | 413.95 | 25.90 | 84.71a | 146.86 | - | - |
| 有机肥 | 13 | 3.57 | 89.02 | 26.07 | 33.11ab | 21.85 | - | - |
| 烟草专用肥 | 17 | 0.24 | 32.72 | 1.29 | 5.28b | 9.59 | - | - |
| 有机-无机复混肥 | 10 | 4.04 | 27.07 | 8.38 | 10.61b | 6.67 | - | - |
| 钾肥 | 16 | 0.48 | 12.90 | 0.21 | 1.25b | 3.51 | - | - |
| 硼肥 | 7 | 0.050 | 2.93 | 0.15 | 0.83b | 1.21 | - | - |
| 镁肥 | 10 | 0.024 | 0.46 | 0.10 | 0.14b | 0.13 | - | - |

表 5 各类肥料样品中 Hg 含量

Table 5 The content of Hg in different fertilizers

| 肥料种类 | 样品数 /个 | 最小值/ (mg·kg ⁻¹) | 最大值/ (mg·kg ⁻¹) | 中位值/ (mg·kg ⁻¹) | 平均值/ (mg·kg ⁻¹) | 标准偏差/ (mg·kg ⁻¹) | 限量/ (mg·kg ⁻¹) | 超标样品数 /个 |
|----------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------|
| 有机肥 | 13 | 0.19 | 0.75 | 0.35 | 0.42a | 0.19 | 2 ^[34] | 0 |
| 钙镁磷肥 | 7 | 0.018 | 0.39 | 0.15 | 0.15b | 0.13 | 5 ^[33] | 0 |
| 有机-无机复混肥 | 10 | 0.012 | 0.18 | 0.054 | 0.10b | 0.11 | 5 ^[32] | 0 |
| 烟草专用肥 | 17 | 0.022 | 0.16 | 0.041 | 0.060b | 0.05 | 5 ^[32] | 0 |
| 钾肥 | 16 | 0.009 | 0.11 | 0.040 | 0.053b | 0.030 | 5 ^[33] | 0 |
| 镁肥 | 10 | ND | 0.050 | 0.022 | 0.030b | 0.024 | 5 ^[33] | 0 |
| 硼肥 | 7 | ND | 0.062 | 0.032 | 0.031b | 0.020 | 5 ^[33] | 0 |

表 6 各类肥料样品中 Ni 含量

Table 6 The content of Ni in different fertilizers

| 肥料种类 | 样品数 /个 | 最小值/ (mg·kg ⁻¹) | 最大值/ (mg·kg ⁻¹) | 中位值/ (mg·kg ⁻¹) | 平均值/ (mg·kg ⁻¹) | 标准偏差/ (mg·kg ⁻¹) | 限量/ (mg·kg ⁻¹) | 超标样品数 /个 |
|----------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------|
| 钙镁磷肥 | 7 | 9.75 | 2518.83 | 18.26 | 514.56a | 950.69 | - | - |
| 有机肥 | 13 | 3.98 | 23.49 | 8.53 | 10.30b | 6.02 | - | - |
| 有机-无机复混肥 | 10 | 5.08 | 15.39 | 7.22 | 7.86b | 2.80 | - | - |
| 烟草专用肥 | 17 | 0.080 | 5.36 | 2.25 | 2.46b | 1.64 | - | - |
| 硼肥 | 7 | 0.002 | 4.53 | 0.60 | 1.74b | 1.91 | - | - |
| 钾肥 | 16 | 0.037 | 1.05 | 0.43 | 0.43b | 0.37 | - | - |
| 镁肥 | 10 | 0.24 | 1.02 | 0.48 | 0.56b | 0.29 | - | - |

中 Ni 的限量标准，同时应加强其监管监测工作。

2.7 各类肥料中 Pb 含量分析

由表 7 看出，江西烟区调查肥料样品中 Pb 含量总体较低，平均值为 5.77±7.25 mg/kg，所有肥料中 Pb 含量均未超标。方差分析显示，钙镁磷肥和有机肥中 Pb 含量显著高于烟草专用肥、钾肥、镁肥和硼肥，但与有机肥和有机-无机复混肥中 Pb 含量差异不显著。

2.8 各类肥料中 Zn 含量分析

由表 8 看出，江西烟区调查肥料样品中 Zn 含量差异较大，平均值为 234.00 ± 460.89 mg/kg。方差分析显示，有机-无机复混肥中 Zn 含量显著高于其他 6 种肥料。

2.9 肥料重金属污染程度评价

钙镁磷肥、镁肥、钾肥和硼肥参照《GB/T 23349—2009 肥料中砷、镉、铅、铬、汞生态指标》；有机肥参照《NY 525—2012 有机肥料》；有机-无机复混肥参照《GB 18877—2009 有机-无机复混肥料》，鉴于烟草专用肥一般含有大量的氮磷钾元素和有机质，故烟草专用肥亦参照此标准，对各类肥料中重金属的单项污染指数与综合污染指数进行计算。

从表 9 可知，江西烟区调查肥料样品重金属单因子污染指数总体较低，处于 0.024~0.141，属于清洁水平。有机-无机复混肥 As、有机肥 Cd、Hg 及 Pb 和钙镁磷肥 Cr 其单因子污染指数相对

表 7 各类肥料样品中 Pb 含量

Table 7 The content of Pb in different fertilizers

| 肥料种类 | 样品数 /个 | 最小值/ (mg·kg ⁻¹) | 最大值/ (mg·kg ⁻¹) | 中位值/ (mg·kg ⁻¹) | 平均值/ (mg·kg ⁻¹) | 标准偏差/ (mg·kg ⁻¹) | 限量/ (mg·kg ⁻¹) | 超标样品数/ 数/个 |
|----------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------|
| 钙镁磷肥 | 7 | 3.30 | 46.70 | 17.54 | 16.62a | 15.54 | 200 ^[33] | 0 |
| 有机肥 | 13 | 2.22 | 36.55 | 13.33 | 14.44a | 12.65 | 50 ^[34] | 0 |
| 有机-无机复混肥 | 10 | 1.64 | 16.97 | 8.21 | 7.92ab | 4.49 | 150 ^[32] | 0 |
| 烟草专用肥 | 17 | 0.12 | 5.21 | 0.60 | 0.97b | 1.26 | 150 ^[32] | 0 |
| 钾肥 | 16 | 0.04 | 0.67 | 0.15 | 0.25b | 0.22 | 200 ^[33] | 0 |
| 镁肥 | 10 | 0.02 | 0.21 | 0.10 | 0.10b | 0.05 | 200 ^[33] | 0 |
| 硼肥 | 7 | 0.008 | 0.24 | 0.06 | 0.091b | 0.09 | 200 ^[33] | 0 |

表 8 各类肥料样品中 Zn 含量

Table 8 The content of Zn in different fertilizers

| 肥料种类 | 样品数 /个 | 最小值/ (mg·kg ⁻¹) | 最大值/ (mg·kg ⁻¹) | 中位值/ (mg·kg ⁻¹) | 平均值/ (mg·kg ⁻¹) | 标准偏差/ (mg·kg ⁻¹) | 限量/ (mg·kg ⁻¹) | 超标样品数/ 数/个 |
|----------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------|
| 有机-无机复混肥 | 10 | 81.96 | 2588.41 | 1346.59 | 1269.80a | 798.96 | - | - |
| 有机肥 | 13 | 10.31 | 310.43 | 108.56 | 157.49b | 102.75 | - | - |
| 硼肥 | 7 | 0.16 | 836.38 | 1.11 | 126.12b | 313.36 | - | - |
| 钙镁磷肥 | 7 | 13.31 | 274.65 | 35.96 | 67.43b | 92.82 | - | - |
| 烟草专用肥 | 17 | 0.31 | 22.30 | 11.68 | 12.83b | 11.08 | - | - |
| 镁肥 | 10 | 0.41 | 9.11 | 0.96 | 2.43b | 3.16 | - | - |
| 钾肥 | 16 | 0.12 | 11.45 | 1.08 | 1.91b | 2.70 | - | - |

表9 各类肥料单因子污染指数和综合污染指数
Table 9 The single and comprehensive pollution index of different fertilizers

| 肥料品种 | Pi | | | | | P _综 |
|----------|-------|-------|-------|-------|--------|----------------|
| | As | Cd | Cr | Hg | Pb | |
| 钙镁磷肥 | 0.409 | 0.035 | 0.539 | 0.030 | 0.083 | 0.411 |
| 镁肥 | 0.001 | 0.007 | 0.002 | 0.006 | 0.0005 | 0.005 |
| 钾肥 | 0.003 | 0.005 | 0.009 | 0.011 | 0.001 | 0.009 |
| 硼肥 | 0.003 | 0.006 | 0.004 | 0.006 | 0.0004 | 0.005 |
| 有机肥 | 0.258 | 0.273 | 0.120 | 0.210 | 0.289 | 0.261 |
| 有机-无机复混肥 | 0.441 | 0.039 | 0.023 | 0.020 | 0.053 | 0.322 |
| 烟草专用肥 | 0.051 | 0.012 | 0.013 | 0.012 | 0.006 | 0.038 |
| 所有肥料 | 0.141 | 0.026 | 0.088 | 0.024 | 0.038 | 0.109 |

较高；江西烟区调查肥料样品重金属综合污染指数平均值为 0.109，范围为 0.005~0.411，各类肥料综合污染指数高低顺序依次为钙镁磷肥 > 有机-无机复混肥 > 有机肥 > 钾肥 > 镁肥 硼肥。

3 讨论

生产肥料的原料是影响肥料中重金属含量高低的主要因素。钙镁磷肥重金属含量与磷矿及其来源密切相关，不同区域磷矿中重金属的含量差异往往较大^[35]。本调查发现，我国钙镁磷肥 Cr、Cu、Ni 和 Pb 含量较高，且存在 Cr 超标现象。鉴于我国钙镁磷肥中较高的重金属含量，应该加强钙镁磷肥产品中重金属监管和监测工作，从源头上严格控制重金属进入土壤的数量，从而降低对土壤重金属污染风险。

有机-无机复混肥料通常以禽畜粪便、动植物残体、供农田施用的各种腐熟的城镇生活垃圾等有机物料经过发酵处理，添加无机肥料（氮、磷、钾）制成的^[36]。饲料中普遍大量添加 Cu 和 Zn 等微量元素，禽畜粪便中的重金属含量通常较高^[37]。复混肥中磷肥的混合亦会带入部分重金属^[22]。本调查发现，有机-无机复混肥中 Zn 含量高达几千毫克每千克，远远高于其他肥料，可能与其生产工艺有关。

有机肥料的成分和来源复杂，国内的商品有机肥料大多是畜禽粪便、农业有机废弃物（如作物秸秆和饼粕等）、工业有机废弃物（如糖醛渣、味精下脚料、造纸废液提取物和污泥等）以及草（泥）炭、腐植酸风化煤等单独或混合发酵熟化后生成^[38]。许多研究表明，长期使用家禽粪便^[39-40]、猪粪

^[41]、牛粪^[42]或者污泥^[43]能够使土壤表层的 Cu 和 Zn 含量明显增加。本调查发现，有机肥中 Cd 和 Hg 含量为各类肥料中最高，且显著高于其他肥料。可见，有机肥料原料中这 2 种重金属含量较高。钙镁磷肥是主要的重金属元素携带者，复混肥是 Zn 的主要携带者，有机肥是 Cd 和 Hg 的主要携带者，此结论与刘海伟等^[29]调查的赣州烟田肥料的结论一致。

除江西省烟田钙镁磷肥中 Cr、Cu 和 Zn 含量（高达几百甚至几千毫克每千克）以及有机-无机复混肥中 Zn 含量较高之外，其他肥料中重金属含量与以往文献报道^[20-21,24-25,31,44]中肥料重金属含量基本相近。据资料显示，江西省抚州烟区土壤样品中 Cu 和 Zn 含量较高，其超标率分别为 1.7% 和 5.1%，其烟叶中 Cr 和 Zn 含量亦较高^[2]，这可能与江西烟田常用肥料（钙镁磷肥、有机-无机复混肥）中相应的重金属元素含量较高有关。

虽然重金属 Cu、Zn 和 Ni 是作物必需的微量营养元素，但长期施用仍会对土壤和农作物质量安全产生一定风险^[45]。鉴于钙镁磷肥和有机-无机复混肥中上述元素含量较高，建议加强此 2 类肥料中 Cu、Zn 和 Ni 的监管和监测工作，并制定相应地标准限量，防止其对土壤和农产品构成污染。

4 结论

本研究调查发现，同一肥料中各种重金属元素含量差异较大，同一种元素在不同肥料中亦差异较大。钙镁磷肥、有机肥和有机-无机复混肥中重金属含量总体较高，个别钙镁磷肥 Cr 和有机-无机复混肥 As 样品存在超标现象；而镁肥、钾肥

和硼肥中重金属含量较低,其重金属含量均未超标。江西省烟区调查肥料样品中重金属污染均处于清洁水平,其单因子污染指数大小顺序为 As > Cr > Pb > Cd > Hg,综合污染指数为钙镁磷肥 > 有机-无机复混肥 > 有机肥 > 钾肥 > 镁肥~硼肥。

江西省烟田肥料中重金属含量总体较低,但钙镁磷肥和复混肥中 Cu、Zn 和 Ni 含量较高。由于我国肥料缺乏上述 3 种元素的限量,为免由于长期使用这些肥料而造成土壤和农产品重金属污染,故建议制定肥料中上述 3 种元素的标准限量,并进一步加强肥料中重金属的监管和监测工作。同时,建议尽量少施用重金属含量高的肥料,有利于减少烟叶对重金属元素的累积。

参考文献

- [1] Ashraf M, Vera I S, Andrei A. Genotypic variation of the response to cadmium toxicity in *Pisum sativum* L.[J]. *J Exp Bot*, 2005, 56(409): 167-178.
- [2] 魏益华, 陈云霞, 周瑶敏, 等. 江西抚州烟区土壤及烟叶重金属污染状况评价[J]. *中国烟草科学*, 2014, 35(1): 19-25.
- [3] Tsadilas C D, Karaivazoglou N A, Tsotsolis N C, et al. Cadmium uptake by tobacco as affected by liming, N form, and year of cultivation[J]. *Environ Pollution*, 2005, 134: 239-246.
- [4] 曹祥练, 孙敬国, 卢红良. 重金属对烤烟产量及品质影响的研究进展[J]. *河北农业科学*, 2009, 13(9): 3-6, 9.
- [5] 邓家, 胡继伟, 李继新, 等. 重金属离子对烤烟叶片中铜锌超氧化物歧化酶活性的影响[J]. *中国烟草学报*, 2010, 16(3): 1-6.
- [6] Wang Fa Yuan, Wang Ling, Shi Zhao Yong, et al. Effects of AM inoculation and organic amendment, alone or in combination, on growth, P nutrition, and Heavy-metal uptake of tobacco in Pb-Cd contaminated soil[J]. *J Plant Growth regul*, 2012, (31): 549-559.
- [7] Marano K M, Naufal Z S, Kathman S J. Cadmium exposure and tobacco consumption: Biomarkers and risk assessment[J]. *Regul Toxicol Pharm*, 2012, 64: 243-252.
- [8] 黄浩, 周冀衡, 陈初, 等. 重金属铅、镉叶面喷施对烤烟上部叶生长的影响[J]. *湖南农业科学*, 2012(23): 59-60, 63.
- [9] 张玉涛, 杨兴平, 李琳, 等. 重金属 Pb、Cr、Cd 对烟草生长的影响及其分布规律[J]. *南方农业学报*, 2012, 43(11): 1697-1702.
- [10] 郑新章, 高琳, 周雅宁. 近 5 年国内外烟草科技论文统计分析与研究热点[J]. *中国烟草学报*, 2008, 14(3): 59-64.
- [11] Choi Y E, Harada E, Wada M, et al. Detoxification of cadmium in tobacco plants: formation and active excretion of crystals containing cadmium and calcium through trichomes [J]. *Planta*, 2006, 213: 45-50.
- [12] 孟建玉, 商胜华, 陆宁, 等. 土壤重金属含量对烟叶和烟气中重金属的影响[J]. *中国烟草科学*, 2012, 33(3): 1-6.
- [13] Uprety D, Hejcman M, Száková J, et al. Concentration of trace elements in arable soil after long-term application of organic and inorganic fertilizers[J]. *Nutr Cycl Agroecosys*, 2009, 85(3): 241-252.
- [14] Mar S S, Okazaki M, Motobayashi T. Investigation of Cd contents in several phosphate rocks used for the production of fertilizer[J]. *Microchemical J*, 2012, 104: 17-21.
- [15] Jiao W T, Chen W P, Chang A C, et al. Environmental risks of trace elements associated with long-term phosphate fertilizers applications: A review[J]. *Environ Pollution*, 2012, 168: 44-53.
- [16] 张艳玲, 张仕祥, 杨杰, 等. 施肥对植烟土壤重金属输入的影响[J]. *烟草科技*, 2010(11): 51-54, 60.
- [17] Perez A I, Anderson K A. DGT estimates cadmium accumulation in wheat and potato from phosphate fertilizer applications[J]. *Sci Total Environ*, 2009, 407(18): 5096-5103.
- [18] De Vries W, McLaughlin M J. Modeling the cadmium balance in Australian agricultural systems in view of potential impacts on food and water quality[J]. *Sci Total Environ*, 2013, 461-462: 240-257.
- [19] Jalarnajadi A R, Sayyad G, Homae M, et al. Spatial variability of soil total and DTPA-extractable cadmium caused by long-term application of phosphate fertilizers, crop rotation, and soil characteristics[J]. *Environ Monit Assess*, 2013, 185(5): 4087-4096.
- [20] 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.
- [21] 陈海燕, 高雪, 韩峰. 贵州省常用化肥重金属含量分析及评价[J]. *耕作与栽培*, 2006(4): 18-19.
- [22] 周焱, 陆若辉, 董越勇, 等. 浙江省复混肥料、有机-无机复混肥料和有机肥料品质的研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(1): 148-154.
- [23] 苗玉奎, 申建波, 张福锁, 等. 应用 ICP-MS 测定 KCl 肥料中重金属元素含量[J]. *光谱学与光谱分析*, 2008, 28(10): 2428-2430.
- [24] 封朝晖, 刘红芳, 王旭. 我国主要肥料产品中有害元素的含量与评价[J]. *中国土壤与肥料*, 2009(4): 44-47.
- [25] 陈林华, 倪吾钟, 李雪莲, 等. 常用肥料重金属含量

- 的调查分析[J]. 浙江理工大学学报, 2009, 26(2): 223-227.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 庄云, 武小净, 李德成, 等. 安徽省皖南烟区灌溉水体和肥料重金属含量研究[J]. 土壤, 2013, 45(1): 190-192.
- [29] 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.
- [30] 武小净, 李德成, 庄云, 等. 山东省典型烟区烟叶重金属的外源调查[J]. 土壤, 2013, 45(3): 513-516.
- [31] 武小净, 李德成, 胡锋, 等. 福建典型烟区土壤、灌溉水和肥料中重金属含量调查[J]. 土壤, 2013, 45(2): 246-249.
- [32] 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. GB 18877—2009 有机-无机复混肥料[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [33] 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. GB/T 23349—2009 肥料中砷、镉、铅、铬、汞生态指标[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [34] 中华人民共和国农业部. NY 525—2012 有机肥料[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [35] 马榕. 重视磷肥中重金属镉的危害[J]. 磷肥与复肥, 2002, 17(6): 5-6.
- [36] 王起超, 麻壮伟. 某些市售化肥的重金属含量水平及环境风险[J]. 农村生态环境, 2004, 20(2): 62-64.
- [37] 彭来真, 刘琳琳, 张寿强, 等. 福建省规模化养殖场畜禽粪便中的重金属含量[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2010, 39(5): 523-527.
- [38] 奚振邦, 王寓群, 杨佩珍. 中国现代农业发展中的有机肥问题[J]. 中国农业科学, 2004, 37(12): 1874-1878.
- [39] Adeli A, Sistany K R, Tewolde H, et al. Broiler litter application effects on selected trace elements under conventional and no-till systems[J]. Soil Sci, 2007, 172: 349-365.
- [40] Schomberg H H, Endale D, Jenkins M, et al. Soil test nutrient changes induced by poultry litter under conventional tillage and no-tillage[J]. Soil Sci Soc Am J, 2008, 73: 154-163.
- [41] Berenguer P, Cela S, Santiveri F, et al. Copper and zinc soil accumulation and plant concentration in irrigated maize fertilize with liquid swine manure[J]. Agron J, 2008, 100: 1056-1061.
- [42] Benke M B, Indratne S P, Hao X, et al. Trace element changes in soil after long-term cattle manure applications[J]. Environ Qual, 2008, 37: 798-807.
- [43] Mantovia P, Baldonib G, Toderib G. Reuse of liquid dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land: effects of long-term application on soil and crop[J]. Water Res, 2005, 39: 289-296.
- [44] 黄青青, 刘星, 张倩, 等. 应用 ICP-MS 和 AFS 测定含磷肥料中重金属含量[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(5): 403-406.
- [45] Atafar Z, Mesdaghinia A, Nouri J. Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration[J]. Environ Monit Assess, 2010, 160: 83-89.