

烟叶中的重金属来源及其影响因素研究

罗云^{1,2}, 杨焕文¹, 王绍坤², 陈兴位³, 董石飞², 张静², 李伟², 闫辉³, 徐兴阳^{4*}

(1. 云南农业大学烟草学院, 云南昆明 650201; 2. 红云红河烟草(集团)有限责任公司, 云南昆明 650202;

3. 云南省农业科学院, 云南昆明 650205; 4. 云南省烟草公司昆明市公司, 云南昆明 650051)

摘要:为摸清烟叶中的重金属来源及其影响因素,在云南省12个州(市)烟区域采用抽样普查的方法,比较烟区土壤、灌溉水、烟叶及其他作物中的重金属含量(质量分数,下同)分布,探索烟叶中重金属的来源及其影响因子。结果表明:1)重金属含量在土壤中最,烟叶次之,灌溉水最低,其变异幅度则表现为灌溉水>土壤>烟叶。2)烟叶中铬和砷的含量低于水稻、玉米、绿肥、豌豆、小麦和油菜等作物2.3~20.3倍,但镉、铅、铜和汞的含量高于玉米和水稻等作物3.0~6.6倍。3)矿源是其周边土壤中重金属的主要来源之一,而土壤中的重金属对烟叶重金属含量影响很大。4)土壤和烟叶中的重金属含量均随海拔的升高呈下降趋势,且土壤的pH值、有机质和镁含量等理化指标对烟叶重金属含量影响显著。研究结果可为了解烟叶重金属来源和控制烟叶重金属污染提供科学依据。

关键词:烟叶;重金属;来源;影响因素

中图分类号:S572 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-5639(2016)03-0022-06

DOI:10.14091/j.cnki.kmxyxb.2016.03.005

Study the Sources and the Affective Factors of Heavy Metals in Tobacco Leaf

LUO Yun^{1,2}, YANG Huan-wen¹, WANG Shao-kun², CHEN Xing-wei³,

DONG Shi-fei², ZHANG Jing², LI Wei², YAN Hui³, XU Xing-yang^{4*}

(1. Faculty of Tobacco Science, Yunnan University of Agriculture, Yunnan Kunming 650201, China;

2. Hongyun Honghe Tobacco (Group) Co., Ltd, Yunnan Kunming 650202, China;

3. Yunnan Provincial Academy of Agricultural Science, Yunnan Kunming 650205, China;

4. Yunnan Tobacco Company Kunming Branch, Yunnan Kunming 650051, China)

Abstract: In order to find out the sources of heavy metals in tobacco leaf and the affective factors, the content and distribution of heavy metals in soil, irrigation water and tobacco leaf were compared in 12 districts of Yunnan Province by sampling survey to explore the sources of heavy metals in tobacco leaf and their affective factors. The results showed that: (1) the content of heavy metals in soil is the highest. The content of heavy metals in tobacco leaf is the second and the content of heavy metals in irrigation water is the lowest. The variation range is irrigation water > soil > tobacco leaf. (2) the content of chromium and arsenic is 2.3 to 20.3 times lower than that of rice, corn, green manure, pea, wheat, rape and other crops. However, the content of cadmium, lead, copper and mercury is 3.0 to 6.6 times higher than that of corn, rice, and other crops. (3) the ore source is one of the main sources of heavy metals in the surrounding soil, and the heavy metals in the soil highly influence the content of heavy metals in tobacco leaf. (4) the content of heavy metals in soil and tobacco leaf has a tendency to decrease with the increase of the altitude, and the PH value, organic matter, the content of magnesium and other physical and chemical indicators have significant effects on the content of heavy metals in tobacco leaf. These research results provide scientific basis for understanding the source of heavy metals in tobacco leaf and controlling the pollution of heavy metals in tobacco leaf.

Key words: tobacco leaf; heavy metal; source; affective factor

收稿日期:2016-05-22

基金项目:红云红河集团重大科技资助项目(HYHH2013YL02)。

作者简介:罗云(1984—),男,云南昆明人,烟草物流师,在职硕士研究生,主要从事烟草农业研究;杨焕文(1964—),男,云南剑川人,教授,主要从事烟草栽培研究。

* 通讯作者:徐兴阳(1974—),男,云南盐津人,高级农艺师,硕士,主要从事烟草农业研究,E-mail:yy_xxy@sina.com.

随着人口的迅速增长和工业化程度的不断提高,人类正承受着越来越大的环境保护和农产品安全的压力,因此开始高度重视减少“公害”、保护环境的问题,并从各个层面开展研究和生产符合健康安全要求的农产品^[1-3]. 其中重金属的安全问题越来越受到人面的关注,尽管农产品的重金属污染尚未上升到危及人体健康的程度,但农产品的重金属问题已经对我们敲响了警钟^[4].

作物的重金属含量与土壤重金属含量密切相关^[5]. 重金属可以随外源物质,如汽车尾气、大气沉降、工业“三废”、污水灌溉、农用物资等途径进入土壤^[6-7]. 此外,云贵高原地区矿产资源丰富,也是造成土壤重金属含量高的另一个重要原因^[8]. 而烟叶中的重金属主要来源于其生长的生态环境. 本文以烟叶、主要作物及其生态环境中的 6 种重金属为研究对象,结合已有的相关研究结果^[9-10],探索分析烟叶中的重金属来源及其影响因素,为提高烟叶的安全性提供科学参考.

1 材料与方法

1.1 普查地点

在昆明、玉溪、楚雄、曲靖、保山、红河、文山、大理、普洱、昭通、临沧、德宏共 12 个州(市),主要选择植烟面积在 200 hm² 以上的乡镇开展普查.

1.2 普查对象及取样方法

普查对象涉及土壤、灌溉水、烤烟及其他主要农

作物. 取样方法如下:

- 1) 每个乡镇设立 2~3 个普查点;
- 2) 利用 GIS 网格分析方法对普查点的布局进行分析,以保证普查区域内普查点的均衡性及代表性;
- 3) 兼顾不同海拔区域、不同土壤类型的烟地.

1.3 重金属检测方法

烟叶中铅(Pb)、镉(Cd)含量(质量分数,下同)采用原子吸收分光光度法,分别按照 GB/T 5009. 12 和 GB/T 5009. 5 标准测定;烟叶中汞(Hg)含量采用冷原子吸收法,按 GB/T 5009. 17 标准测定;烟叶中砷(As)含量采用二乙基二硫代氨基甲酸银比色法,按 GB/T 5009. 11 标准测定;烟叶中铬(Cr)、铜(Cu)含量参照文献[10~11]方法测定.

2 结果与分析

2.1 烤烟和其他作物与产地生态环境中的重金属质量分数分布

2.1.1 烤烟与不同前季和同季作物的重金属质量分数分布

在云南省石林、宜良、景东、泸西、会泽等县设立了 20 个典型调查点,对烤烟及其前季作物(绿肥、豌豆、小麦、油菜)和同季作物(玉米、水稻)的相关样品进行采集,检测样品中的重金属质量分数. 检测结果见表 1.

| 表 1 烤烟前作及同季作物中的重金属质量分数 | | | | | | | mg/kg |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| 作物类型 | 作物(部位) | 铅 | 铬 | 镉 | 汞 | 铜 | 砷 |
| 前季作物 | 绿肥(植株) | 4. 370 | 1. 750 | 2. 730 | 0. 032 | 11. 690 | 0. 250 |
| | 豌豆(植株) | 2. 610 | 8. 100 | 2. 290 | 0. 011 | 12. 510 | 0. 150 |
| | 小麦(植株) | 1. 300 | 7. 310 | 1. 020 | 0. 010 | 2. 120 | 0. 330 |
| | 油菜(植株) | 2. 350 | 4. 370 | 1. 380 | 0. 024 | 4. 150 | 0. 310 |
| 同季作物 | 水稻(植株) | 1. 725 | 2. 225 | 0. 287 | 0. 016 | 2. 313 | 2. 641 |
| | 水稻(子粒) | 0. 582 | 2. 034 | 0. 385 | 0. 007 | 2. 640 | 0. 200 |
| | 玉米(植株) | 2. 602 | 2. 879 | 0. 273 | 0. 022 | 5. 107 | 0. 578 |
| | 玉米(子粒) | 0. 848 | 0. 207 | 0. 287 | 0. 011 | 1. 421 | 0. 054 |
| 对照作物 | 烤烟(叶片) | 4. 111 | 0. 398 | 2. 027 | 0. 053 | 10. 725 | 0. 380 |

由表 1 可见,与前季作物相比,烤烟的镉质量分数略低于绿肥和豌豆,略高于小麦和油菜;烤烟的铬质量分数远低于绿肥、豌豆、小麦和油菜等 4 种小春作物,其幅度为 4.4~20.3 倍. 与同季作物相比,烤烟的铬和砷质量分数远低于玉米和水稻,分别低

4.6 倍和 2.29 倍;但烤烟的镉、铅、铜和汞的质量分数则高于玉米和水稻,其幅度为 3.0~6.6 倍.

2.1.2 灌溉水、土壤和烟叶中的重金属质量分数分布

灌溉水、土壤和烟叶中的重金属质量分数的描述性统计结果分别见表 2、表 3 和表 4.

表 2 灌溉水中重金属质量分数的描述性统计

| 项目 | 铅 | 铬 | 镉 | 汞 | 铜 | 砷 |
|---|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 均值/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 0.006 5 | 0.001 2 | 0.002 5 | 0.000 4 | 0.012 8 | 0.001 6 |
| 标准差 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.17 | 0.00 |
| 偏度 | 1.76 | 18.39 | 23.79 | 41.00 | 24.01 | 1.82 |
| 峰度 | 4.55 | 445.23 | 564.94 | 1 690.14 | 580.86 | 3.82 |
| 变异系数 | 0.53 | 1.89 | 13.16 | 8.90 | 14.53 | 1.20 |

表 3 土壤中重金属质量分数的描述性统计

| 项目 | 铅 | 铬 | 镉 | 汞 | 铜 | 砷 |
|---|--------|-------|--------|-------|-------|--------|
| 均值/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 47.74 | 72.11 | 0.25 | 0.16 | 43.34 | 19.86 |
| 标准差 | 65.05 | 71.71 | 2.15 | 0.24 | 48.22 | 43.29 |
| 偏度 | 11.15 | 4.44 | 27.33 | 6.88 | 2.74 | 10.78 |
| 峰度 | 174.85 | 36.77 | 768.44 | 75.50 | 9.39 | 212.02 |
| 变异系数 | 1.35 | 0.85 | 6.11 | 1.39 | 0.91 | 1.77 |

表 4 烟叶中重金属质量分数的描述性统计

| 项目 | 铅 | 铬 | 镉 | 汞 | 铜 | 砷 |
|---|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 均值/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 4.37 | 0.93 | 1.73 | 0.06 | 12.68 | 0.54 |
| 标准差 | 2.43 | 0.33 | 1.47 | 0.08 | 10.58 | 1.82 |
| 偏度 | 4.62 | 3.80 | 5.74 | 18.54 | 2.91 | 4.04 |
| 峰度 | 37.39 | 49.21 | 72.00 | 454.24 | 14.43 | 19.77 |
| 变异系数 | 0.51 | 0.36 | 0.84 | 1.19 | 0.82 | 1.73 |

由表 2 ~ 表 4 可见:

1) 从质量分数的高低来看, 重金属在土壤中的质量分数最高(0.16 ~ 72.11 mg/kg), 烟叶中的重金属质量分数居中(0.06 ~ 12.68 mg/kg), 灌溉水中的重金属质量分数最低(0.000 4 ~ 0.012 8 mg/kg).

2) 从质量分数的变化来看, 重金属在灌溉水中的质量分数变化最大(变异系数为 0.53 ~ 14.53), 重金属在土壤中的质量分数变化居中(变异系数为 0.85 ~ 6.11), 重金属在烟叶中的质量分数变化最小(变异系数为 0.36 ~ 1.73).

对变异度的分析表明, 烤烟体内的重金属主要由根部从土壤中吸收, 其质量分数受灌溉水和土壤中的重金属质量分数影响, 其吸收由细胞膜调控. 因此, 与灌溉水和土壤中的重金属质量分数变化相比, 烟叶中的重金属质量分数变化明显较小. 而重金属离子在水中是以溶解态和粒子态存在, 由于水体流动性大, 导致水中的重金属质量分数变化很大; 重金

属进入土壤后, 大部分被土壤以静电和络合作用吸附, 不易被水淋溶、微生物及植物吸收; 剩余部分重金属则残留于土壤溶液中, 这部分重金属可被植物选择性吸收, 因此土壤中的重金属质量分数变化也较大.

2.2 影响土壤和烟叶中重金属质量分数变化的因素

2.2.1 矿源对其周边土壤背景中重金属质量分数的影响

矿源周边取样点土壤中的重金属质量分数检测结果见下表 5.

从表 5 可知, 离矿区近的土壤重金属质量分数显著高于离矿区远的土壤, 铅锌矿周围的土壤中铅质量分数比磷矿周围的土壤高出 3 ~ 4 倍; 铅锌矿和磷矿周围的土壤均表现为镉超标, 超过国家《土壤环境质量》二级标准的 2.5 ~ 6.2 倍. 这说明矿源中的重金属是其周边土壤背景中重金属的主要来源之一.

表 5 矿源周边取样点土壤中的重金属质量分数检测结果

| 区域 | 编号 | 离矿区距离/km | 铅 | 铬 | 镉 | 汞 | 铜 | 砷 |
|-------|----|----------|--------|--------|------|------|--------|-------|
| 晋宁磷矿 | 1 | 2.5 | 116.82 | 165.89 | 1.24 | 0.22 | 89.18 | 27.98 |
| | 2 | 5.0 | 127.18 | 178.29 | 0.72 | 0.23 | 79.76 | 18.22 |
| | 3 | 7.5 | 198.43 | 147.53 | 0.76 | 0.14 | 96.53 | 18.29 |
| | 4 | 10.0 | 158.20 | 197.21 | 0.98 | 0.19 | 86.78 | 26.71 |
| | 5 | 15.0 | 97.72 | 142.17 | 0.96 | 0.16 | 73.98 | 19.25 |
| 会泽铅锌矿 | 1 | 2.5 | 786.42 | 187.14 | 1.76 | 0.16 | 107.62 | 31.25 |
| | 2 | 5.0 | 727.97 | 206.29 | 1.56 | 0.13 | 114.78 | 26.53 |
| | 3 | 7.5 | 677.16 | 189.23 | 1.54 | 0.19 | 98.23 | 28.19 |
| | 4 | 10.0 | 618.87 | 196.97 | 1.86 | 0.21 | 124.52 | 29.17 |
| | 5 | 15.0 | 592.23 | 176.14 | 1.32 | 0.17 | 118.53 | 35.98 |

2.2.2 土壤理化性状对烟叶重金属质量分数的影响

土壤理化形状与烟叶重金属质量分数的相关性分析结果见表 6.

由表 6 可知,土壤 pH 值与烟叶镉、铜质量分

数呈极显著负相关;土壤有机质质量分数与烟叶砷质量分数呈极显著负相关;土壤有效镁质量分数与烟叶镉质量分数呈极显著负相关;土壤有效钙质量分数与烟叶重金属质量分数相关性不显著.

表 6 土壤理化形状与烟叶重金属质量分数的相关性分析

| 项目 | 铜 | 铅 | 镉 | 铬 | 汞 | 砷 |
|-------|-----------|--------|-----------|--------|--------|-----------|
| 土壤 pH | -0.095 ** | -0.014 | -0.111 ** | 0.065 | -0.020 | 0.035 |
| 土壤有机质 | -0.022 | 0.022 | -0.007 | 0.021 | 0.032 | -0.129 ** |
| 土壤有效镁 | -0.029 | -0.006 | -0.092 ** | -0.020 | -0.018 | -0.013 |
| 土壤有效钙 | -0.038 | 0.022 | 0.045 | 0.061 | 0.018 | 0.054 |

注:**表示在置信度(双测)为 0.01 时,相关性是极显著的.

2.2.3 海拔对烟叶和土壤重金属质量分数的影响

在昆明市所辖石林县和宜良县 1 600,1 800,1 900,2 000,2 200 m 这 5 个海拔段的植烟区域内设立调查点,共采集土壤样品 64 个及对应烟叶样品

(C3F)64 个.海拔与土壤和烟叶中的重金属质量分数关系见图 1~图 6.

由图 1~图 6 可见,随着海拔的升高,土壤和烟叶中的 6 种重金属质量分数均呈逐渐降低的趋势.

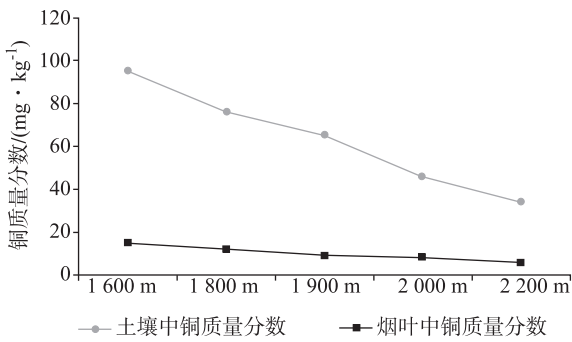


图1 海拔与土壤和烟叶中铜质量分数关系

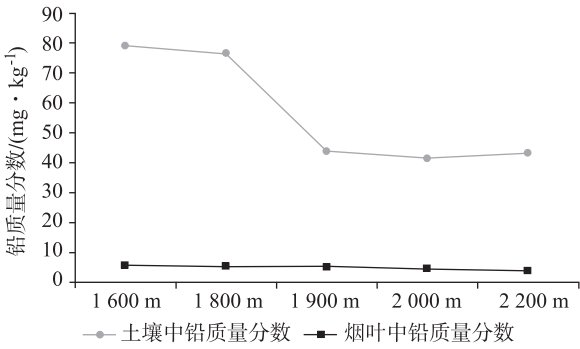


图2 海拔与土壤和烟叶中铅质量分数关系

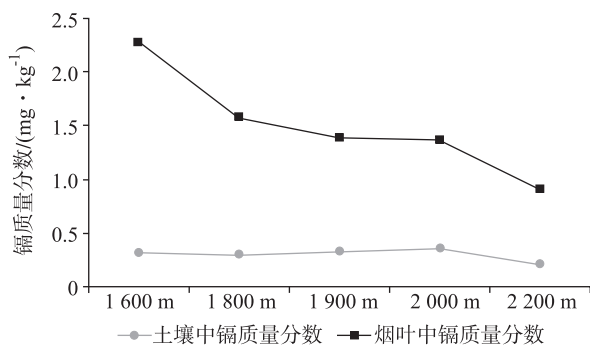


图3 海拔与土壤和烟叶中镉质量分数关系

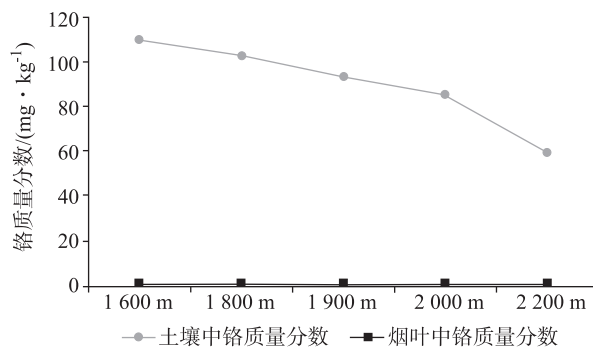


图4 海拔与土壤和烟叶中铬质量分数关系

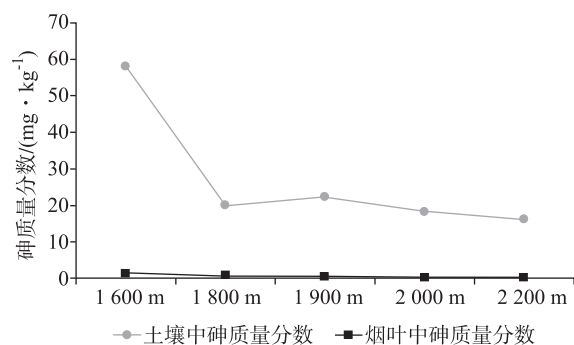


图5 海拔与土壤和烟叶中砷质量分数关系

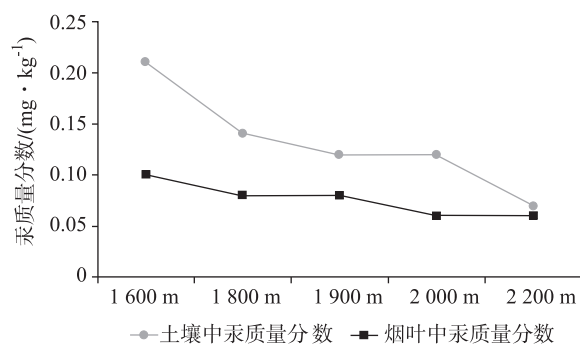


图6 海拔与土壤和烟叶中汞质量分数关系

3 讨论与结论

3.1 讨论

3.1.1 云南主要农作物的重金属质量分数状况

按照国家食品安全相关标准规定^[12-14],根据食品不同特性,规定食品铅限量为 0.05 ~ 5.0 mg/kg;铬限量 0.5 ~ 2.0 mg/kg;镉限量 0.05 ~ 1.0 mg/kg;总汞限量 0.01 ~ 0.05 mg/kg;铜限量 ≤ 10 mg/kg;无机砷限量 0.05 ~ 1.5 mg/kg。

与上述标准比对,云南主要农作物的铅、汞、砷质量分数均不超标;铜质量分数在豆科和烤烟等少量作物体内超标;铬在烤烟叶片中质量分数不超标,且明显低于同季大春及前作小春作物;镉在水稻、玉米中质量分数不超标。

3.1.2 云南主要农作物种植环境中的重金属质量分数状况

根据国家《土壤环境质量》二级标准规定^[15],农田铅限量为 35 ~ 300 mg/kg;镉限量为 0.2 ~ 0.3 mg/kg;铬限量 90 ~ 300 mg/kg;汞限量 0.15 ~ 0.5 mg/kg;铜限量为 35 ~ 100 mg/kg;砷限量为 15 ~ 30 mg/kg。

按照上述标准比对,总体而言云南农作物种植

环境中的 6 种重金属质量分数均不超标,且表现出:土壤 > 农作物(烟叶) > 灌溉水的特点。

3.1.3 矿源对土壤环境重金属质量分数的影响

本研究表明,离矿区近的土壤重金属质量分数显著高于离矿区远的土壤,铅锌矿周围土壤铅质量分数比磷矿周围的土壤高 3 ~ 4 倍,且明显高于国家《土壤环境质量》二级标准^[15],属于重度污染;铅锌矿和磷矿均表现为镉超标,超过国家《土壤环境质量》二级标准的 2.5 ~ 6.2 倍。由此说明,矿源中的重金属是其周边土壤背景中重金属的主要来源之一,这一结论与以往研究结论^[16-17]是相符的。当然,有研究^[18]表明,土壤重金属污染还与生活污染、农业污染和大气沉降污染等关系密切。

3.1.4 土壤理化性状对作物重金属的影响

本研究表明,土壤 pH 值与作物(烟叶)中的镉、铜质量分数呈极显著负相关;土壤有机质质量分数与作物(烟叶)中的砷质量分数呈极显著负相关;土壤有效镁质量分数与作物(烟叶)中的镉质量分数呈极显著负相关;土壤有效钙质量分数与作物(烟叶)中的重金属质量分数相关性不显著。

上述结论与高志强等^[18]的研究结果是基本一致的,即烟草中的 Cu, Zn, Pb, Cd 含量(质量分数)与土壤 pH 值呈显著负相关,与土壤有机质含量(质量

分数)呈显著正相关。

上述结果说明,土壤 pH 值和有机质是影响作物吸收、积累重金属的主要因素。因此,可通过适当提高土壤 pH 值的调控措施,抑制烟叶对铜和镉的吸收;也可通过增施有机肥,提高土壤中的有机质含量(质量分数,下同),进而抑制烟叶对砷的吸收;还可通过增施镁肥,抑制烟叶对镉的吸收。

3.2 结论

1)云南烟区生态环境中6种重金属质量分数从高到低依次为:土壤>烟叶>灌溉水,均不超标。其中,土壤中的重金属质量分数为农作物的3~78倍、水源的400~60 000倍。

2)云南主要农作物的铅、汞、砷质量分数均不超标;铜质量分数在豆科和烤烟等少量作物体内超标;烤烟的铬质量分数不超标,且明显低于同季大春及前作小春作物;镉在水稻、玉米中的质量分数不超标。

3)矿源中的重金属是其周边土壤背景中重金属的主要来源之一,离矿区近的土壤重金属质量分数显著高于离矿区远的土壤;铅锌矿周围的土壤铅质量分数比磷矿周围的土壤高3~4倍,属于重度污染;铅锌矿和磷矿周围的土壤均表现为镉超标,超过国家《土壤环境质量》二级标准的2.5~6.2倍。

4)土壤 pH 值和有机质是影响作物吸收、积累重金属的主要因素。土壤 pH 值与作物(烟叶)中的镉、铜质量分数呈极显著负相关;土壤有机质质量分数与作物(烟叶)中的砷质量分数呈极显著负相关。

5)海拔对土壤和烟叶中的重金属质量分数有一定影响。随着海拔的升高,土壤和烟叶中的6种重金属质量分数均呈逐渐降低的趋势。

[参考文献]

- [1]马爱国.无公害农产品管理与技术[M].北京:中国农业出版社,2006.
- [2]陈素珊,余心杰.我国农产品安全性问题与技术发展趋势研究[J].农机化研究,2003(3):24-26.
- [3]项虹艳,李廷强.加强农业环境保护,确保农产品质量安全[J].广西农业科学,2004,35(3):238-241.
- [4]朱智伟.农产品重金属污染与安全性[J].北京工商大学学报(自然科学版),2012,30(5):16-18,25.
- [5]郝秀珍,周东美,王五军,等.泥碳和化学肥料处理对黑麦草在铜尾矿砂上生长影响的研究[J].土壤学报,2004,41(4):545-548.
- [6]贾学萍.土壤重金属污染的来源及改良措施[J].现代农业科技,2007(9):19-25.
- [7]付丽,徐念.土壤重金属污染来源及修复对策[C]//中国农业生态环境保护协会.第二届全国农业环境科学学术研讨会论文集.天津:农业环境科学学报,2007:290-292.
- [8]曾群旺.云烟及其地质中的稀土元素[J].山西农业大学学报,1995,15(3):284-289.
- [9]董石飞,徐兴阳,罗华元,等.不同烤烟品种对6种重金属吸收能力差异研究[J].郑州轻工业学院学报,2014,29(5):32-34,38.
- [10]雷丽萍,夏振远,方敦煌,等.玉溪烟叶几种重金属含量状况研究[J].西南农业学报,2011,24(4):1612-1614.
- [11]谭宏祥,刘艳芳,赵桂铭,等.原子吸收光谱法测定烟叶中铅、铬和镉的研究[J].农产品加工学刊,2008(5):5-8.
- [12]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.食品安全国家标准 食品中污染物限量:GB 2762—2012[S].北京:中国标准出版社,2013.
- [13]中华人民共和国卫生部.食品中铜限量卫生标准:GB 15199—94[S].北京:中国标准出版社,1995.
- [14]国家环境保护局,国家技术监督局.土壤环境质量标准:GB 15618—1995[S].北京:中国标准出版社,2006.
- [15]魏小慧,李青常,石方斌,等.十堰烟区土壤、地表水和烟叶重金属评价及相关性研究[J].江西农业学报,2012(12):95-97.
- [16]常青山,马祥庆.重金属超富集植物的筛选与螯合吸附研究[D].福州:福建农林大学,2005.
- [17]王春香,徐宸,许安定,等.植烟土壤重金属的有效性及其影响因素研究[J].农业环境科学学报,2014(8):1532-1537.
- [18]高志强,胡鑫,谢会雅,等.植烟区烟草重金属含量及其与土壤环境因子相关性研究[J].作物研究,2014(8):912-914.