

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.07.015

江西名茶中 10 种金属元素含量的测定

Determination of ten kind of metal elements in different varieties of Jiangxi famous tea

柯法钧^{1,2} 杨武英^{1,2} 王丹^{1,2}

KE Fa-jun^{1,2} YANG Wu-ying^{1,2} WANG Dan^{1,2}

洪艳平^{1,2} 陈薪竹^{1,2} 王玉波^{1,2}

HONG Yan-ping^{1,2} CHEN Xin-zhu^{1,2} WANG Yu-bo^{1,2}

(1. 南昌市农产品加工与质量控制重点实验室, 江西 南昌 330045;

2. 江西农业大学食品科学与工程学院, 江西 南昌 330045)

(1. Key Laboratory of Agricultural Products Processing and Quality Control of Nanchang City, Nanchang, Jiangxi 330045, China; 2. Department of Food Science and Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi 330045, China)

摘要:对 K、Ca、Na、Mg、Fe、Cu、Mn、Zn 8 种必需元素火焰原子吸收光谱法的最佳工作条件(乙炔流量、空心阴极灯灯流量和燃烧器高度)进行优化,对铅、镉两种有毒元素石墨炉原子吸收光谱法的最佳工作条件(灰化温度、灰化时间、原子化温度及原子化时间)进行优化,绘制各元素的标准曲线,考察方法的检出限和精密度,优化样品前处理条件及测定样品加标回收率,并对江西名茶中对应的 10 种金属元素的含量进行测定比较。结果表明,建立各元素原子吸收光谱法在相应浓度区间内线性关系良好,相关系数为 0.991 8~0.999 2,精密度为 0.77%~3.32%,检出限为 0.004~0.050 μg/mL,回收率为 99.25%~102.25%,均符合要求。10 种金属元素在 8 种茶叶中的含量差异性显著,其排序基本为 K>Mg>Mn>Ca>Fe>Na>Zn>Cu>Pb>Cd;遂川狗牯脑中 K、Ca、Fe 含量最高,庐山云雾中 Na 含量最高,靖安白茶中 Mg、Zn 含量最高,井冈山翠绿中 Mn 含量最高,武夷红茶中 Cu 含量最高,8 种茶叶中 Pb、Cd 含量均较低。试验建立的原子吸收光谱法操作简便、干扰较少、灵敏度高,适用于各种茶叶中相应元素含量的测定;8 种江西名茶中 K、Ca、Na、Mg 4 种常量元素和 Fe、Cu、Mn、Zn 4 种微量元素含量都比较丰富,Pb、Cd 两种有毒元素含量均低于国家标准。

关键词:江西名茶;金属元素;火焰原子吸收法;石墨炉原子吸收法

Abstract: Firstly, orthogonal test design was adopted to optimize the best working conditions (acetylene flow, hollow cathode lamp flow, burner height) of atomic absorption spectrometry for the eight kinds of essential elements, including potassium, calcium, sodium, magnesium, iron, copper, manganese, and zinc. Single-factor experimental design was adopted to optimize the best working conditions (ashing temperature, ashing time, atomization temperature, atomization time) of graphite furnace atomic absorption spectrometry for the two toxic elements of lead and cadmium. Thereafter, the standard curve of atomic absorption spectrometry for each element under the best working conditions of the instrument was established, and the detection limit and precision of the method were investigated. The sample pre-treatment conditions were optimized. Under the control of the optimal sample pre-treatment conditions, the sample spiked recovery rate was determined, and flame atomic absorption spectrometry of eight essential elements and graphite furnace atomic absorption spectrometry of two toxic elements that meet the requirements of detection were established. Finally, the corresponding ten elements in eight Jiangxi famous teas were determined by these established methods and further compared. The results showed that these established atomic absorption spectrophotometry methods all had good linear relationship in the corresponding concentration range. The correlation coefficients were 0.991 8~0.999 2, and the precision RSD values ranged from 0.77% to 3.32%, with the detection limits of 0.004~0.050 g/mL.

基金项目:国家自然科学基金地区基金项目(编号:31660486)

作者简介:柯法钧,男,江西农业大学在读硕士研究生。

通信作者:杨武英(1971—),女,江西农业大学教授,博士。

E-mail: yangwuyi2003@163.com

收稿日期:2020-02-29

and the recovery rates of 99.25%~102.25%. The results showed that some significant differences in the contents of the ten kinds of elements in the eight types of tea were found, with a certain order, i. e. $K > Mg > Mn > Ca > Fe > Na > Zn > Cu > Pb > Cd$. Suichuan Gouguna tea contains the highest contents of K, Ca, and Fe and Lushan Yunwu tea has the highest Na content. The highest Mg and Zn contents are Jing'an white tea. The highest Mn content is Jinggangshan green tea. Wuyi black tea was found to contain the highest Cu content, while Pb and Cd contents are lower in eight types of tea. These atomic absorption spectrometry methods established in this study are easy to operate, and have less interference and high sensitivity, which also can be used for the determination of the corresponding element content in various other tea. The contents of four kinds of the constant elements of potassium, calcium, sodium, magnesium and four kinds of trace elements of iron, copper, manganese, and zinc, are rich in eight types of famous Jiangxi teas. However, the contents of two kinds of toxic elements, Pb and Cd, are lower than national standards.

Keywords: Jiangxi famous tea; metal element; flame atomic absorption spectrophotometry; graphite furnace atomic absorption spectrophotometry

茶叶中含有 700 多种化学成分,富含 Ca、Mg、K、Na、Cu、Fe、Zn、Cr、I、Mn、Mo、Se 等多种人体所需的常量元素和微量元素^[1-2]。随着工业“三废”的排放和农药的大量使用,大气污染和土壤污染现象日益严重,茶叶中的重金属等有害物质含量逐渐增加^[3-5],严重影响其品质和进出口贸易^[6-7]。目前,关于江西名茶的种植条件、品种配制、茶叶加工等方面的研究较多^[8-9],但关于其常量元素、微量元素和有毒重金属元素含量的系统性测定尚未见报道。试验拟采用正交试验优化 K、Ca、Na、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn 8 种必需元素火焰原子吸收法的最佳工作条件,采用单因素试验优化 Pb、Cd 两种有毒元素石墨炉原子吸收光谱法的最佳工作条件,绘制各元素的标准曲线,考察方法的检出限和精密度,优化前处理条件并测定样品加标回收率,利用建立的方法测定 8 种江西名茶中 10 种金属元素含量,旨在为促进江西名茶种植、加工、评价、销售及日常饮茶选择提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料与仪器

井冈翠绿、靖安白茶、武夷红茶、庐山云雾、婺源毛尖、浮瑶仙芝、修水宁红、遂川狗牯脑:一级清明前或雨前新茶,江西省南昌市鹿鼎国际茶叶城;

10 种金属元素标准储备液:国家化学试剂质检中心;试验所用试剂均为国产分析纯;试验用水均为超纯水;

粉碎机:WND-200 型,浙江省兰溪市佛能达电器有限公司;

马弗炉: SX2-6-13 型,上海嘉展仪器设备有限公司;

石墨炉原子吸收分光光度计: ZA3700 型,日立高新技术公司;

元素空心阴极灯: LTL-MF4 型,北京瑞利普光电器件厂。

1.2 仪器工作条件优化

取一定浓度的各元素标准溶液,8 种常量元素和微量元素进行三因素三水平正交试验;两种有毒元素进行单因素试验(Pb 为易挥发元素,灰化过程中易损失^[10],需加入 5 μL 磷酸二氢铵作为基体改进剂将铅转变成高熔点盐,以降低背景干扰),利用 DPS 软件进行极差分析,优选出各金属元素的最佳工作条件。

1.3 标准曲线的建立及检出限的测定

用 5% 硝酸溶液将 10 种金属元素标准储备液稀释、定容成标准工作溶液(Ca 元素用 25 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的氧化镧定容),测定最佳工作条件下的吸光值,并绘制标准工作曲线。分别测定空白溶液 10 次,得各元素对应的检出限。按式(1)计算检出限。

$$DL = 3S/K \quad (1)$$

式中:

DL——检出限, $\mu\text{g}/\text{mL}$;

S——标准偏差, $\mu\text{g}/\text{mL}$;

K——标准曲线斜率。

1.4 精密度试验

取 6 个不同浓度的常量元素和微量元素标准工作溶液进行火焰原子吸收光谱法分析,每个浓度重复 10 次;取 6 个不同浓度的有毒元素标准工作溶液用石墨炉原子吸收光谱法分析,每个浓度重复 10 次,试验数据进行批内差异分析,考察方法的精密度。

1.5 样品前处理条件优化

选取遂川狗牯脑进行试验比较。茶叶烘干,粉碎备用。准确称取 3 组茶叶样品 1 g,每组两份,分别采用干法灰化、湿法消解进行消解处理,并进行空白对照,测定最佳工作条件下的吸光值,并计算样品中各元素含量,优化样品消解方法。

称取 6 份备用茶叶样品各 1 g,分 3 组,分别加入体积比为 4 : 1 的 HNO_3 — HCl 、 HNO_3 — HClO_4 及 HNO_3 — H_2SO_4 混合酸各 15 mL,按优化的样品消解方法进行处理,并进行试剂空白对照,测定最佳工作条件下的吸光值,并计算元素含量,优化消解酸体系。

1.6 添加回收试验

准确称取 6 份干燥茶叶样品各 1 g,分两组,其中一组加入定量标准液,在优化的湿法消解和 HNO_3 —

HClO₄ 混合酸前处理条件下处理样品茶叶, 然后定容至 50 mL, 测定各金属元素含量, 按式(2)计算回收率。

$$R = \frac{m_1 - m_2}{m} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

R——加标回收率, %;

m——加标量, g;

m₁——加标试样测定值, g;

m₂——试样测定值, g。

1.7 8 种茶中金属元素含量的测定

准确称取庐山云雾、浮瑶仙芝、遂川狗牯脑、武夷红茶、修水宁红、井冈山翠绿、婺源毛尖、靖安白茶 8 种江西名茶干燥样品各 1 g, 按最佳前处理条件进行样品前处理, 并进行空白对照。利用建立的火焰原子吸收分光法测定 8 种江西名茶中 K、Ca、Na、Mg 4 种常量元素^[11-12]和 Fe、Mn、Cu、Zn 4 种微量元素^[13-15]含量, 利用建立的石墨炉原子吸收法测定 Pb 和 Cd 两种有毒元素含量, 按式(3)计算各金属元素含量, 并对其进行比较

分析。

$$X = \frac{(C_1 - C_2) \times V}{m \times 1\,000}, \quad (3)$$

式中:

X——试样中各金属元素含量, mg/kg 或 mg/L;

C₁——试样消化液中各金属元素含量, ng/mL;

C₂——空白液中各金属元素含量, ng/mL;

m——试样质量或体积, g 或 mL;

1 000——换算系数。

1.8 数据处理

所有试验数据经 DPS 统计软件与 Excel 软件进行分析处理, 结果用(均值±标准误差)表示。

2 结果与分析

2.1 仪器最佳工作条件优化

根据正交试验设计原理, 对 8 种常量元素和微量元素进行三因素三水平试验设计, 其因素水平表见表 1, 试验所得最佳火焰原子吸收光谱法工作条件见表 2。

表 1 8 种常量元素、微量元素的因素水平表

Table 1 The factor level table of four constant elements and four trace elements

| 水平 | A 灯流量/mA | | | | | | B 乙炔流量/(L·min ⁻¹) | | | | | |
|----|----------|----|----|----|----|----|-------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|
| | K | Ca | Na | Mg | Fe | Mn | Cu | Zn | K | Ca | Na | Mg |
| 1 | 3 | 4 | 5 | 3 | 6 | 4 | 3 | 3 | 1.4 | 1.8 | 1.4 | 1.4 |
| 2 | 4 | 5 | 6 | 4 | 7 | 5 | 4 | 4 | 1.6 | 2.0 | 1.6 | 1.6 |
| 3 | 5 | 6 | 7 | 5 | 8 | 6 | 5 | 5 | 1.8 | 2.2 | 1.8 | 1.8 |

| 水平 | B 乙炔流量/(L·min ⁻¹) | | | | | | C 燃烧器高度/mm | | | | | |
|----|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Fe | Mn | Cu | Zn | K | Ca | Na | Mg | Fe | Mn | Cu | Zn |
| 1 | 1.8 | 1.6 | 1.6 | 1.8 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 |
| 2 | 2.0 | 1.8 | 1.8 | 2.0 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.6 |
| 3 | 2.2 | 2.0 | 2.0 | 2.2 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 |

表 2 8 种常量元素、微量元素火焰原子吸收光谱法的最佳工作条件

Table 2 Eight elements flame atomic absorption spectrometry instrument optimal working conditions

| 元素 | A 灯流量/ mA | B 乙炔流量/ (L·min ⁻¹) | C 燃烧器 高度/mm |
|----|--------------|-----------------------------------|----------------|
| K | 3 | 1.4 | 14 |
| Ca | 6 | 1.8 | 16 |
| Na | 5 | 1.4 | 18 |
| Mg | 3 | 1.6 | 14 |
| Fe | 8 | 1.8 | 18 |
| Mn | 4 | 2.0 | 16 |
| Cu | 3 | 1.8 | 16 |
| Zn | 3 | 2.2 | 14 |

由表 2 可知, 不同金属元素检测条件略有不同, 具体表现为 K、Na 元素所需乙炔流量较低, Ca、Fe、Cu 元素所需乙炔流量相同, Mn、Zn 元素所需乙炔流量较高; 当燃烧器高度相同时, K、Mg、Zn 3 种金属元素所需空心阴极灯流量相同。

对两种有毒元素进行单因素试验, 其因素水平表见表 3, 试验所得最佳石墨炉原子吸收光谱法工作条件见表 4。

由表 4 可知, 当灰化温度、灰化时间和原子化时间相同时, Cd 元素的原子化温度高于 Pb 的, 可能是 Cd 化学性质较 Pb 稳定, 其原子化所需温度更高。

2.2 标准曲线和检出限

由表 5 可知, 10 种金属元素在各自浓度范围内线性关系良好, 相关系数为 0.991 8~0.999 2, 均符合要求; 检

表 3 两种有毒元素的单因素水平表

Table 3 Factor level table for two toxic elements

| 水平 | 灰化温度/°C | | 灰化时间/s | | 原子化温度/°C | | 原子化时间/s | |
|----|---------|-----|--------|-------|----------|-------|---------|----|
| | Pb | Gd | Pb | Gd | Pb | Gd | Pb | Gd |
| 1 | 350 | 300 | 10/15 | 10/15 | 1 500 | 1 800 | 2 | 2 |
| 2 | 400 | 350 | 10/10 | 5/10 | 1 700 | 1 900 | 3 | 3 |
| 3 | 450 | 400 | 5/10 | 5/15 | 1 900 | 2 000 | 4 | 4 |
| 4 | 500 | 450 | 5/15 | 10/10 | 2 100 | 2 100 | 5 | 5 |
| 5 | 550 | 500 | 15/10 | 15/10 | 2 300 | 2 200 | 6 | 6 |

表 4 两种有毒元素石墨炉原子吸收光谱法的最佳工作条件

Table 4 The best working condition of two kinds of toxic elements for graphite furnace atomic absorption spectrometry

| 元素 | 灰化温度/°C | 灰化时间/s | 原子化温度/°C | 原子化时间/s |
|----|---------|--------|----------|---------|
| Pb | 350 | 10/15 | 1 500 | 2 |
| Cd | 350 | 10/15 | 1 800 | 2 |

表 5 各金属元素标准曲线及检出限

Table 5 Standard curve and detection limit of each metal element

| 元素 | 线性回归方程 | 相关系数 | 检出限/ ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) |
|----|----------------------|---------|--|
| K | $Y=0.492 6x+0.013 4$ | 0.996 9 | 0.015 0 |
| Ca | $Y=0.181 4x+0.015 3$ | 0.992 9 | 0.013 0 |
| Na | $Y=0.484 0x+0.012 0$ | 0.998 2 | 0.006 0 |
| Mg | $Y=0.053 7x+0.023 6$ | 0.996 1 | 0.004 0 |
| Fe | $Y=0.106 0x+0.007 5$ | 0.997 2 | 0.026 0 |
| Mn | $Y=0.281 1x+0.017 1$ | 0.999 0 | 0.007 0 |
| Cu | $Y=0.177 3x+0.009 4$ | 0.998 6 | 0.014 0 |
| Zn | $Y=0.600 9x+0.023 6$ | 0.999 2 | 0.007 0 |
| Pb | $Y=0.001 2x+0.064 3$ | 0.992 5 | 0.000 2 |
| Cd | $Y=0.002 7x+0.008 7$ | 0.991 8 | 0.050 0 |

检出限为 0.004 0~0.050 0 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 均低于 GB 5009.12—2017 和 GB 5009.15—2014 的要求, 说明试验建立的检出限符合要求。

2.3 精密度试验

由表 6 可知, 8 种常量元素、微量元素精密度的 0.38%~3.78%, 均 $<4\%$, 符合要求; 两种有毒元素精密度的 1.92%~9.09%, 符合要求。

2.4 样品前处理条件优化

由表 7 可知, 湿法处理的效果优于干法处理的, 可能

表 6 精密度试验结果

Table 6 The results of precision experiment ($n=10$)

| 元素 | 精密度 | 平均精密度 |
|----|------------------------------------|-------|
| K | 3.78, 3.39, 2.24, 2.38, 3.67, 3.38 | 3.14 |
| Ca | 1.22, 1.34, 1.14, 0.82, 0.38, 0.69 | 0.93 |
| Na | 1.89, 2.63, 2.79, 2.77, 2.20, 2.91 | 2.20 |
| Mg | 1.57, 1.34, 2.44, 1.81, 1.29, 2.09 | 2.06 |
| Fe | 1.79, 1.42, 0.65, 0.78, 1.14, 0.72 | 1.08 |
| Mn | 1.32, 0.75, 1.21, 0.50, 1.02, 0.50 | 0.88 |
| Cu | 1.09, 1.05, 2.12, 1.30, 0.71, 1.23 | 1.25 |
| Zn | 0.71, 2.15, 1.76, 1.38, 1.05, 1.45 | 1.42 |
| Pb | 5.56, 9.09, 1.92, 5.48, 3.00, 4.81 | 4.98 |
| Cd | 3.92, 5.17, 6.76, 6.41, 8.53, 8.28 | 6.52 |

表 7 各元素干、湿法比较

Table 7 The comparison results of dry ashing and wet digestion of each element mg/kg

| 元素 | 干法 | 湿法 |
|----|----------------------|----------------------|
| K | $2 121.50 \pm 61.11$ | $2 659.00 \pm 50.88$ |
| Ca | 19.85 ± 0.31 | 21.50 ± 0.60 |
| Na | 6.20 ± 0.41 | 7.03 ± 0.11 |
| Mg | 189.35 ± 14.87 | 191.25 ± 6.98 |
| Fe | 10.85 ± 0.20 | 11.33 ± 0.14 |
| Mn | 57.98 ± 0.42 | 71.15 ± 0.41 |
| Cu | 2.90 ± 0.01 | 2.82 ± 0.03 |
| Zn | 7.74 ± 0.04 | 8.07 ± 0.02 |
| Pb | 未检出 | 3.23 ± 0.35 |
| Cd | 0.41 ± 0.12 | 1.02 ± 0.45 |

是由于多数被检元素属于低温元素, 干法灰化时样品中元素含量损失较大, 因此选择湿法消化法对样品进行前处理。

由表 8 可知, 当混合酸为 $\text{HNO}_3-\text{HClO}_4$ 时, 采用湿法消解处理后的茶叶样品吸光度值高于 HNO_3-HCl 和 $\text{HNO}_3-\text{H}_2\text{SO}_4$ 的, 可能是 H_2SO_4 沸点较高, 消解时容易发生碳化, HCl 氧化性更弱, 消解不够彻底, 可能会影响消化效果^[15-16]。

2.5 加标回收试验

由表 9 可知, 江西名茶中 8 种常量元素、微量元素含量的加标回收率为 98.35%~102.50%, $RSD < 4\%$, 符合要求; Pb、Cd 两种有毒元素含量的加标回收率为 89.69%~100.75%, $RSD < 4\%$, 符合要求。

表 8 酸体系测定结果

Table 8 The measurement results of acid system

| 元素 | mg/kg | | |
|----|-----------------------|-------------------------------------|--|
| | HNO ₃ -HCl | HNO ₃ -HClO ₄ | HNO ₃ -H ₂ SO ₄ |
| K | 1 809.00±59.35 | 2 659.00±50.87 | 1 858.00±62.11 |
| Ca | 18.20±0.83 | 21.50±0.60 | 18.09±1.10 |
| Na | 2.47±0.83 | 7.03±0.11 | 4.34±0.20 |
| Mg | 200.95±16.88 | 191.25±6.98 | 190.25±17.18 |
| Fe | 11.34±0.13 | 10.94±0.18 | 8.59±0.21 |
| Mn | 69.34±0.31 | 71.15±0.41 | 70.05±0.15 |
| Cu | 2.84±0.02 | 2.82±0.03 | 2.84±0.04 |
| Zn | 6.74±0.08 | 8.07±0.02 | 6.68±0.02 |
| Pb | 2.15±0.03 | 3.02±0.35 | 2.08±0.04 |
| Cd | 0.05±0.08 | 1.02±0.45 | 0.08±0.06 |

2.6 8 种茶中 10 种金属元素含量测定及比较

由表 10 可知,茶叶中各金属元素含量差异较大,但不同品种茶叶间具有一致性规律,其排序基本为 K>Mg>Mn>Ca>Fe>Na>Zn>Cu>Pb>Cd,其中 Pb、Cd

含量远低于 GB 2762—2017 中的。

由有益常量元素、微量元素可知,浮瑶仙芝中 K、Mn 元素含量较少,遂川狗牯脑中 Ca、Fe、Zn 元素含量最为丰富;靖安白茶中 Mg 元素最为丰富,庐山云雾中 Na 元素最为丰富,武夷红茶中 Cu 元素最为丰富,其余品种茶中 Mg、Na、Cu 元素含量相对较少。此外,8 种茶叶中 Zn 元素含量无明显差异,其他元素因茶叶品种不同差异显著。综上,8 种江西名茶中常量元素和微量元素含量较高,对人体有较好的保健功能;两种有毒元素含量均低于国家标准,可放心饮用,说明江西气候温暖,环境优美、污染少,适宜茶叶的种植。

3 结论

通过正交试验设计对 K、Ca、Na、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn 8 种必需元素火焰原子吸收法的最佳工作条件进行了优化,通过单因素试验设计对铅、镉两种有毒元素石墨炉原子吸收光谱法的最佳工作条件进行了优化。结果表明,试验建立的各元素标准曲线线性关系良好,相关系数为 0.991 8~0.999 2,精密度为 0.77%~3.32%,检出限为 0.004 0~0.050 0 μg/mL,样品加标回收率为 99.25%~

表 9 加标回收试验结果

Table 9 The results of spiked recovery experiment

| 元素 | 加入量/ (μg·g ⁻¹) | 样品含量/ (μg·g ⁻¹) | 总测定值/ (μg·g ⁻¹) | 平均回 收率/% | RSD/ % |
|----|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|-----------|
| K | 320.00 | 2 071.00 | 2 235.11 | 101.15 | 3.32 |
| | 360.00 | 2 121.50 | 2 484.95 | | |
| Ca | 2.00 | 17.00 | 19.68 | 102.50 | 0.81 |
| | 4.00 | 17.00 | 20.64 | | |
| Na | 2.00 | 8.00 | 10.21 | 100.35 | 2.43 |
| | 4.00 | 8.00 | 12.32 | | |
| Mg | 20.00 | 152.00 | 172.66 | 99.25 | 1.66 |
| | 40.00 | 152.50 | 192.55 | | |
| Fe | 2.00 | 15.50 | 17.50 | 98.35 | 1.12 |
| | 4.00 | 16.00 | 19.87 | | |
| | 6.00 | 12.25 | 18.15 | | |
| Mn | 5.00 | 66.15 | 71.09 | 100.80 | 0.77 |
| | 10.00 | 66.15 | 75.95 | | |
| | 15.00 | 66.15 | 81.27 | | |
| Cu | 1.00 | 2.52 | 3.49 | 99.75 | 1.17 |
| | 2.00 | 2.52 | 4.57 | | |
| | 3.00 | 2.51 | 5.50 | | |
| Zn | 1.00 | 7.16 | 8.17 | 101.00 | 2.19 |
| | 2.00 | 8.32 | 10.34 | | |
| | 3.00 | 7.16 | 10.19 | | |
| Pb | 10.00 | 1.44 | 11.73 | 89.69 | 3.19 |
| | 20.00 | 1.44 | 15.29 | | |
| Cd | 1.00 | 0.09 | 1.30 | 100.75 | 3.47 |
| | 2.00 | 0.09 | 1.70 | | |

表 10 8 种茶中 10 种金属元素含量

| Table 10 The determination results of elements in eight famous teas in Jiangxi mg/kg | | | | | |
|--|---------------|------------|------------|-------------|------------|
| 品种 | K | Ca | Na | Mg | Fe |
| 靖安白茶 | 2 111.3±50.87 | 16.54±0.60 | 6.61±0.11 | 155.14±6.98 | 15.56±0.14 |
| 武夷红茶 | 1426.1±46.75 | 27.56±0.81 | 8.68±0.13 | 95.82±7.32 | 19.80±0.19 |
| 修水宁红 | 873.07±42.66 | 40.24±0.39 | 8.27±0.12 | 115.28±5.51 | 18.86±0.16 |
| 井冈翠绿 | 1 005.0±35.13 | 17.09±0.25 | 7.03±0.09 | 116.23±6.65 | 9.90±0.12 |
| 浮瑶仙芝 | 264.80±27.31 | 28.11±0.77 | 4.55±0.11 | 97.25±7.32 | 14.14±0.15 |
| 庐山云雾 | 1 360.2±42.65 | 29.76±0.95 | 12.81±0.22 | 120.50±8.81 | 16.03±0.16 |
| 婺源毛尖 | 497.51±32.67 | 27.01±0.24 | 4.19±0.06 | 112.43±6.75 | 16.97±0.20 |
| 遂川狗牯脑 | 2 222.0±54.76 | 45.75±1.32 | 7.85±0.08 | 119.08±5.67 | 22.16±0.18 |
| 品种 | Mn | Cu | Zn | Pb | Cd |
| 靖安白茶 | 65.80±0.41 | 2.59±0.03 | 7.77±0.02 | 1.75±0.18 | 0.35±0.24 |
| 武夷红茶 | 91.41±0.41 | 4.90±0.04 | 7.32±0.02 | 1.44±0.09 | 0.28±0.24 |
| 修水宁红 | 82.52±0.43 | 4.17±0.03 | 6.61±0.03 | 1.56±0.80 | 0.47±0.14 |
| 井冈翠绿 | 106.71±0.39 | 2.36±0.03 | 7.36±0.02 | 1.25±0.88 | 0.25±0.06 |
| 浮瑶仙芝 | 48.37±0.42 | 3.07±0.03 | 7.57±0.02 | 1.44±0.09 | 0.97±0.30 |
| 庐山云雾 | 77.90±0.40 | 2.67±0.02 | 6.82±0.02 | 1.75±0.53 | 0.13±0.09 |
| 婺源毛尖 | 76.47±0.41 | 3.89±0.03 | 7.36±0.03 | 1.63±0.71 | 0.17±0.04 |
| 遂川狗牯脑 | 104.22±0.40 | 3.43±0.03 | 7.36±0.02 | 2.06±0.27 | 0.23±0.03 |

102.25%,说明试验建立的火焰原子吸收法和石墨炉原子吸收光谱法均符合要求,具有选择性好、灵敏度高、仪器设备要求低、可同时测定的优点,适用于各种茶叶金属元素的测定。对江西名茶中 10 种金属元素含量的测定结果表明,K、Ca、Na、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn 8 种必需元素在江西名茶中含量丰富,Pb、Cd 两种有毒元素含量低于国家标准,说明江西气候温和、污染少,适宜茶叶的种植生产。后续研究可采用改变样品前处理方式(如微波消解法)和增加样品测定次数及采用自动进样方式等加以改进,进一步减少试验误差,提高检测的准确度。

参考文献

[1] 李丹,曹永,王华,等.茶叶提取物体外抗氧化活性与其功能成分含量的相关性研究[J].食品与机械,2018,34(6):163-168.

[2] 王学渊,刘静宜,洪艳平,等.不同类型江西名茶儿茶素含量及体外抗氧化能力比较[J].食品与机械,2019,35(6):152-158.

[3] 王峰,单睿阳,陈玉真,等.闽中某矿区县茶园土壤和茶叶重金属含量及健康风险[J].中国环境科学,2018,38(3):1 064-1 072.

[4] 韩巧红,杨勇,黄霞,等.老鹰茶对重金属元素的迁移与富集特征[J].核农学报,2016,30(11):2 224-2 231.

[5] TAHIR R, MUHAMMAD B, FARAN N, et al. Fluorescent sensor based models for the detection of environmentally-related toxic heavy metals[J]. Science of the Total Environment, 2018,

615: 476-485.

[6] 吴昌华,瞿华香.江西茶产业发展存在的问题及对策[J].农村经济与科技,2017,28(23):152-153.

[7] 李妍月.欧盟绿色贸易壁垒对中国茶叶出口的影响研究[D].大连:东北财经大学,2016:8-11.

[8] 李道和,池泽新,张海涛.江西省茶叶产业竞争力实证分析[J].江西农业大学学报(社会科学版),2008,7(3):76-79.

[9] 孙永明,叶川,张昆,等.江西省茶叶产业发展分析报告[J].江西农业学报,2016,28(8):110-114.

[10] TINAS H, NIL Ö, AKMAN S. Determination of lead in flour samples directly by solid sampling high resolution continuum source graphite furnace atomic absorption spectrometry[J]. Spectrochimica Acta Part B Atomic Spectroscopy, 2017, 140: 73-75.

[11] 李刚凤,熊冬华,杨天友,等.梵净山绿茶中 10 种有害元素含量测定分析[J].食品研究与开发,2017,38(1):126-129.

[12] 杜鉴,薛毅.食品添加剂中重金属元素前处理与检测方法研究进展[J].食品工业科技,2015,36(4):397-399.

[13] 陈阳,龙丽娟,李翠君.蕨麻中微量元素测定方法的研究[J].食品研究与开发,2016,37(18):142-145.

[14] 咎川南.食用明胶中微量铬含量测定的方法研究[J].食品研究与开发,2019,40(5):197-202.

[15] 陆美斌,王步军.不同消解方式测定谷物中八种矿质元素[J].食品工业,2017,38(9):269-271.

[16] 陶泽红,张明洲,郝培应.茶叶中镉、铅、砷的浸出规律及快速测算方法研究[J].现代食品科技,2019,35(2):259-263,133.