

柯法钧,王丹,洪艳平,等.江西名茶中Cr、Ni和Co 3种重金属元素含量的比较分析[J].江西农业大学学报, 2020,42(4):674-683.



江西名茶中Cr、Ni和Co 3种重金属元素含量的比较分析

柯法钧,王 丹,洪艳平,陈薪竹,王玉波,杨武英*

(江西农业大学 南昌市农产品加工与质量控制重点实验室/食品科学与工程学院,江西 南昌 330045)

摘要:【目的】建立Cr、Ni和Co 3种重金属元素含量测定的石墨炉原子吸收光谱法,并利用建立的方法测定8种江西名茶中相应的3种重金属元素的含量,同时进行比较分析。【方法】首先通过正交试验设计优选各元素测定的仪器最佳工作条件,在最佳仪器工作条件下建立各元素的标准曲线,同时考察建立方法的检出限、精密度;然后优化前处理条件,在优选的前处理条件下,测定样品加标回收率,考察建立方法的准确度;最后利用建立的方法测定8种江西名茶中3种元素的含量并对其进行比较分析。【结果】建立的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0.994 6~0.999 3,精密度RSD值为3.93%~8.06%,检出限为0.88~5.625 $\mu\text{g/mL}$,回收率为70.02%~93.50%,均符合要求。3种元素测定结果表明各元素在8种茶叶中的含量存在一定的差异显著性,各元素含量在不同茶叶中的由大到小排序基本为Ni、Cr和Co,Ni元素含量最高的是婺源毛尖;Cr元素含量最高的是庐山云雾;Co元素含量最高的是井冈翠绿。【结论】建立的茶叶中3种重金属元素含量的石墨炉原子吸收光谱法操作简便,干扰较少,灵敏度高,对其他各种茶叶中相应元素含量的测定均适用,测得的8种江西名茶中Cr、Ni和Co 3种重金属元素含量均较低,符合食用要求。

关键词:江西名茶;重金属元素含量测定;石墨炉原子吸收法;比较分析

中图分类号:S571.1 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2020)04-0674-10

Comparative Analysis of the Contents of Three Heavy Metal Elements Cr, Ni, Co in Jiangxi Famous Teas

KE Fa-jun, WANG Dan, HONG Yan-ping, CHEN Xin-zhu,
WANG Yu-bo, YANG Wu-ying*

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

Abstract: [Objective] A graphite furnace atomic absorption spectrometry was established to determine the contents of three heavy elements in eight Jiangxi famous teas for comparison and analysis. [Method] Firstly, the optimal working conditions for the instruments determining each element were optimized by orthogonal test design, and the standard curve of each element was established under the optimal instrument working conditions. At the same time, the detection limit and precision of the established method were examined. Then the pre-

收稿日期:2020-03-09 修回日期:2020-05-18

基金项目:国家自然科学基金地区基金项目(31660486)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(31660486)

作者简介:柯法钧, orcid.org/0000-0002-9435-092X, 2896045940@qq.com; *通信作者:杨武英,教授,博士,主要从事食品加工与安全研究, orcid.org/0000-0002-7019-7692, yangwuyi2003@163.com。

treatment conditions were optimized. Under the optimal pre-treatment conditions, the spiked recovery of the sample was determined and the accuracy of the established method was examined. Finally, the established method was used to determine the contents of the three elements in eight Jiangxi famous teas, which were compared and analyzed. **[Result]** The results show that the established atomic absorption spectrometry had a good linear relationship in the corresponding concentration range. The correlation coefficient was 0.994 6–0.999 3, the precision *RSD* value was 3.93%–8.06%, the detection limit was 0.88–5.625 $\mu\text{g/mL}$, and the recovery rate was 70.02%–93.50%, which all met the requirements. The determination results of the three elements showed that the contents of each element in the eight kinds of tea were significantly different. The order of each element content in different teas was basically $\text{Ni} > \text{Cr} > \text{Co}$, the highest Ni content was in Wuyuan Maojian; the highest Cr content was in Lushan Yunwu; the highest Co content was in Jinggang Cuilu. **[Conclusion]** The graphite furnace atomic absorption spectrometry with the contents of three heavy elements in tea set up in this paper is simple and easy to operate with less interference but high sensitivity. It is applicable to the determination of corresponding elements in various other teas. The contents of Cr, Ni, and Co in the eight Jiangxi famous teas are all relatively low, which meets the requirements for consumption.

Keywords: Jiangxi famous tea; determination of heavy metal element content; graphite furnace atomic absorption method; comparative analysis

【研究意义】茶叶中富含儿茶素、咖啡碱、茶多酚、胆甾烯酮、肌醇、叶酸等活性成分以及人体所需的钾、钙、镁、钠、铜、铁、碘、锰、锌等多种有益矿物质元素,具有抗氧化、防衰老、抗辐射、提高免疫力、减肥、抗过敏、降血糖、降血脂等多种功效,备受人们欢迎^[1-5]。但茶树在生长过程中容易吸附土壤中重金属等有毒有害的物质。通过食物链进入人体后会作用于全身各系统和器官导致一系列疾病的发生^[6-9]。铬元素在三价时是人体必需的微量元素,参与体内脂肪和糖的代谢,与镁一起协同糖类的转化,促进生长发育,有利于抗衰老,但铬摄入过量会产生毒害,尤其是六价铬,其毒性比三价铬大100倍,且人体对三价铬的吸收较弱,六价铬比三价铬更易吸收,长期过量接触铬对人体的肝脏、肾脏及鼻腔均有一定影响,可能诱发鼻咽癌或肺癌^[10-11]。镍元素是人体必需的微量元素,参与人体酶的代谢和组成,可以促进胰腺发育,促进红细胞的再生,可以用于治疗贫血和肝硬化,但是镍也是重金属,摄入过量会导致细胞癌变^[12]。钴是人体必需的微量元素,广泛分布于全身,钴元素是唯一一种在一定形式下才具有活性的微量元素,即形成氰钴氨(维生素 B_{12})才能起作用,钴对机体的生长、发育、碳水化合物和蛋白质的代谢都有重要的作用。摄入过多的钴对人体也有害,可引起红细胞增多症(红细胞生成过多或破坏减少),并且含有高浓度的血红蛋白还会引起胃肠功能紊乱、耳聋、甲状腺增生、碘吸收减少、心肌缺血,严重的甚至引起心肌炎^[13-14]。江西地处长江中游,风景秀丽、气候温和、土壤肥沃、雨量充沛,是茶树优越的环境生长地,有着悠久的种茶产茶历史,是全国茶叶种植、生产销售的重要基地,种植的茶叶品质甚优,口感细腻。其中遂川狗牯脑、靖安白茶、修水宁红、武夷红茶、浮瑶仙芝、婺源毛尖、庐山云雾、井冈翠绿等均是江西代表性优质茶,曾先后被评为江西名茶。近年来随着大气污染和土壤污染现象日益严重,导致我国茶叶中存在的重金属等有害物质含量有逐年增加的趋势,茶叶质量安全性降低,严重影响了我国茶叶的进出口贸易^[15-19]。**【前人研究进展】**目前对江西名茶的种质资源、种植条件、茶叶加工等方面已经有所研究和探讨,但对江西名茶中有害重金属元素含量系统性的测定尚未见报道^[20-21]。因此测定江西茶叶中各重金属元素的含量对于研究江西茶业的种植和加工具有重要意义。**【本研究切入点】**本研究通过正交试验法优化Ni、Co和Cr元素石墨炉原子吸收光谱法工作条件,在最佳仪器工作条件下绘制元素的标准曲线,考察所建立方法的检出限、精密度,然后优化前处理条件,在优选的前处理条件下,测定样品加标回收率,考察建立方法的准确度,最后利用建立的方法测定8种江西名茶中3种重金属元素的含量并进行比较分析。**【拟解决的关键问题】**本研究为促进江西省茶产业健康和可持续性发展具有现实指导意义,同时也可为人们日常饮茶选择提供科学依据。

1 材料与方法

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、修水宁红和遂川狗牯脑样品均购于江西省南昌市鹿鼎国际茶叶城。

各元素标准储备液购于国家化学试剂质检中心。所用试验试剂均为国产分析纯。所用玻璃仪器以及瓷坩埚均用 10% 硝酸浸泡过夜,先用蒸馏水冲洗多次,再用超纯水冲洗,烘干后备用。WND-200 型粉碎机(浙江省兰溪市佛能达电器有限公司);SX2-6-13 型马弗炉(上海嘉展仪器设备有限公司);101-4-BS 型电热恒温鼓风干燥箱(上海跃进医疗器械);A3 系列原子吸收分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司);LTL-MF4 型元素空心阴极灯(北京瑞利普光电器件厂)。

1.2 各元素仪器最佳工作条件的优选

石墨炉原子吸收法具有进样量较少、检出限较低、灵敏度较高、操作较简便、结果较稳定、准确度良好等优点,影响石墨炉原子吸收主要因素^[22-23]是石墨炉的升温程序,升温程序包括 4 个阶段:干燥、灰化、原子化和去残,其中灰化和原子化的时间和温度的选择对实验结果影响较大^[24]。取各元素一定浓度的标准溶液,3 种矿物质元素均采用三水平四因素正交试验设计方法确定 Ni、Co 和 Cr 元素石墨炉原子吸收法最佳仪器工作条件,各元素石墨炉法正交试验因素水平见表 1。

表 1 石墨炉原子吸收法正交试验因素水平表

Tab.1 Factor level of orthogonal experiment about graphite furnace atomic absorption spectrometry method

元素 Element	水平 Level	因素 Factor			
		A 灰化温度/℃ Ashing temperature	B 灰化时间/s Ashing time	C 原子化温度/℃ Atomization temperature	D 原子化时间/s Atomization time
Cr	1	700	13	1 900	2
	2	800	15	2 100	3
	3	900	17	2 300	4
Ni	1	700	8	1 800	2
	2	800	10	2 000	3
	3	900	12	2 200	4
Co	1	350	10	1 900	3
	2	400	15	2 000	4
	3	450	10	2 100	5

1.3 标准曲线的建立和检出限的测定

取一定体积的各元素标准贮备液(1 mg/mL)于 50 mL 容量瓶中,用 5% 的硝酸溶液稀释定容成不同浓度梯度的标准工作溶液,于 1.2 确定的最佳仪器工作条件下测定吸光值,并绘制标准工作曲线,同时得到线性回归方程及相关系数 R^2 。并分别对空白溶液测定 10 次,得到各元素对应的检出限。检出限计算公式如下:

$$\text{检出限}(DL)=3S/K \quad (1)$$

式(1)中:DL 表示检出限,S 为示标准偏差,K 为标准曲线斜率。

1.4 精密度试验

分别取 6 个不同浓度梯度的各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,对得到的数据进行批次内差异分析,考察方法的精密度。

1.5 样品前处理方法的优选

选取 8 种茶叶中的一种(遂川狗牯脑)用湿法消解、干法灰化和微波消解 3 种方法分别进行前处理,于 1.2 优选出的仪器最佳工作条件下测定各元素含量,并比较 3 种前处理方法的测定结果,优选出其中较好的前处理方法。

1.5.1 湿法消解法 准确称取选定的样品茶叶1.000 g 2份,分别置于凯氏烧瓶中,再加15 mL混合酸($\text{HNO}_3\text{--HClO}_4$ 4:1)消解液,保鲜膜封口,浸泡过夜,次日在电炉上加热消解,消解至白烟出现,随后减少,待消解液呈无色透明或略显黄色即可。冷却后用少量去离子水多次洗涤,转移至50 mL容量瓶中,定容,同时做试剂空白对照。

1.5.2 干法灰化法 准确称取选定的样品茶叶1.000 g 2份,分别置于瓷坩埚中。先在电炉上用小火炭化至无烟,再放入马弗炉中逐级升温至550 ℃,高温灰化4~5 h,冷却后取出。若灰化不彻底,加几滴硝酸润湿,再置于电炉上小火蒸干后放入马弗炉中再次灰化。然后取出试样,加入0.5 mol/L硝酸溶液10 mL,使其溶解,再用0.5 mol/L硝酸溶液少量多次洗涤坩埚,小心转移至50 mL容量瓶中,定容,摇匀,同时做空白对照。

1.5.3 微波消解法 准确称取选定的样品茶叶1.000 g 2份,分别置于25 mL聚四氟乙烯微波消解罐中,先加入混合酸($\text{HNO}_3\text{--HClO}_4$ 4:1)消解液15 mL,严格按照微波消解的运行步骤消解试样(中火,4 min)。冷却后取出,在电热板上于140~160 ℃赶酸至2.5~5.0 mL。待消解罐冷却后,将消化液转移至50 mL容量瓶中,用水少量多次洗涤消解罐,合并洗涤液,定容,同时做空白试验。

1.6 加标回收实验

准确称取1.000 g同种干燥茶叶样品(遂川狗牯脑)6份,其中2份为对照,剩余4份分成2组,每组加入不同水平的标准品,每个水平2个平行样,采用1.5优选出的最佳前处理方法处理样品,然后转移定容于50 mL容量瓶中,再采用1.2优选出的石墨炉原子吸收光谱法的仪器最佳工作条件测定6份茶叶样品中各元素的含量。加标回收率计算公式如下:

$$\text{加标回收率} = (\text{加标试样测定值} - \text{试样测定值}) \div \text{加标量} \times 100\% \quad (2)$$

1.7 8种江西名茶中3种矿物质元素含量的测定和比较分析

准确称取浮瑶仙芝、庐山云雾、武夷红茶、遂川狗牯脑、井冈山翠绿、修水宁红、靖安白茶和婺源毛尖8种江西名茶的干燥样品各1.000 g,采用1.5优选出的最佳前处理方法处理样品,然后转移定容至50 mL容量瓶中,再采用1.2优选出的石墨炉原子吸收光谱法的仪器最佳工作条件测定8种茶叶样品中Ni、Co和Cr 3种矿物质元素的含量(测量Cr时加入基体改进剂^[25])。同法做平行实验(次数=3)和试剂空白对照实验。8种江西名茶中各元素含量的计算公式如下:

$$X = (C_1 - C_0) \times V / (m \times 1\,000) \quad (3)$$

式(3)中: X 为试样中各元素含量,单位为(mg/kg或mg/L); C_1 为试样消化液中各元素含量,单位为ng/mL; C_0 为空白液中各元素含量,单位为ng/mL; V 为试样消化液定容总体积,单位为mL; m 为试样质量或体积,单位为g或mL;1 000为换算系数。

1.8 数据处理

所有实验数据用DPS统计软件与Excel软件进行分析处理,试验结果用 $\bar{x} \pm s$ (均值±标准误差)表示。

2 结果与分析

2.1 3种重金属元素最佳仪器工作条件优选

Cr、Ni和Co 3种矿物质元素石墨炉原子吸收光谱法最佳工作条件优选结果见表2、3和4。由表2、3和4可知Cr元素的石墨炉原子吸收法的仪器最佳工作条件为灰化温度700 ℃,灰化时间13 s,原子化温度2 300 ℃,原子化时间3 s;Ni元素的石墨炉原子吸收光谱法的仪器最佳工作条件为灰化温度900 ℃,灰化时间8 s,原子化温度2 200 ℃,原子化时间为3 s;Co元素的石墨炉原子吸收法的仪器最佳工作条件为灰化温度900 ℃,灰化时间12 s原子化温度2 000 ℃,原子化时间4 s。由表2、3和4可知仪器工作条件中对Cr元素测定结果影响最大的是原子化温度,其次是原子化时间,然后是灰化温度,最后是灰化时间;对Ni元素测定结果影响最大的是原子化温度,其次是灰化温度,然后是原子化时间,最后是灰化时间;对Co元素测定结果影响最大的是原子化时间,其次是灰化温度,然后是灰化时间,最后是原子化温度。

表 2 Cr 元素正交试验极差分析结果
Tab.2 The range analysis results of orthogonal experiment for Cr element

实验号 Experiment number	A 灰化温度/℃ Ashing temperature	B 灰化时间/s Ashing time	C 原子化温度/℃ Atomization temperature	D 原子化时间/s Atomization time	吸光度值 Absorbance values	
1	1	1	1	1	0.093	0.089
2	1	2	2	2	0.168	0.172
3	1	3	3	3	0.170	0.176
4	2	1	2	3	0.149	0.145
5	2	2	3	1	0.098	0.108
6	2	3	1	2	0.095	0.093
7	3	1	3	2	0.169	0.173
8	3	2	1	3	0.093	0.083
9	3	3	2	1	0.107	0.107
K ₁	0.145	0.136	0.091	0.101		
K ₂	0.115	0.121	0.141	0.145		
K ₃	0.122	0.125	0.149	0.136		
R	0.030	0.016	0.058	0.045		

K₁、K₂、K₃ 表示因素的每个水平的平均吸光度值,极差 R=MAX {同因素的 K₁、K₂、K₃} -MIN {同因素的 K₁、K₂、K₃}
K₁, K₂, and K₃ represent the average absorbance value of each level of the factor, and the range R=MAX {K₁, K₂, K₃ of the same factor} -MIN {K₁, K₂, K₃ of the same factor}

表 3 Ni 元素正交试验极差分析结果
Tab.3 Range analysis results of Ni element orthogonal test

实验号 Experiment number	A 灰化温度/℃ Ashing temperature	B 灰化时间/s Ashing time	C 原子化温度/℃ Atomization temperature	D 原子化时间/s Atomization time	吸光度值 Absorbance values	
1	1	1	1	1	0.037	0.036
2	1	2	2	2	0.065	0.067
3	1	3	3	3	0.068	0.068
4	2	1	2	3	0.072	0.074
5	2	2	3	1	0.067	0.067
6	2	3	1	2	0.049	0.049
7	3	1	3	2	0.085	0.082
8	3	2	1	3	0.056	0.054
9	3	3	2	1	0.065	0.064
K ₁	0.341	0.386	0.281	0.331		
K ₂	0.378	0.376	0.407	0.397		
K ₃	0.406	0.363	0.437	0.392		
R	0.011	0.003	0.026	0.010		

K₁、K₂、K₃表示因素的每个水平的吸光度值之和,极差 R=同因素的均值 1、均值 2、均值 3 中最大值减去最小值
K₁, K₂, and K₃ represent the sum of the absorbance values at each level of the factor, range R=the maximum value of the same factor, mean value 2, mean value 3 minus the minimum value

表 4 Co 元素正交试验极差分析结果
Tab.4 The range analysis results of orthogonal experiment for Co element

实验号 Experiment number	A	B	C	D	吸光度值 Absorbance values	
	灰化温度/℃ Ashing temperature	灰化时间/s Ashing time	原子化温度/℃ Atomization temperature	原子化时间/s Atomization time		
1	1	1	1	1	0.462	0.460
2	1	2	2	2	0.735	0.733
3	1	3	3	3	0.872	0.872
4	2	1	2	3	0.885	0.885
5	2	2	3	1	0.499	0.500
6	2	3	1	2	0.769	0.760
7	3	1	3	2	0.776	0.775
8	3	2	1	3	0.913	0.914
9	3	3	2	1	0.580	0.578
K ₁	2.069	2.123	2.144	1.541		
K ₂	2.153	2.147	2.2	2.28		
K ₃	2.269	2.221	2.147	2.67		
R	0.066 7	0.032 7	0.018 7	0.376 3		

K₁、K₂、K₃ 表示因素的每个水平的吸光度值之和,极差 R=同因素的 K₁、K₂、K₃ 中最大数-最小数

K₁, K₂, and K₃ represent the sum of the absorbance values at each level of the factor, range R=maximum number-minimum number of K₁, K₂, K₃ of the same factor

2.2 标准曲线和检出限

在实验选定的最佳仪器工作条件下,将 Cr、Ni 和 Co 3 种矿物质元素的不同浓度的标准溶液用石墨炉原子吸收法测定其吸光度,利用测得的吸光度绘制各元素的标准曲线。为了检验方法的可行性,连续 10 次测定各元素和空白溶液的吸光值,得到各元素对应的检出限。各元素标准曲线的线性回归方程、相关系数和检测限结果如表 5 所示。由表 5 可知各元素在各自浓度范围内线性关系良好,相关系数为 0.994 6~0.999 3,均符合要求;3 种矿物质元素的检出限为 0.88~5.625 ng/mL,其中 Cr 的检出限为 5.625 ng/mL,比 GB 5009.123—2014 各类食品中 Cr 的石墨炉法测定检出限(0.01 mg/kg)还低;石墨炉法 Ni 的检出限为 3.38 ng/mL,比 GB 5009.138—2017 茶叶中 Ni 的石墨炉法测定检出限(0.02 mg/L)还低;石墨炉法 Co 的检出限为 0.88 ng/mL,比 HJ 985—2018 水质中 Co 的石墨炉法测定检出限(2 μg/L)还低,说明本研究建立的检出限均符合要求^[26-28]。

表 5 各金属元素标准曲线及检出限
Tab.5 Standard curve and detection limit of each metal element

元素 Element	标准曲线浓度 Standard curve concentration	线性回归方程 Linear regression equation	相关系数 Correlation coefficient	检出限 The detection limit
Cr	0, 5, 10, 20, 30, 50	y=0.001 6x+0.049 6	0.994 6	5.625
Ni	0, 10, 25, 50, 75, 100	y=0.000 7x+0.003 2	0.998 8	3.38
Co	0, 5, 10, 25, 50, 100	y=0.001 8x+0.003 2	0.999 3	0.88

2.3 精密度实验结果

各元素精密度实验结果如表 6 所示,由表 6 数据可知,3 种矿物质元素精密度实验的 RSD 在 3.93%~8.06%,均符合要求。

2.4 样品前处理条件的优化

干法灰化、湿法消解和微波消解法的比较结果如表 7 所示,由表 7 可知,采用微波消解法对茶叶样品

进行前处理的空白值较低,检测结果更佳,且更易于操作,短时间内能达到很好的消化效果,大大提高了工作效率,故选择微波消解法进行前处理来做后续的加标回收试验和茶叶样品中 Cr、Ni 和 Co 3 种矿物质元素含量的测定。

表 6 精密度实验结果($n=10$)
Tab.6 The results of precision experiment

元素 Element	浓度/($\text{ng}\cdot\text{mL}^{-1}$) Concentration	<i>RSD</i>	平均 <i>RSD</i> / % Mean <i>RSD</i>
Cr	0, 5, 10, 20, 30, 50	5.81, 2.55, 6.14, 2.80, 2.29, 3.98	3.93
Ni	0, 10, 25, 50, 75, 100	未检出, 11.29, 8.47, 8.52, 6.45, 5.55	8.06
Co	0, 5, 10, 25, 50, 100	未检出, 14.17, 5.61, 6.06, 6.73, 4.12	7.34

表 7 前处理方法测定结果($n=3$)
Tab.7 The determination results of pretreatment methods

元素 Element	方法 Method			mg/kg
	干法 Dry method	湿法 Wet method	微波法 Microwave method	
Cr	0.665±0.195	0.953±0.080	1.496±0.082	
Ni	3.204±0.141	5.998±0.990	8.609±0.156	
Co	0.203±0.020	0.000±0.000	0.731±0.059	

2.5 加标回收实验结果

加标回收实验结果如表 8 所示,由表 8 可知,采用本研究建立的石墨炉原子吸收法测定 Cr、Ni 和 Co 3 种矿物质元素含量,得到的加标回收率为 70.02%~93.50%,*RSD* 都小于 7%,均符合要求。

表 8 加标回收试验结果($n=3$)
Tab.8 The results of spiked recovery experiment

元素 Element	加入量/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) Adding amount	样品含量/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) Sample content	总测定值/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) Total measured value	平均回收率/% Average recovery rate	<i>RSD</i> / %
Cr	5	1.757±0.107	5.976±0.284	84.14±5.67	6.74
	6	1.757±0.107	6.851±0.075	93.50±1.49	1.59
Ni	6	8.057±0.145	13.030±0.028	80.39±0.28	0.35
	7	8.057±0.145	13.705±0.021	78.83±0.16	0.21
Co	5	0.536±0.020	4.244±0.040	72.41±0.76	1.05
	6	0.536±0.020	4.799±0.040	70.02±0.05	0.07

2.6 样品中各元素含量的测定结果及比较分析

8 种江西名茶中 3 种重金属元素含量结果如表 9 所示,由表 9 可知,不同品种茶叶中各元素含量略有差异,具体表现为 Cr 含量最高的是庐山云雾为 1.621 mg/kg,最低的是修水宁红为 1.015 mg/kg; Ni 含量最高的是井冈翠绿为 10.697 mg/kg 左右,最低的是武夷红茶为 3.917 mg/kg; Co 含量最高的是井冈翠绿为 1.133 mg/kg,最低的是靖安白茶为 0.524 mg/kg。农业部颁布的茶叶中 Cr 限量标准为 5 mg/kg,本实验测得的 8 种江西名茶中 Cr 含量都低于该限量标准,符合食用要求^[29]。由于我国对于茶叶卫生标准的制定还不够完善,目前尚无 Ni 和 Co 的限量标准可供引用。

在 8 种江西名茶中, Cr 含量由大到小依次为庐山云雾、靖安白茶、遂川狗牯脑、井岗翠绿、浮瑶仙芝、武夷贡茶、婺源毛尖和修水宁红; Ni 元素含量由大到小依次为: 井冈翠绿、婺源毛尖、浮瑶芝茶、遂川狗牯脑、修水宁红、靖安白茶、庐山云雾和武夷红茶; Co 元素含量由大到小依次为井岗翠绿、婺源毛尖、浮瑶仙芝、修水宁红、遂川狗牯脑、武夷红茶、庐山云雾和靖安白茶。8 种江西名茶中各元素含量有一定的差异,究其原因,可能与茶叶品种、产地、种植条件、加工方式等因素有关。此外,不同元素在不同品种茶叶中

含量有较大差异,有的差异不明显。如Cr元素除在婺源毛尖、武夷贡茶、浮瑶仙芝中含量有显著性外,其余品种中均不显著;Ni元素在不同品种间均不显著;Co元素除在婺源毛尖、庐山云雾、靖安白茶中含量有显著性外,其余品种中均不显著。

综上所述,不同品种江西名茶中所含重金属元素含量各不相同,人们应尽量避免长期饮用同一种茶叶,以免引起某种重金属元素含量的逐渐累积,超出规定的限量时,会对人体健康造成一定的影响。同时,泡茶用的茶叶量不宜过多,泡茶时间不宜过长,少饮浓茶,适当洗茶的习惯可在一定程度上降低茶叶浸出液中元素含量。总体来看8种江西名茶中3种重金属元素含量均较低,可放心饮用。本研究对8种江西名茶中3种重金属元素含量的测定研究结果,对江西省茶叶质量控制及茶饮品的合理开发具有重要意义,同时也为人们健康安全饮茶提供了有益参考。

表9 8种江西名茶中3种矿物质元素含量检测结果($n=3$)

Tab.9 The test results of there mineral elements in eight kinds of Jiangxi famous tea				mg/kg
样品名称 Sample name	元素含量 Element content			
	Cr	Ni	Co	
婺源毛尖 Wuyuan Maojian	1.108±0.065 ^a	10.697±0.050 ^a	0.846±0.020 ^a	
武夷贡茶 Wuyi Gongcha	1.158±0.079 ^{ab}	6.203±0.137 ^b	0.596±0.020 ^b	
浮瑶仙芝 Fuyao Xianzhi	1.327±0.066 ^{bc}	3.917±0.006 ^c	0.833±0.039 ^b	
井冈翠绿 Jinggang Cuilu	1.353±0.066 ^c	5.498±0.005 ^d	1.133±0.001 ^b	
庐山云雾 Lushan Yunwu	1.621±0.083 ^c	10.021±0.057 ^c	0.538±0.020 ^c	
靖安白茶 Jing'an White Tea	1.520±0.172 ^d	9.848±0.101 ^f	0.524±0.001 ^d	
修水宁红 Xiushui Ninghong	1.015±0.022 ^d	7.029±0.050 ^e	0.833±0.039 ^c	
遂川狗牯脑 Suichuan Gougunao	1.430±0.042 ^d	8.813±0.113 ^b	0.774±0.001 ^c	

右上标小写字母a-h表示同一种元素在不同茶叶品种中的显著性分析,字母相同表示没有显著性,字母不同表示有显著性($P<0.05$)

The lowercase letters a to h in the upper right indicate the significance analysis of the same element in different tea varieties. The same letters indicate no significance, and the different letters indicate significance ($P<0.05$)

3 结 论

本研究利用微波消解法对遂川狗牯脑、靖安白茶、修水宁红、武夷红茶、浮瑶仙芝、婺源毛尖、庐山云雾、井冈翠绿等江西名茶叶样品进行前处理,建立了8种江西名茶中Cr、Ni和Co 3种重金属元素含量的石墨炉原子吸收光谱法,利用建立的方法分别测定了8种江西名茶中各元素含量并进行了比较分析,结果表明不同品种茶叶中所含3种重金属元素含量存在一定的差异显著性,由大到小依次为Ni、Cr和Co,其中Ni元素含量最高的是婺源毛尖;Cr元素含量最高的是庐山云雾;Co元素含量最高的是井冈翠绿,但3种矿物质元素的含量均较低,可放心饮用。说明8种江西名茶产地环境条件优越,空气、土壤和水源均未受到污染,适合茶叶的生产种植。本研究建立的茶叶中Cr、Ni和Co 3种重金属元素含量的石墨炉原子吸收光谱法具有选择性好,灵敏度高,可同时测定的优点。本研究不仅为江西省茶叶种植、加工、品质控制及日常饮茶选择提供了科学依据,还对促进江西省茶产业健康和可持续性发展具有现实指导意义。

参考文献:

- [1] Maria C, Grzegorz Z, Marcin B, et al. Study of nutritional value of dried tea leaves and infusions of black, green and white teas from Chinese plantations[J]. Roczniki Państwowego Zakładu Higieny, 2017, 68(3): 237-245.
- [2] 郭嘉凤, 田双红, 易晓芹, 等. 不同茶树品种鲜叶固定样的体外抗氧化活性[J]. 现代食品科技, 2018, 34(6): 115-121. Guo J F, Tian S H, Yi X Q, et al. Study on the antioxidant activity of deffrent tea cultivars in vitro[J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(6): 115-121.

- [3] 吕海鹏,张悦,陈兴华,等.不同花色种类白茶的抗氧化活性及其主要品质化学成分分析[J].食品科学,2016,37(20):42-50.
Lu H P, Zhang Y, Chen X H, et al. Antioxidant activities and major chemical components in tea infusions of different kinds of white tea[J]. Food Science, 2016, 37(20): 42-50.
- [4] 李晓彤,魏静,谷满屯,等.鸕鹚茶提取物抗氧化活性研究与抗氧化特征成分的HPLC-MS/MS分析[J].食品科技,2015,40(10):265-269.
Li X T, Wei J, Gu M T, et al. Antioxidant activity study and HPLC-MS/MS analysis of antioxidant characteristics of Mallotus oblongifolius extract[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(10): 265-269.
- [5] Bag A, Bag N. Tea polyphenols and prevention of epigenetic aberrations in cancer[J]. Journal of Natural Science Biology and Medicine, 2018, 9(1): 2-5.
- [6] 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):1064-1072.
Wang F, Shan R Y, Chen Y Z, et al. Concentrations and health risk assessment of heavy metals in tea garden soil and tea-leaf from a mine county in central Fujian province[J]. China Environmental Science, 2018, 38(3): 1064-1072.
- [7] 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):2224-2231.
Han Q H, Yang Y, Huang X, et al. Migration and accumulation of heavy metals in hawk tea[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2016, 30(11): 2224-2231.
- [8] Zhong W S, Ren T, Zhao L J. Determination of Pb(Lead), Cd(Cadmium), Cr(Chromium), Cu(Copper), and Ni(Nickel) in Chinese tea with high-resolution continuum source graphite furnace atomic absorption spectrometry[J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2016, 24(1): 46-55.
- [9] 王秋霜,陈栋,操君喜,等.国内外红茶重金属及稀土元素的安全性评价[J].食品科学技术学报,2017,35(11):87-94.
Wang Q S, Chen D, Cao J X, et al. Evaluation of heavy metals and rare-earth elements in famous black teas at home and abroad[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 35(1): 87-94.
- [10] 闫美,谢晨星,朱智慧,等.保健食品中三价铬与六价铬的分离与测定[J].食品研究与开发,2016,37(7):171-175.
Yan M, Xie C X, Zhu Z H, et al. The research on the conditions of hexavalent chromium convert to trivalent chromium in healthy food[J]. Food Research and Development, 2016, 37(7): 171-175.
- [11] Viti C, Marchi E, Decorosi F, et al. Molecular mechanisms of Cr(VI) resistance in bacteria and fungi[J]. FEMS Microbiology Reviews, 2014, 38(4): 633-659.
- [12] Zdrojewicz Z, Popowicz E, Winiarski J. Nickel-role in human organism and toxic effects[J]. Polskimerkuriuszlekarski: organ Polskiego Towarzystwa Lekarskiego, 2016, 41(242): 115-118.
- [13] Lee M, Lapham A, Brimmell M, et al. Inhibition of proteasomal degradation of Mcl-1 by cobalt chloride suppresses cobalt chloride-induced apoptosis in HCT116 colorectal cancer cells[J]. Apoptosis, 2008, 13(8): 972-982.
- [14] Cressey P B, Eskandari A, Bruno P M, et al. Inside back cover: the potent inhibitory effect of a naproxen-appended cobalt (III)-cyclam complex on cancer stem cells[J]. Chembiochem, 2016, 17(18): 1784.
- [15] 许燕,曾艳,郭湘,等.重金属复合污染对茶叶重金属、主要生化成分含量及冲泡茶汤浸出率的影响研究[J].食品工业科技,2015,36(1):369-374.
Xu Y, Zeng Y, Guo X, et al. Effects of compound pollution of 4 heavy metals on components of heavy metals and main biochemical composition and diffusion rate in tea[J]. Food Industry Technology, 2015, 36(1): 369-374.
- [16] 张建,卢垣宇,田志强,等.ICP-MS检测食品中铅、砷、汞、镉、钡、铬、银、镍8种有害元素[J].食品工业,2015,36(3):278-281.
Zhang J, L Y Y, Tian Z Q, et al. ICP-MS detection of lead in food, arsenic, mercury, cadmium, barium, chromium, silver, nickel 8 harmful elements[J]. Food Industry, 2015, 36(3): 278-281.
- [17] 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.
Li G F, Xiong D H, Yang T Y, et al. Determination of 10 kinds of harmful elements in Fanjing Mountain green tea[J]. Food Research and Development, 2017, 38(1): 126-129.
- [18] 马明海,万顺利,黄民生,等.黄山地方茶中重金属浸出规律及健康风险评估[J].食品工业科技,2015,36(20):49-52.
Ma M H, Wan S L, Huang M S, et al. Health risk assessment and extraction behavior of heavy metals in local tea of Huangshan[J]. Food Industry Technology, 2015, 36(20): 49-52.

- [19] 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.
Li Y Y. The Research on the impact of EU's green barriers on China's tea export[D]. Dalian: Dongbei University of Finance and Economics, 2016.
- [20] 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.
Li D h, Chi Z X, Zhang H T, et al. Positive analysis on the competitiveness of Jiangxi tea industry[J]. Journal of Jiangxi Agricultural University, 2008, 7(3): 76-79.
- [21] 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.
Sun Y M, Ye C, Zhang K, et al. Report on development of tea industry in Jiangxi Province[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2016, 28(8): 110-114.
- [22] 李铭芳, 卢志红, 黄喜根. 原子吸收光谱法测定水稻植株中不同部位铬的形态[J]. 江西农业大学学报, 2006, 28(5): 797-799.
Li M F, Lu Z H, Huang X G. Measurement of forms of chromium in different positions of rice plant by means of cloud point extraction-flame atomic absorption spectrometry[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2006, 28(5): 797-799.
- [23] 龚霞, 刘淑娟, 曹维鹏, 等. 鄱阳湖及支流底泥中重金属形态研究[J]. 江西农业大学学报, 2006, 28(4): 620-624.
Gong X, Liu S J, Cao W P, et al. A Study on heavy metal speciation in sediment of poyanglake and its branches[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2006, 28(4): 620-624.
- [24] Hight Susan C. Determination of lead and cadmium in ceramicware leach solutions by graphite furnace atomic absorption spectroscopy: method development and interlaboratory trial[J]. Journal of Aoac International, 2019, 84(3): 3.
- [25] Atsumi K, Minami T, Ueda J. Determination of cadmium in spring water by graphite-furnace atomic absorption spectrometry after coprecipitation with ytterbium hydroxide[J]. Analytical Sciences, 2005, 21(6): 647-649.
- [26] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.123—2014 食品安全国家标准食品中铬的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
National Health and Family Planning. GB 5009.123—2014 National food safety standard determination of chromium in food [S]. Beijing: China Standard Press, 2014.
- [27] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.138—2017 食品安全国家标准食品中镍的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning. GB 5009.138—2017 National food safety standard determination of nickel in food [S]. Beijing: China Standard Press, 2017.
- [28] 国家生态环保部. HJ 985—2018 水质钴的测定石墨炉原子吸收分光光度法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
Ministry of Ecology and Environmental Protection. HJ 985—2018 Water quality determination of cobalt graphite furnace atomic absorption spectrophotometry [S]. Beijing: China Standard Press, 2019.
- [29] 中华人民共和国农业部. NY659—2003 茶叶中铬、镉、汞、砷、和氟化物限量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. NY659—2003 Limits of chromium, cadmium, mercury, arsenic, and fluoride in tea [S]. Beijing: China Standard Press, 2003.