

## 云南凤庆冬春两季大叶种茶中常量元素的差异性分析

侯 顺, 肖 涵, 马银海\*

(昆明学院 化学化工学院, 云南 昆明 650214)

**摘要:** 为探讨凤庆县大叶种茶中冬春两季常量元素的差异性. 选定该县 5 个大叶种茶园的特定植株, 在冬春两季采摘同株一芽二叶至三叶茶叶样品, 并使用 ICP-MS 法对其 9 种常量矿质元素进行分析. 结果表明, 样品中 9 种常量元素在冬春季含量分异达 3 个数量级, Al、Mn 和 Ti 等元素明显富集. 冬春两季, 不同矿质元素含量特征显著不同, 其中冬季含量高于春季的是  $w(\text{Al}) > w(\text{Zn}) > w(\text{Mn}) > w(\text{Sr})$  (含量均值排序), 冬季含量低于春季的为  $w(\text{Mg}) > w(\text{Ti}) > w(\text{Fe}) > w(\text{Cu}) > w(\text{Ni})$  (含量均值排序). 各样品地间同一元素含量变异系数不同, 其中 Fe 稳定性最高, Al 和 Ti 变异最大. 成对比较  $T$  检验结果显示, 冬春两季大叶种茶新梢常量元素含量差异较大, 春季 Zn 和 Al 含量极显著下降, Mn 含量显著下降, Cu 含量极显著升高, Ni 含量显著升高, Zn、Al 和 Cu 元素可作为常量元素季节性变化的指纹因子.

**关键词:** 大叶种茶; 冬与春; 一芽二叶至三叶; 常量元素; 含量差异

**中图分类号:** TS272 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5639 (2021) 06-0046-06

**DOI:** 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2021.06.008

### Analysis on the Differences of Major Elements in *Camellia sinensis* (Linn.) var. *assamica* (Masters) Kitamura between Winter and Spring from Fengqing Yunnan

HOU Shun, XIAO Han, MA Yin Hai\*

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Kunming University, Kunming, Yunnan, China 650214)

**Abstract:** In order to study the differences of the major elements between winter and spring in *Camellia sinensis* (Linn.) var. *assamica* (Masters) Kitamura from Fengqing County, the specific plants from five specific tea gardens were selected. New shoots of one bud-two or three leaves from same plants were picked in winter and spring. ICP-MS was used to analyze 9 major mineral elements in those samples. The results showed that the content of 9 major mineral elements in the samples differed by 3 orders of magnitude in winter and spring, in which Al, Mn, Ti and other elements were obviously enriched. The characteristics of the content of different mineral elements in winter and spring were significantly different, in which the contents were higher in winter than in spring as  $w(\text{Al}) > w(\text{Zn}) > w(\text{Mn}) > w(\text{Sr})$  (sorted by mean content) while the contents were lower in winter than in spring as  $w(\text{Mg}) > w(\text{Ti}) > w(\text{Fe}) > w(\text{Cu}) > w(\text{Ni})$  (sorted by mean content). The coefficients of variation of the same element content from different sample areas were different, in which Fe had the highest stability but Al and Mn showed the highest variation. Pairwise comparison in  $T$ -tests showed that the contents of major elements in the new shoots of big-leaf tea varieties in winter and spring were different. In spring, the content of Zn, Al and Mn extremely reduced while the content of Cu and Ni significantly increased. Zn, Al, and Cu elements could be used as monitoring factors for the seasonal changes of the major elements.

**Key words:** *Camellia sinensis* (Linn.) var. *assamica* (Masters) Kitamura; winter vs spring; one bud-two or three leaves; major elements; differences

云南省临沧市凤庆县属代表性滇红茶产区. 该茶产区位于滇西北, 属中亚热带、北亚热带, 为亚

热带山地高原季风气候, 年平均温度 14.7 ~ 19.5 °C, 年降雨量 1 100 ~ 2 100 mm, 土壤以山地

收稿日期: 2021-10-21

基金项目: 云南省科技厅地方高校联合专项资助项目 (202001BA070001-42).

作者简介: 侯顺 (1998—), 男, 河南商丘人, 在读硕士研究生, 主要从事材料与化工方面的研究.

\*通信作者: 马银海 (1964—), 男, 云南昆明人, 教授, 主要从事食品分析和环境分析方向的研究, E-mail: 1994848868@qq.com.

红壤为主, pH 值 5.0 ~ 5.5, 适宜茶树生长. 此外, 该地区隶属于 Pb-Zn-Ag-Cu-S-Hg 矿化带, 金属元素背景值较高<sup>[1]</sup>.

凤庆大叶种茶树 (*Camellia sinensis* (Linn.) var. *assamica* (Masters) Kitamura) 种植时间长、面积广、茶产量较大. 茶树呈单轴分枝, 叶形以椭圆为主, 叶尖聚尖或渐尖, 叶面隆起, 叶色绿有光泽, 叶片厚而柔软, 叶身背卷或稍内折, 叶缘微波, 侧脉 10 ~ 11 条. 凤庆大叶种茶树定型成熟叶片长 12.7 ~ 25.3 cm、宽 8.0 ~ 9.0 cm, 面积大于 40 cm<sup>2</sup>. 栅栏组织大多数为一层, 且排列较稀疏. 叶片碳代谢强烈, 海绵组织多, 易于次生代谢产物的合成与累积. 茶产品水浸出物含量较高, 呈味物

质累积多, 茶汤滋味强烈, 风味独特<sup>[2]</sup>.  
由于茶树体内的矿质元素不能自身合成, 必须从周围环境吸收富集. 而地质环境作为内源性影响因素, 直接或间接影响水、气、肥、热等条件, 从而干扰茶树生长发育过程. 土壤为茶树矿质元素吸收的主要来源, 自根向上, 矿质元素逐级分馏迁移, 进入茶叶新梢, 参与生理生化反应, 并形成动态循环. 目前, 茶树组织中已检出 67 种以上元素, 其含量范围相差 7 个数量级以上. Al、F、Mn 和 Se 等元素显著富集, 并成为影响茶树生长的常量元素<sup>[3]</sup>. 已有大量研究<sup>[4-5]</sup>分析了茶树生长过程中涉及的常量矿质元素对茶树的影响, 其中各结论整理见表 1.

表 1 常见无机元素对茶树的影响

元素	作用	缺乏症	备注
Mg	维持叶绿体结构、降低活性氧伤害. 多种酶组成成分和活化剂, 促进氮代谢, 影响茶多酚合成	叶片黄色斑纹和失绿症, 顶芽生长休止, 老叶主脉附近鱼骨症	
Al	促进氟的吸收转化, 参与基因表达. 提高叶绿素含量, 促生长		富集
Mn	与土壤 pH 呈负相关. 可活化多种酶, 从而参与茶树多个生化过程 (光合与呼吸, Vc、氨基酸、多酚的合成, 氧化还原反应, 特别是硝态氮还原为氨的反应)	嫩叶出现焦边, 叶绿素下降, 整体发黄. 植株萎缩乃至枯死 (立枯病)	富集
Fe	是茶树体内许多酶、载体的组成部分以及茶树体内多种酶和载体的重要结构单元, 参与多种营养物质代谢过程. 引导叶绿素合成, 参与光合作用、呼吸作用	影响叶绿素、Vc 合成, 光合作用受阻, 铁酶活力降低	
Zn	茶树中一些酶的组成成分, 对蛋白质和淀粉的积累起重要作用. 参与光合作用, 为茶树生长提供能量. 参与茶树体内生长素 (吲哚乙酸) 的合成	叶变小, 出现黄斑, 节间变短, 不能正常生长. 叶缘呈扭曲细条状	
Cu	儿茶酚氧化酶、抗坏血酸氧化酶、吲哚乙酸氧化酶等多种酶的重要结构单元, 参与光合作用、N 和 C 重构与代谢. 可显著提高可溶性糖、氨基酸、茶多酚、咖啡因含量, 从而提高水浸出物含量	叶片海绵体失绿, 出现黄斑, 但不干扰叶脉叶绿素代谢. 严重时茶树顶芽枯死, 全株落叶	
Ni	抑制光合作用, 发育迟缓, 茎叶畸形	使植物幼苗生长受阻, 生物量减少, 抑制种子萌发等	

世界各国标准不仅对进出口茶叶的质量控制除限定有机污染物外, 还十分重视矿质元素指标. 各类标准对茶叶中矿质元素的限定<sup>[6]</sup>详见表 2.  
茶组织中的矿质元素主要来源于土壤, 但其含量仍受茶树树龄、茶叶新梢嫩度、加工方式等多种因素的影响. 作为按特定时间采收并分级的植株, 茶树的生长周期对其产品品质的影响已形成共识. 在自然生长条件下, 茶树全年有 3 次生长和休止, 即: 越冬芽萌发→第 1 次生长 (春梢) →休止→第

2 次生长 (夏梢) →休止→第 3 次生长 (秋梢) →冬季休眠. 新梢明显的轮性生长特点和花果、根系生长的季节性变化, 进一步引起茶树叶片水分及特征性物质含量的变化<sup>[7]</sup>.  
一般而言, 茶树冬季进入休眠期, 代谢率低, 萌芽少. 而早春日均气温高于 10 ℃ 时茶芽萌动, 代谢活动增强. 目前, 对茶树生长周期的研究<sup>[7-11]</sup>多集中于其次生代谢产物, 且一致认为: 春季茶产品水浸出物多, 氨基酸、可溶性糖、咖啡

因等良性呈味因子含量较高；而夏秋茶黄酮类、多酚、花色素类不良呈味因子含量较高。因此茶产品历来以春季，特别是清明前为佳。

此外，目前对茶树及其制品中矿质元素的研究多集中于有关其含量的调查<sup>[12-13]</sup>、品种差异<sup>[14]</sup>、不同产地、不同部位、不同加工方式<sup>[15]</sup>、土壤-茶树元素相关性分析<sup>[16]</sup>、浸出率<sup>[17]</sup>、指纹图谱<sup>[18]</sup>的研究。而对其不同生长周期内矿质元素变化的研究仍不够充分，尤其是冬季变化研究尚不多见。Zhou 等<sup>[19]</sup>使用同位素分析研究结果表明， $\delta D$  和  $\delta^{18}O$  在不同季节有

显著差异，降雨量是周年变化的重要贡献因子；Zhao 等<sup>[20]</sup>认为，Na、Mg、K、V、Cr、Co、Se、Rb 和 Pt 可作为不同季节茶叶的指纹因子；方灵等<sup>[21]</sup>认为，季节不影响茶叶对稀土元素的总富集能力，但影响茶叶对铈、钇的吸收；王朝阳等<sup>[22]</sup>研究结果显示，硒元素含量为  $w(\text{春茶}) > w(\text{秋茶}) > w(\text{夏茶})$ ，夏茶含硒量与春茶、秋茶差异显著。需要说明的是，这些研究都是基于行业习惯（春及夏、秋季）设计采样节点，因为冬季茶树进入休眠期，茶芽小且难以收集，所以对采样提出了挑战。

表 2 各标准对茶叶中矿质元素的限量

类别	序号	元素	限量/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	标准来源
常量元素	1	Fe	300.0	约旦标准
	2	Zn	50.0	肯尼亚标准
	3	Sn	40.0	马来西亚标准
	4	Cu	30.0	中国有机茶标准
	5	REEOs	2.0	GB 2762—2012
	6	Sb	1.0	马来西亚标准
有害元素	7	Pb	5.0	GB 2762—2012
	8	Cr	5.0	NY 659—2003
	9	As	2.0	NY 659—2003
	10	Cd	1.0	NY 659—2003
			0.2	新加坡标准

综上所述，由于采样因素的限制，涉及茶树冬季生长特征的研究尚不多见，且其结果受多重因子干扰。在茶树生长周期中，冬季休眠越冬，春季为萌动期，可代表茶树生长状态的极值，方便进行茶树生长周期典型变化的降维研究。因此，以云南省临沧市凤庆县为研究区域，并选择当地典型茶园样地，确定经纬度后，按农业节气采摘特定茶树一芽二叶至三叶新梢，清洗后快速干燥，消解后采用 ICP-MS 测定其常量元素含量，并对数据进行成对  $T$  检验以获得准确的统计结果，其结果可为临沧市典型大叶种茶树的生长周期元素特性累积原始数据，也能为建立茶产品元素指纹图谱提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

2020 年 1—4 月，于前期调研择定的 5 个凤庆县代表性大叶种茶园样地直接采收茶叶新梢。野外采样时间参考茶行业常规<sup>[23-24]</sup>，即春季：春分—清明（2020-03-20—2020-04-04）；冬季：小寒—大寒（2020-

01-06—2020-01-20）。在固定的经纬点茶园，选取向阳坡面中部，具有代表性的茶树 5~20 棵（冬季芽叶稀少，其他季节采样以冬季茶株分布中心为起始点，向外辐射），以布带标记后采一芽二叶至三叶样品，纯净水快速冲刷甩干后摊晾干燥，冰箱密封冷藏。

由于冬季各样品芽叶显著变小，叶片革质化，部分呈现猫耳朵状，叶绿素、水分含量偏低，少量叶片有焦边现象。

### 1.2 仪器条件

ICP-MS 工作条件（ $n = 3$ ）：等离子体射频（RF）功率 1 550 W，蠕动泵 0.10 r/s，采样深度 10.0 mm，雾化室温度 2℃，载气 1.03 L/min；等离子体模式：He 模式（碰撞反应池模式），氦气流量 4.3 mL/min，重复 3 次。重金属多元素混合标准溶液（V，Cr，Mn，Co，Ni，Cu，Zn，As，Cd，Pb）购自安捷伦公司（8500-6940），以国家有色金属及电子材料分析测试中心的 Rh、Re 标准溶液为内标溶液，安捷伦 5188-6564 的 Li、Co、Y、Ce 和 Tl 混合标准溶液为调谐溶液。

1.3 实验方法

茶叶样品临用前 70 ℃ 烘干后磨碎至 60 目. 准确称取 2.00 g 茶叶粉末 ( $n=3$ ) 于锥形瓶中, 加入  $V(\text{高氯酸}):V(\text{硝酸})=1:5$  的混酸 30 mL, 加盖浸泡过夜后, 加热消解至无色澄清透明, 消解后充分赶酸, 冷却, 以 2% 硝酸溶液转移定容至 200 mL.

在优化后的仪器分辨率、灵敏度、稳定性、氧

化物、双电荷条件下, 测定标准、样品和空白溶液, 扣除空白后计算结果.

2 结果与讨论

2.1 冬、春季茶叶中常量元素含量分析

采用 ICP-MS 法对冬春两季 5 个茶叶样品中的 9 种常量元素 (Mg、Fe、Zn、Cu、Ni、Al、Mn、Ti、Sr) 的含量进行测定, 结果见表 3.

表 3 冬、春季节大叶种茶树新梢 9 种常量元素含量

元素/季节		最小值 /(mg·kg <sup>-1</sup> )	最大值 /(mg·kg <sup>-1</sup> )	平均值 /(mg·kg <sup>-1</sup> )	标准差 /(mg·kg <sup>-1</sup> )	RSD /%	冬春变化幅度 /%
Mg	冬	1 126.00	2 151.00	1 580.00	195.60	12.38	10.07
	春	1 585.00	1 896.00	1 757.00	62.58	3.56	
Al	冬	722.90	1 752.60	1 247.62	189.23	15.17	-376.30
	春	184.00	380.40	261.94	33.34	12.73	
Mn	冬	389.20	1 303.00	892.58	178.58	20.01	-78.92
	春	201.60	815.20	498.88	99.36	19.92	
Fe	冬	52.86	84.53	73.27	6.05	8.26	4.92
	春	57.65	106.98	77.08	8.34	10.83	
Ti	冬	13.59	18.04	16.06	0.78	4.87	51.24
	春	31.27	34.74	32.94	0.67	2.04	
Zn	冬	6.18	30.74	16.00	4.13	25.82	-97.78
	春	6.91	10.18	8.09	0.57	7.02	
Cu	冬	5.95	12.68	9.13	1.30	14.26	28.64
	春	10.23	14.30	12.78	0.87	6.82	
Ni	冬	1.23	4.32	2.93	0.61	20.74	36.44
	春	3.19	5.70	4.61	0.43	9.33	
Sr	冬	1.20	1.82	1.52	0.13	8.38	22.58
	春	0.76	1.97	1.24	0.26	20.71	

注: 变化幅度 = (春季元素含量 - 冬季元素含量) × 100% / 春季元素含量.

由表 3 可见, 各样品 9 种常量矿质元素的含量分异明显, 各元素含量均值水平变异达 3 个数量级. 其中: Mg 含量最高 ( $1\,757.00 \pm 62.58$  mg/kg); Sr 含量最低 ( $1.24 \pm 0.26$  mg/kg). 各元素含量平均值的高低顺序为:  $w(\text{Mg}) > w(\text{Al}) > w(\text{Mn}) > w(\text{Fe}) > w(\text{Ti}) > w(\text{Zn}) > w(\text{Cu}) > w(\text{Ni}) > w(\text{Sr})$ . 此顺序与地球陆地植物矿质元素含量顺序相近<sup>[3]</sup>, 但 Al、Mn 和 Ti 等元素的含量顺序有大幅度提高, 其中 Al 提高 1~2 个数量级, Mn 和 Ti 提高 1 个数量级, 体现出明显的富集.

此外, 样品变化幅度指征冬春季节性差异, RSD 指征不同样地间差异. 冬季与春季比较, 不同矿质元

素含量特征显著不同: Fe 含量较为稳定; 冬季含量高于春季的是  $w(\text{Al}) > w(\text{Zn}) > w(\text{Mn}) > w(\text{Sr})$  (含量均值排序), 冬季含量低于春季的为  $w(\text{Mg}) > w(\text{Ti}) > w(\text{Fe}) > w(\text{Cu}) > w(\text{Ni})$  (含量均值排序). 对冬、春单一常量元素的含量变化幅度进行归一化后可以看出, 冬季与春季含量变幅顺序为  $w(\text{Ti}) > w(\text{Ni}) > w(\text{Cu}) > w(\text{Sr}) > w(\text{Mg}) > w(\text{Fe}) > w(\text{Mn}) > w(\text{Zn}) > w(\text{Al})$ . 两季节同一元素含量 RSD 不均, 除 Sr 和 Fe 外, 冬季茶叶样品常量元素分量变异情况远大于春季; Fe 稳定性最高, Al 和 Ti 变异最大. 冬季含量范围差异表现为  $w(\text{Zn}) > w(\text{Ni}) > w(\text{Mn}) > w(\text{Al}) > w(\text{Cu}) > w(\text{Mg}) > w(\text{Sr}) > w(\text{Fe}) > w(\text{Ti})$ , 春季含量

范围差异表现为  $w(\text{Sr}) > w(\text{Mn}) > w(\text{Al}) > w(\text{Fe}) > w(\text{Ni}) > w(\text{Zn}) > w(\text{Cu}) > w(\text{Mg}) > w(\text{Ti})$ .

可以认为,除 Sr 和 Fe 外,各样品的其他元素在春季变化幅度较为一致.在春季水热条件变动剧烈,对样品地茶树的吸收、分布特性干扰超过背景值干扰.若春茶元素含量  $RSD$  小,变幅小(如 Fe),则该元素在茶树体内分布较为稳定,环境影响较少,可能固持性较好;若春茶元素含量  $RSD$  小,变幅大(如 Al 和 Mn),则该元素受土壤环境

影响较少,受水热条件影响较大.若春茶元素含量  $RSD$  大,变幅小(如 Sr),则此元素与土壤背景关系更为密切,适宜进一步研究其产地溯源可靠性;若春茶元素含量  $RSD$  大,变幅大(如 Mn),则此元素对多重干扰响应明显,不适宜作为指纹图谱组成元素.

2.2 冬、春季节常量元素成对  $T$  检验结果

对样品涉及的 5 个样地数据进行点对点成对比较  $T$  检验,结果见表 4.

表 4 冬、春季节样品常量元素差异性分析

配对差值						
元素	平均值	标准差	差值 95% 置信区间		<i>t</i>	显著性（双尾）
			下限	上限		
Mg	− 177. 00	467. 68	− 757. 70	403. 70	− 0. 85	0. 45
Fe	− 3. 82	23. 83	− 35. 89	28. 26	− 0. 33	0. 76
Zn	− 16. 88	2. 25	− 20. 05	− 13. 71	− 14. 79	0. 00 **
Cu	− 3. 65	1. 36	− 5. 34	− 1. 97	− 6. 01	0. 00 **
Ni	− 1. 68	2. 15	− 4. 35	0. 99	− 1. 75	0. 02 *
Al	985. 68	396. 16	493. 79	1 477. 57	5. 56	0. 01 **
Mn	393. 70	263. 38	66. 67	720. 73	3. 34	0. 03 *
Ti	0. 28	0. 55	− 0. 41	0. 97	1. 14	0. 32
Sr	7. 91	8. 21	− 2. 29	18. 11	2. 15	0. 10

注:表中“\*\*”表示差异极具统计学意义,“\*”表示差异有统计学意义.

由表 4 可知,冬春两季大叶种茶新梢常量元素含量差异较大,与之前研究结果<sup>[3]</sup>中春夏元素含量差异有显著提高.在冬、春两季,Mg、Fe、Ti 和 Sr 含量差异无统计学意义,Zn、Cu 和 Al 含量差异极具统计学意义,Ni 和 Mn 含量差异有统计学意义.在春季 Zn 和 Al 含量极显著下降,Mn 含量显著下降.同时 Cu 含量极显著升高,Ni 含量显著升高.因此,Zn、Al 和 Cu 元素可以作为常量元素季节性变化的表征元素.

茶新梢常量元素含量的季节变化主要取决于当地气候的季节节律,也受茶树生长的生理特性和茶园管理方式、频率影响.因此本结论只代表当地的地方性现象,有待于累积更多代表性地区数据获得普适性结论.

3 结论

选定云南省临沧市凤庆县 5 个大叶种茶园样地特定植株,在冬春季节特定时间采取同株一芽二叶

至三叶茶叶样品,使用 ICP-MS 法对其 9 种常量矿质元素(Mg、Fe、Zn、Cu、Ni、Al、Mn、Ti、Sr)进行分析,得到以下结论:

1) 样品中 9 种常量矿质元素的含量分异明显,各元素含量均值水平变异达 3 个数量级.各元素含量平均值的高低顺序为: $w(\text{Mg}) > w(\text{Al}) > w(\text{Mn}) > w(\text{Fe}) > w(\text{Ti}) > w(\text{Zn}) > w(\text{Cu}) > w(\text{Ni}) > w(\text{Sr})$ .此顺序与地球陆地植物矿质元素含量顺序相近,但 Al、Mn 和 Ti 等元素明显富集.

2) 比较冬春两季,不同矿质元素含量特征显著不同:Fe 含量较为稳定;冬季含量高于春季的是  $w(\text{Al}) > w(\text{Zn}) > w(\text{Mn}) > w(\text{Sr})$ (含量均值排序),冬季含量低于春季的为  $w(\text{Mg}) > w(\text{Ti}) > w(\text{Fe}) > w(\text{Cu}) > w(\text{Ni})$ (含量均值排序).对冬、春单一常量元素的含量变化幅度进行归一化后可以看出,冬季与春季含量变幅顺序为  $w(\text{Ti}) > w(\text{Ni}) > w(\text{Cu}) > w(\text{Sr}) > w(\text{Mg}) > w(\text{Fe}) > w(\text{Mn}) > w(\text{Zn}) > w(\text{Al})$ .

3) 两季节同一元素含量  $RSD$  不均,除 Sr 和 Fe

外, 冬季茶叶样品常量元素分量变异情况远大于春季, 其中 Fe 稳定性最高, Al 和 Ti 变异最大. 冬季含量范围差异表现为  $w(\text{Zn}) > w(\text{Ni}) > w(\text{Mn}) > w(\text{Al}) > w(\text{Cu}) > w(\text{Mg}) > w(\text{Sr}) > w(\text{Fe}) > w(\text{Ti})$ , 春季含量范围差异表现为  $w(\text{Sr}) > w(\text{Mn}) > w(\text{Al}) > w(\text{Fe}) > w(\text{Ni}) > w(\text{Zn}) > w(\text{Cu}) > w(\text{Mg}) > w(\text{Ti})$ . 结合元素含量  $RSD$  值和含量变幅可对元素在茶树中的受干扰特性做出初步推断.

4) 成对比较  $T$  检验结果表明, 冬春两季大叶种茶新梢常量元素含量差异较大, 在春季 Zn 和 Al 含量极显著下降, Mn 含量显著下降, Cu 含量极显著升高, Ni 含量显著升高, 其中 Zn、Al 和 Cu 元素可以作为季候变化的指纹因子进行深入研究.

#### [参考文献]

- [1] 杨婉秋, 王畅, 肖涵. 云南凤庆茶园土壤中重金属元素的形态分布特征 [J]. 昆明学院学报, 2019, 41 (3): 52–55.
- [2] 龚家顺. 云南普洱茶化学 [M]. 4 版. 昆明: 云南科技出版社, 2020.
- [3] 郑达贤, 沙济琴. 中国茶园土壤和茶树中的矿质元素 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [4] KARAK T, BHAGAT R M. Trace elements in tea leaves, made tea and tea infusion: A review [J]. Food Research International, 2010, 43: 2234–2252.
- [5] 刘美雅, 伊晓云, 石元值, 等. 茶园土壤性状及茶树营养元素吸收、转运机制研究进展 [J]. 茶叶科学, 2015, 35 (2): 110–120.
- [6] 杨婉秋, 王亚琴, 肖涵. 云南省凤庆县茶叶中矿质元素含量分析 [J]. 昆明学院学报, 2015, 37 (6): 39–43.
- [7] 王玺. 茶树叶片中主要特征性物质的年变化规律研究 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2013.
- [8] 谭晓琴, 李伟, 王聪明, 等. 紫嫣和紫娟茶树花青素及主要生化成分季节性的变化 [J]. 热带作物学报, 2021, 42 (1): 168–174.
- [9] 康受姪. 不同茶树品种、生产季节和加工方法对茶叶挥发性化合物的影响 [D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- [10] 黄秀琼, 柴硕, 黎娜, 等. 保靖黄金茶品质季节变化规律初探 [J]. 茶叶通讯, 2014, 41 (2): 22–24.
- [11] 周玉忠, 陈林波, 田易萍, 等. 云南大叶茶儿茶素组分含量季节变化分析 [J]. 2018, 34 (32): 78–82.
- [12] PENG C Y, ZHU X H, XI J J, et al. Macro and Micro-elements in tea (*Camellia sinensis*) leaves from Anhui Province in China with ICP-MS technique: Levels and Bioconcentration [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2017, 37 (6): 1980–1985.
- [13] 石玉涛, 郑淑琳, 王飞权, 等. 武夷名丛茶树种质资源矿质元素含量特征分析 [J]. 中国农业科技导报, 2020, 22 (7): 37–50.
- [14] 时鹏涛, 秦玉燕, 陆仲烟. 不同茶树品种中 9 种矿质元素的含量及富集特性 [J]. 江苏农业科学, 2019, 47 (10): 144–146.
- [15] 杜蕾, 郎红, 邵辉. 茶叶中重金属含量影响因素的研究进展 [J]. 安徽农学通报, 2018, 24 (24): 40–42.
- [16] 薛岚. 茶园土壤重金属元素与茶叶金属元素的相关性分析 [J]. 宁德师范学院学报 (自然科学版), 2019, 31 (4): 404–409.
- [17] POLECHOŃSKA L, DAMBIEC M, KLINK A. Levels of essential and non-essential elements in black teas commercialized in Poland and their transfer to tea infusion [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2013, 31: 62–66.
- [18] 陈保, 姜东华, 罗正刚. 基于矿质元素的古树普洱茶原料特征研究 [J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11 (13): 4324–4331.
- [19] ZHOU P, LI Z, OUYANG L Q, et al. A multi-element stable isotope approach coupled with chemometrics for the determination of Tieguanyin tea geographical origin and harvest season [J]. Analytical Methods, 2019, 11 (3): 346–352.
- [20] ZHAO H Y, ZHAO F Y. The authenticity identification of teas (*Camellia sinensis* L.) of different seasons according to their multi-elemental fingerprints [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2019, 54 (1): 249–255.
- [21] 方灵, 姚清华, 苏德森. 不同产区及季节铁观音中稀土元素的组成特征研究 [J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7 (11): 4627–4632.
- [22] 王朝阳, 刘运华, 侯运和. 不同品种茶叶聚硒能力及周年变化规律研究 [J]. 陕西农业科学, 2019, 65 (3): 36–37, 87.
- [23] 叶榕, 叶锦凤. 调控铁观音茶树萌芽期与采摘期 [J]. 福建茶叶, 2012, 34 (3): 22–23.
- [24] 杨晓云, 舒燕, 字娟娟, 等. 凤庆县凤山镇几种不同茶叶及其土壤的微量元素测定 [J]. 农村科学实验, 2019 (10): 79–80.