

**开栏语:**我国是茶叶生产、消费和出口大国.然而,由于近年来茶园环境质量下降,以及部分茶园滥用农药、化肥,导致茶产品质量下降,已重影响到我国茶叶出口的声誉,使得我国茶叶出口增长极其缓慢甚至下降.因此,对茶园生态环境质量(特别是茶园土壤环境质量)进行调查和评估,为优质茶园基地的选择和管理提供科学依据极为重要.此外,我国茶叶产地幅员辽阔,茶类众多(绿茶、红茶、白茶、黄茶、黑茶和青茶等6类),茶叶具有明显的地域特色和品质特征,其市场认可度和消费者喜爱程度也不一,是典型的地理标志保护产品.因此,对不同产地所产茶叶的各有机、无机成分含量进行分析和总结,为茶叶产地溯源技术提供理论支持极其必要.基于此,《昆明学院学报》现开设“茶叶研究”栏目,以报道茶园土壤环境质量,茶叶中各有机、无机组分含量分析方法研究,各产地茶叶中无机元素含量特征调查和茶叶原产地溯源技术研究为宗旨,为茶叶中各有机和无机组分分析方法的选择,茶园的选择和管理,以及茶叶产地溯源技术研究等工作提供基础数据,这不仅具有理论价值,而且极具现实意义.

## 云南省保山市不同种类茶叶中轻稀土元素分析

杨婉秋<sup>1</sup>,葛丹丹<sup>1</sup>,刘丹丹<sup>2\*</sup>

(1. 昆明学院 化学科学与技术系,云南 昆明 650214;

2. 中国地质科学院 水文地质环境地质研究所,河北 石家庄 050061)

**摘要:**应用 ICP-MS 法对产自云南省保山市的 8 种绿茶、3 种红茶、6 种普洱茶样品中轻稀土元素(LREE)(La, Ce, Pr, Nd, Sm 和 Eu)进行分析.结果表明, LREE 在红茶、绿茶和普洱茶中质量分数丰度变化趋势一致,不同种类茶叶中 LREEs 质量分数差异大,表现为:绿茶 > 普洱茶 > 红茶,其中普洱茶中轻稀土氧化物(LREOs)总质量分数较高,可能与原料选择的茶叶生长成熟度较高有关.各轻稀土氧化物质量分数占总量高低顺序为:  $\text{CeO}_2 > \text{La}_2\text{O}_3 > \text{Nd}_2\text{O}_3 > \text{Pr}_6\text{O}_{11} > \text{Sm}_2\text{O}_3 > \text{Eu}_2\text{O}_3$ , 其中  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  这 3 种氧化物占总量的 89.57%, 虽然各茶叶中 LREO 质量分数差异明显,但质量分数丰度模式相似,不同茶叶间质量分数差异,其原因可能是由于土壤背景值差异引起.

**关键词:**保山市;茶叶;轻稀土元素(LREE);ICP-MS

**中图分类号:**TS272.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-5639(2015)03-0025-05

**DOI:**10.14091/j.cnki.kmxyxb.2015.03.006

### Analysis of Light Rare Earth Elements in Different Types of Tea Leaves from Baoshan Area of Yunnan Province

YANG Wan-qiu<sup>1</sup>, GE Dan-dan<sup>1</sup>, LIU Dan-dan<sup>2\*</sup>

(1. Department of Chemical Science and Technology, Kunming University, Yunnan Kunming 650214, China;

2. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Hebei Shijiazhuang 050061, China)

**Abstract:** ICP-MS method was used to analyze light rare earth elements(LREEs)(La, Ce, Pr, Nd, Sm and Eu) in samples of 8 kinds of Green Tea, 3 kinds of Black Tea and 6 kinds of Pu'er tea produced in Baoshan area, Yunnan. The results show that the LREEs content in Black Tea, Green Tea and Pu'er Tea is in accord with the abundance variation tendency with the order from high to low of Green Tea, Pu'er tea and Black Tea. Total content of light rare earth oxides(LREOs) in Pu'er Tea is higher, which might be related

收稿日期:2015-05-04

作者简介:杨婉秋(1980—),女,云南石林人,副教授,博士,主要从事分析检测研究.

\* 通讯作者:刘丹丹(1986—),女,河南滑县人,博士,助理研究员,主要从事分析检测方面的研究, E-mail: ldd5104206@163.com.

to tea maturity. The proportion of each light rare earth element to the total content is in the order from high to low of  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$ ,  $\text{Sm}_2\text{O}_3$ , and  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ , among which the content of  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ , and  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  accounts for 89.57% of the total. Although the mass fraction difference among LREE content in tea is obvious, the abundance is in similar pattern, which might be caused by differences in soil background.

**Key words:** Baoshan area; tea leaves; LREEs; ICP-MS

稀土元素(rare earth element, REE)是钪副族镧系元素及与其紧密相连的 Sc 和 Y, 包括了 7 种轻稀土元素(LREE)(La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm 和 Eu)和 10 种重稀土元素(HREE)(Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Sc 和 Y)<sup>[1]</sup>. 因 Pm 元素尚未在自然界中发现, 所以轻稀土元素测定时只测定剩余 6 种. 稀土元素具有生物蓄积性, 其毒性遍及动物及人的各系统, 包括神经系统、消化系统、心血管系统、免疫系统、运动系统等<sup>[2]</sup>. 国家食品安全标准《食品中污染物限量》(GB 2761—2012)中明确规定, 茶叶中稀土元素总量限量(以稀土氧化物计)  $\leq 2.0 \text{ mg/kg}$ . 由于茶叶中总稀土含量(质量分数, 下同)受土壤中稀土含量的直接影响<sup>[3]</sup>, 因此不同产地的茶叶中稀土元素含量差异明显, 骆和东等人<sup>[4]</sup>对 145 份福建茶叶中稀土元素进行调查分析, 发现其稀土元素超标情况严重, 合格率为 53.8%, 特别是安溪乌龙茶合格率仅为 15.2%, 宁蓬勃等人<sup>[5]</sup>检测研究的 150 份云南普洱茶中 43% 稀土含量超标, 而聂刚等人<sup>[6]</sup>所调查分析的 44 份陕南地区的茶叶中稀土元素含量全部低于国家标准, 合格率为 100%. 陈巧等<sup>[3]</sup>、聂刚等<sup>[6]</sup>、汪东风等<sup>[7]</sup>、刘宏程等<sup>[8]</sup>对茶叶中稀土元素进行调查研究时发现轻稀土元素含量很高, 占稀土总量的 80% 以上, 体现出轻稀土的相对富集, 一定程度上能代表总稀土含量水平, 可作为茶叶中稀土元素质量安全控制及产地鉴别的重要技术指标之一.

云南省保山市位于云南省西部, 属于澜沧江、怒江、伊洛瓦底江“三江”流域, 稀土元素含量高, 轻稀土元素强烈富集<sup>[9]</sup>, 该地区拥有云南优异茶树种质资源, 是云南主要茶叶产区之一, 其茶叶具有香气浓郁, 咖啡碱含量高等特点<sup>[10]</sup>, 但目前对该地区茶叶中稀土元素研究较少. 为了解该地区茶叶中稀土元素含量和分布, 本文对云南省保山市所产 17 种不同茶叶中轻稀土元素含量进行分析, 以期为该产区茶叶稀土元素质量安全控制及产地溯源提供依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

2014 年 3 月 ~ 2014 年 12 月, 通过市场采购的

方式获得云南省保山市所产的绿茶 8 种(样品编号 G1-G8), 红茶 3 种(样品编号 B1-B3), 普洱茶 6 种(样品编号 P1-P6). 单元素稀土标准溶液  $1000 \text{ mg/L}$  (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu) 购自国家有色金属及电子材料分析测试中心, 以 Li, Co, Y, Ce, Tl 混合标准溶液(美国 Agilent, 5188 - 6564)为调谐溶液, Rh, Re 标准溶液(国家有色金属及电子材料分析测试中心)为内标溶液.

### 1.2 仪器条件

ICP-MS 工作条件: 等离子体射频(RF)功率:  $1550 \text{ W}$ ; 采样深度:  $10.0 \text{ mm}$ ; 载气:  $1.03 \text{ L/min}$ ; 蠕动泵:  $0.10 \text{ r/s}$ ; 雾化室温度:  $2^\circ\text{C}$ ; 等离子体模式: He 模式(碰撞反应池模式); 氦气流量:  $4.3 \text{ mL/min}$ .

### 1.3 实验方法

准确称取  $2.000 \text{ g}$  茶叶干粉样品置于锥形瓶中, 加入  $30 \text{ mL}$  混酸 [ $V(\text{高氯酸}):V(\text{硝酸}) = 1:5$ ], 加盖浸泡过夜后, 于电热板上加热消解至无色澄清透明, 加热赶酸, 冷却, 以 2% 硝酸溶液多次洗涤定容至  $200 \text{ mL}$ . 同法处理空白样品. 每件样品做 3 份平行.

优化仪器条件, 调整 ICP-MS 测试参数, 使仪器分辨率、灵敏度、稳定性、氧化物、双电荷等均达到检测要求后, 进行测定. 以 Li, Co, Y, Ce, Tl 混合标准溶液为调谐溶液, Rh, Re 标准溶液为内标溶液, 分步测定标准系列、空白溶液和样品溶液, 经扣除空白后计算结果.

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同茶叶中轻稀土元素质量分数分析

采用 ICP-MS 法对 17 种不同种类的保山市茶叶样品中轻稀土元素(LREE)质量分数进行测定, 结果见下页表 1.

测定结果表明, 不同种类茶叶中轻稀土元素总量(LREEs)差异较大, 红茶中 LREEs 最低 ( $493 \pm 105$ )  $\mu\text{g/kg}$ , 普洱茶中最高 ( $1798 \pm 763$ )  $\mu\text{g/kg}$ , 普洱茶的平均 LREEs 是红茶的 3.6 倍. 茶叶中 LREEs 最高的普洱茶 ( $2496 \mu\text{g/kg}$ ) 是最低的绿茶 ( $280 \mu\text{g/kg}$ ) 的 8.9 倍. 同一种类茶叶中 LREEs 差异明显, 绿茶中最高质量分数 ( $1561 \mu\text{g/kg}$ ) 是最低

质量分数(280  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )的5.6倍,相对平均偏差达71.61%;普洱茶中最高质量分数(2 496  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )是最低质量分数(725  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )的3.4倍,相对平均偏差为42.44%;红茶中最高质量分数(563  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )是最低质量分数(372  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )的1.5倍,相对平均偏差为19.03%。LREE 总量差异表现为:绿茶 > 普洱茶 > 红茶,其质量分数差异高低除与茶叶样本数量多少有关外,可能还与茶叶种类、产地土壤背景值有关。

表1 保山市不同种类茶叶中轻稀土元素质量分数

轻稀土元素		茶叶种类及元素质量分数/( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )					
		红茶( $n=3$ )		绿茶( $n=8$ )		普洱茶( $n=6$ )	
		质量分数	范围	质量分数	范围	质量分数	范围
La	57	123.00 $\pm$ 13.30	108.00 ~ 133.00	225.00 $\pm$ 189.00	78.30 ~ 520.00	589.00 $\pm$ 289.00	197.00 ~ 857.00
Ce	58	233.00 $\pm$ 61.10	164.00 ~ 281.00	250.00 $\pm$ 153.00	123.00 ~ 529.00	646.00 $\pm$ 214.00	334.00 ~ 898.00
Pr	59	24.30 $\pm$ 5.490	18.00 ~ 27.80	39.90 $\pm$ 32.30	13.80 ~ 93.70	105.00 $\pm$ 51.50	35.50 ~ 154.00
Nd	60	90.30 $\pm$ 22.00	65.10 ~ 105.90	145.00 $\pm$ 113.00	51.70 ~ 340.00	373.00 $\pm$ 177.00	129.00 ~ 546.00
Sm	62	17.90 $\pm$ 4.51	13.20 ~ 22.20	27.20 $\pm$ 19.60	10.20 ~ 62.00	69.80 $\pm$ 32.60	24.30 ~ 106.00
Eu	63	4.28 $\pm$ 1.07	3.32 ~ 5.43	6.46 $\pm$ 4.36	2.63 ~ 15.10	15.10 $\pm$ 6.31	5.34 ~ 22.40
Total	-	493.00 $\pm$ 105.00	372.00 ~ 563.00	694.00 $\pm$ 497.00	280.00 ~ 1561.00	1798.00 $\pm$ 763.00	725.00 ~ 2496.00

同一 LREE 在不同茶叶中质量分数差异明显,利用 LREE 在茶叶中的质量分数平均值绘制保山市不同茶叶中 LREE 质量分数丰度变化曲线,得到下图 1。由图 1 可知,LREE 在红茶、绿茶和普洱茶中质量分数丰度变化趋势一致,且元素质量分数丰度与原子序数(见表 1)的变化密切相关,原子序数越高的质量分数越低,序数为偶数的元素质量分数高于相邻奇数原子序数的元素质量分数,符合稀土元素排序规律的奥多-哈金斯法则(元素含量的原子系数奇偶规则)<sup>[1]</sup>。

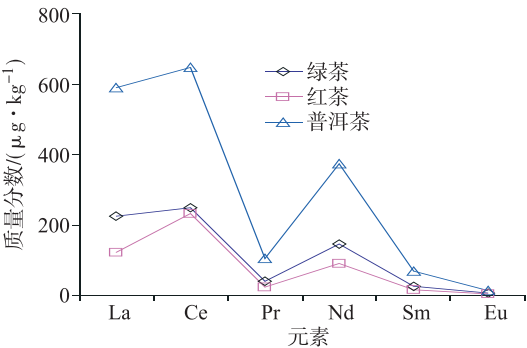


图1 保山市不同茶叶中轻稀土质量分数丰度

由图 1 与表 1 对照可知,普洱茶各 LREE 质量分数均高于红茶和绿茶,且元素质量分数在不同品种茶叶差异较大。La 在红茶中质量分数为(123.0  $\pm$  13.3)  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,在绿茶中质量分数为(225  $\pm$  189)  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,在普洱茶中质量分数为(589  $\pm$  289)  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,单一样品中最高质量分数(857.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )是最低质量分数

(78.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )的10.9倍;Ce是茶叶中质量分数最高的轻稀土元素,在红茶中质量分数为(233.0  $\pm$  61.1)  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,在绿茶中质量分数为(250  $\pm$  153)  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,在普洱茶中质量分数为(646  $\pm$  214)  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,单一样品中最高质量分数(898  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )是最低质量分数(123  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )的7.3倍;Pr在红茶中质量分数为(24.30  $\pm$  5.49)  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,在绿茶中质量分数为(39.9  $\pm$  32.3)  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,在普洱茶中质量分数为(105.0  $\pm$  51.5)  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,单一样品中最高质量分数(154.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )是最低质量分数(13.8  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )的11.2倍;Nd在红茶中质量分数为(90.3  $\pm$  22.0)  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,在绿茶中质量分数为(145  $\pm$  113)  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,在普洱茶中质量分数为(373  $\pm$  177)  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,单一样品中最高质量分数(546.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )是最低质量分数(51.7  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )的10.6倍;Sm在红茶中质量分数为(17.90  $\pm$  4.51)  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,在绿茶中质量分数为(27.2  $\pm$  19.6)  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,在普洱茶中质量分数为(69.8  $\pm$  32.6)  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,单一样品中最高质量分数(106.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )是最低质量分数(10.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )的10.4倍;Eu在红茶中质量分数为(4.28  $\pm$  1.07)  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,在绿茶中质量分数为(6.46  $\pm$  4.36)  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,在普洱茶中质量分数为(15.10  $\pm$  6.31)  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,单一样品中最高质量分数(22.40  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )是最低质量分数(2.63  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )的8.5倍。同一元素在不同茶叶中质量分数差异处于7.3~11.2倍之间,质量分数差异最大的为Pr,最小的为Ce,元素质量分数差异的大小可能与茶叶品种及产地土壤背景值有关。

## 2.2 不同茶叶中稀土氧化物质量分数分析

各轻稀土元素的常见氧化物有所差异,参照食品安全国家标准《植物性食品中稀土元素的测定》

(GB 5009. 94—2012)将不同茶叶中各元素换算为其常见氧化物(换算系数见下表2),所得结果见下表3和表4.

表2 轻稀土元素原子序数及其氧化物换算系数

元素	相对原子质量	氧化物	相对分子质量	$m$	换算系数
La	138.9	$\text{La}_2\text{O}_3$	325.8	2	1.173
Ce	140.1	$\text{CeO}_2$	172.1	1	1.228
Pr	140.9	$\text{Pr}_6\text{O}_{11}$	1021.4	6	1.208
Nd	144.2	$\text{Nd}_2\text{O}_3$	336.4	2	1.166
Sm	150.4	$\text{Sm}_2\text{O}_3$	348.8	2	1.160
Eu	152.0	$\text{Eu}_2\text{O}_3$	352.0	2	1.158

注: $m$ 为稀土氧化物分子式中稀土元素的摩尔系数;换算系数为各轻稀土元素换算为其氧化物的换算系数.

表3 保山市不同茶叶中轻稀土氧化物总量(LREOs)

茶叶种类	样品编号	质量分数/ $(\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$
绿茶	G1	1859
	G2	1626
	G3	440
	G4	872
	G5	335
	G6	490
	G7	588
	G8	412
红茶	B1	445
	B2	676
	B3	652
普洱茶	P1	1822
	P2	2977
	P3	2923
	P4	2871
	P5	869
	P6	1405

由表3可知,不同茶叶样品中,LREOs质量分数差异较大,质量分数最高( $2977 \mu\text{g}/\text{kg}$ )与质量分数最低( $335 \mu\text{g}/\text{kg}$ )相差 $2642 \mu\text{g}/\text{kg}$ .17份茶叶样品中,有3份普洱茶样品LREOs质量分数超过 $2000 \mu\text{g}/\text{kg}$ ,2份绿茶样品和1份普洱茶样品超过 $1500 \mu\text{g}/\text{kg}$ ,1份普洱茶样品超过 $1000 \mu\text{g}/\text{kg}$ ,其余样品都在 $1000 \mu\text{g}/\text{kg}$ 以下.云南省保山市不同茶叶品种中,红茶中LREOs质量分数较低,普洱茶中LREOs质量分数较高,普洱茶中LREOs质量分数超国家食品安全限量标准( $2.0 \text{ mg}/\text{kg}$ ),比例较

高,情况不容乐观.宁蓬勃等<sup>[5]</sup>研究表明,普洱熟茶中稀土氧化物(REO)超标情况严重,可能与制茶工艺有关.杨秀芳等<sup>[11]</sup>、陈锋<sup>[12]</sup>研究表明,茶叶生长周期越长,其积累的REE质量分数越高.在不同茶叶品种中,红茶、绿茶通常选择台地茶中的嫩芽叶作为原料,原料中REEs质量分数相对较低,而普洱茶通常选择老树茶以及生长成熟度适当的完整的第2和第3叶茶叶作为原料,其REEs质量分数相对较高,导致普洱茶中LREOs质量分数较高.

不同茶叶种类样品中,LREOs质量分数差异明显(见下表4). $\text{CeO}_2$ 质量分数最高,占LREOs质量分数的37.98%; $\text{Eu}_2\text{O}_3$ 质量分数最低,仅占LREOs质量分数的0.84%.各LREO占总量占总量高低顺序为: $\text{CeO}_2 > \text{La}_2\text{O}_3 > \text{Nd}_2\text{O}_3 > \text{Pr}_6\text{O}_{11} > \text{Sm}_2\text{O}_3 > \text{Eu}_2\text{O}_3$ ,与陈巧等<sup>[3]</sup>、宁蓬勃等<sup>[5]</sup>、聂刚等<sup>[6]</sup>、汪东风等<sup>[7]</sup>所报道的元素质量分数高低顺序一致.质量分数较高的 $\text{CeO}_2$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Nd}_2\text{O}_3$ 这3种氧化物占LREOs质量分数的89.57%,与汪东风等<sup>[7]</sup>所报道的质量分数比例基本一致.

各LREO在茶叶中的质量分数差异明显, $\text{La}_2\text{O}_3$ 质量分数差异最大, $\text{CeO}_2$ 质量分数差异最小,各元素氧化物质量分数差异表现为: $\text{La}_2\text{O}_3 > \text{Pr}_6\text{O}_{11} > \text{Nd}_2\text{O}_3 > \text{Sm}_2\text{O}_3 > \text{Eu}_2\text{O}_3 > \text{CeO}_2$ .但总体偏差较小,质量分数差异均处于65%~85%,说明各茶叶中LREO质量分数丰度模式相似,不同茶叶间质量分数差异,其原因可能是由于土壤背景值差异引起.

表4 保山市茶叶中各 LREO 质量分数及其所占 LREOs 质量分数比例( $n=17$ )

LREO	质量分数范围/( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	平均值/( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	标准偏差/( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	RSD/%	比例/%
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	91.9~1 005.0	393.0	332.00	84.49	31.45
CeO <sub>2</sub>	152.0~1 103.0	475.0	311.00	65.37	37.98
Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub>	16.7~186.0	72.8	60.40	82.99	5.82
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60.3~636.0	252.0	203.00	80.43	20.14
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.9~123.0	47.1	36.80	78.24	3.76
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.1~25.9	10.6	7.51	71.20	0.84
总量	335.0~2 977.0	1 251.0	939.00	75.08	100.00

3 结论

对云南省保山市 17 种不同茶叶样品进行了轻稀土元素(La,Ce,Pr,Nd,Sm,Eu)质量分数分析,结果表明,LREE 在红茶、绿茶和普洱茶中质量分数丰度变化趋势一致,符合 REE 排序规律的奥多-哈金斯法则.不同种类茶叶中 LREE 质量分数差异大,表现为:绿茶>普洱茶>红茶,其质量分数差异高低除与茶叶样本数量多少有关外,可能与茶叶种类、产地有关.其中普洱茶中 REOs 质量分数超国家食品安全限量标准(2.0 mg/kg),比例较高,情况不容乐观,可能与不同茶叶品种所选择的原料生长成熟度有关,具体原因有待进一步研究分析.

各 LREO 质量分数占总量高低顺序为:CeO<sub>2</sub>>La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>>Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>>Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>>Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>>Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,与文献报道一致,CeO<sub>2</sub>,La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>这 3 种氧化物占 LREOs 质量分数的 89.57%.LREO 在茶叶中的质量分数差异明显,表现为:La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>>Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>>Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>>Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>>Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>>CeO<sub>2</sub>.但总体质量分数差异较小,说明各茶叶中 LREO 质量分数丰度模式相似,不同茶叶间质量分数差异,原因可能是由于土壤背景值差异引起.本研究可为茶叶产地鉴别提供科学依据.

[参考文献]

[1] MIGASZEWSKI Z M,GAHUSZKA A. The Characteristics, occurrence, and geochemical behavior of rare earth elements

in the environment[J]. Critical Reviews in Environmental Science and Technology,2015,45:429-471.

[2] 杨维东,王艇,雷衡毅,等. 稀土生物效应研究进展[J]. 稀土,2000,21(3):62-70.

[3] 陈巧,李明晖,林丽容,等. 闽东茶区土壤、树根、茶叶稀土含量测定及相关性的研究[J]. 质量技术监督研究,2013,28(4):19-23.

[4] 骆和东,王文伟,王婷婷,等. 福建省地产茶叶中稀土元素残留状况的研究[J]. 中国食品卫生杂志,2014,26(6):609-615.

[5] 宁蓬勃,龚春梅,张彦明,等. 应用 ICP-AES 法研究云南普洱茶稀土含量[J]. 光谱学与光谱分析,2010,30(10):2830-2833.

[6] 聂刚,梁灵,李忠宏,等. 陕南茶叶稀土元素产地特征研究[J]. 中国稀土学报,2014,32(6):758-763.

[7] 汪东风,赵贵文,叶盛. 茶叶中稀土元素的组成及存在状态[J]. 茶叶科学,1999,19(1):41-46.

[8] 刘宏程,林昕,和丽忠,等. 基于稀土元素含量的普洱茶产地识别研究[J]. 茶叶科学,2014,34(5):451-457.

[9] 王建荣,薛传东,黄河远,等. 滇西保山核桃坪铅锌矿床稀土元素地球化学特征及其成因意义[J]. 现代地质,2014,28(4):721-730.

[10] 宋维希,刘本英,矣兵,等. 云南茶树优异种质资源的鉴定评价与筛选[J]. 茶叶科学,2011,31(1):45-52.

[11] 杨秀芳,徐建峰,翁昆,等. 茶树成熟新梢不同部位元素含量研究[J]. 中国茶叶加工,2008(3):18-20.

[12] 陈锋. 福建省武夷岩茶中稀土元素的研究[D]. 福州:福建农林大学,2014.

