

滇西茶产区普洱茶中稀土元素及其氧化物含量分布调查

缪德仁, 杨婉秋*

(昆明学院 化学科学与技术系, 云南 昆明 650214)

摘要: 采用 ICP-MS 测定法对滇西的临沧、大理、保山和德宏 4 个茶产区 50 件普洱茶样品中的 16 种稀土元素 (REEs) 的含量进行分析. 结果表明, 各样品中 Ce 含量最高, Lu 和 Tm 含量最低, 样品中各 REEs 含量由高到低的顺序为: $w(\text{Ce}) > w(\text{La}) > w(\text{Nd}) > w(\text{Y}) \gg w(\text{Pr}) > w(\text{Sm}) \approx w(\text{Gd}) \approx w(\text{Sc}) > w(\text{Dy}) > w(\text{Yb}) \approx w(\text{Er}) > w(\text{Eu}) > w(\text{Ho}) > w(\text{Tb}) > w(\text{Tm}) > w(\text{Lu})$. 各茶叶中稀土氧化物含量 (REOs) 分析结果显示, 77.8% 的普洱熟茶和 6.3% 的普洱生茶中 REOs 均超过 2.0 mg/kg. 造成不同产区茶叶中 REOs 含量比例差异的原因有待进一步深入研究.

关键词: 滇西茶产区; 普洱茶; 稀土元素; 稀土氧化物

中图分类号: TS272.7 文献标识码: A 文章编号: 1674 - 5639 (2018) 06 - 0027 - 05

DOI: 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2018.06.006

Investigation of Rare Earth Elements and Oxides in Puer Tea from Western Tea Production Areas of Yunnan Province

MIAO Deren, YANG Wanqiu*

(Department of Chemical Science and Technology, Kunming University, Kunming, Yunnan, China 650214)

Abstract: The 16 rare earth elements (REEs) in 50 Pu'er tea samples, collected from western tea production areas of Yunnan Province (Lincang, Dali, Baoshan and Dehong), were analyzed by using ICP-MS analysis method. The results showed that the concentration of Ce is the highest in the whole REEs, and the Lu and Tm are the lowest. The concentration of REEs in the descending order is $w(\text{Ce}) > w(\text{La}) > w(\text{Nd}) > w(\text{Y}) \gg w(\text{Pr}) > w(\text{Sm}) \approx w(\text{Gd}) \approx w(\text{Sc}) > w(\text{Dy}) > w(\text{Yb}) \approx w(\text{Er}) > w(\text{Eu}) > w(\text{Ho}) > w(\text{Tb}) > w(\text{Tm}) > w(\text{Lu})$. The results of total rare earth oxide (REOs) analysis indicated that the concentrations of REOs are both higher than 2.0 mg/kg in the 77.8% of Pu'er ripe tea and the 6.3% of Pu'er raw tea. Further study should be conducted to insight the reasons caused the difference of the ratio of REOs in the different tea production areas.

Key words: western tea production areas of Yunnan; Puer tea; Rare earth element; Rare earth oxide

普洱茶经晒青、发酵等特定工艺制作而成,是具有鲜明的地理标志产品之一 (GB 22111—2008), 通常分为普洱生茶和普洱熟茶. 因其具有突出的减肥、降脂、抗肿瘤、抗氧化等功效^[1], 备受青睐. 然而, 随着其销量的增长, 现有市场上的普洱茶鱼龙混杂, 因此, 能否有效识别其原产地是维护消费者权益的基础和保障. 研究^[2]表明, 茶叶中稀土元素的含量随茶园土壤稀土元素背景值含量的差异而表现出不同的分布特征. 林昕等^[3]、刘宏程

等^[4]对普洱茶中稀土元素含量进行分析, 探讨基于稀土元素含量变化特征的普洱茶三大主产区 (西双版纳傣族自治州、普洱市、临沧市) 产地识别的可行性. 结果表明, 采用茶叶中稀土元素含量的变化特征可以有效地进行产地识别.

稀土元素 (Rare earth element, REE) 是钪副族镧系元素 (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) 及与其紧密相连的 Sc 和 Y 等 16 种元素, 分为轻稀土元素 (LREE) 和重稀土元素

收稿日期: 2018 - 10 - 18

基金项目: 第六批云南省高校重点实验室建设项目 “云南省高校食品安全检测技术重点实验室”.

作者简介: 缪德仁 (1969—), 男, 云南丽江人, 教授, 博士, 主要从事环境分析和食品分析研究.

* 通讯作者: 杨婉秋 (1980—), 女, 云南昆明人, 副教授, 博士, 主要从事环境及食品分析研究, E-mail: amyfall@163.com.

(HREE) 两组,具有一定的生物蓄积毒性^[5]. 在现已废止的国家食品安全标准 (GB 2762—2012)《食品中污染物限量》中曾限定了茶叶中稀土元素的总量不得超过 2.0 mg/kg. 尽管在现行国家食品安全标准 GB 2762—2017 中取消了稀土元素含量的限定值,但对茶叶中稀土元素及其氧化物含量进行分析,获取不同产区茶叶中稀土元素含量的分布特征,进而为原产地溯源提供可行性仍极具现实意义.

云南西部的临沧、大理、保山和德宏是普洱茶的主要产区,该区域的地质构造复杂,矿产资源丰富,部分地区出现强烈的 REE 富集^[6]. 目前,关于这些产区所产普洱茶中稀土元素含量分布研究的报道较少,本研究拟采用 ICP-MS 测定法对现场采集的各产区茶叶样品中的稀土元素及其氧化物含量进行分析,探讨其分布特征,以期为该产区茶叶的原产地鉴别和溯源研究提供数据支撑.

1 材料与方法

1.1 实验材料

2015 年 1 月—2016 年 12 月,通过市场采集方式获得滇西临沧、大理、保山、德宏 4 个茶叶产区普洱茶样品共 50 件,各茶叶样品的采集信息汇总于表 1.

表 1 茶叶产地及种类

茶叶产地	茶叶种类	样品编号	样品数量/件
临沧产区	普洱生茶	LCPE	17
	普洱熟茶	LCPU	5
大理产区	普洱生茶	DLPE	6
	普洱熟茶	DLPU	4
保山产区	普洱生茶	BSPE	5
	普洱熟茶	BSPU	5
德宏产区	普洱生茶	DHPE	4
	普洱熟茶	DHPU	4

1.2 仪器及试剂

分析仪器为电感耦合等离子质谱 (ICP-MS, 美国 Agilent, 7700e).

硝酸、高氯酸均为优级纯,实验用水为 Milli Q 纯水仪所制超纯水;单元素稀土标准溶液 (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Sc, Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu): 1 000 mg/mL, 购自国家有色金属及电子材料分析测试中心;调谐溶液为锂、钴、钇、铈、铈混合标准溶液 (美国 Agilent, 5188-6564);内标溶液为铈、铕标准溶液 (国家有色金属及电子材料分析测试中心).

1.3 实验方法

准确称取茶叶样品干粉 2.000 g 置于锥形瓶中,加入高氯酸 5 mL,硝酸 25 mL,浸泡过夜,置于电热板上加热消解,至溶液呈无色澄清,赶酸,冷却至室温,以硝酸溶液 (2%) 多次洗涤后,定容至 200 mL. 同法制备空白样品,每件样品平行 3 份.

优化 ICP-MS 仪器条件,调整测试参数,使仪器的分辨率、稳定性、氧化物、双电荷、灵敏度等指标满足检测,然后进行测定.

2 结果与讨论

2.1 稀土元素 (REE) 含量

采用 ICP-MS 法对供试茶叶样品中各稀土元素 (Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb 和 Lu) 的含量进行定量分析,结果汇总于表 2 及续表 2 之中.

由检测结果可知,本次所测普洱茶供试样品中 16 个 REE 含量差异显著,各样品中以 Ce 含量最高, Lu 和 Tm 含量最低,REE 含量高低顺序: $w(\text{Ce}) > w(\text{La}) > w(\text{Nd}) > w(\text{Y}) > w(\text{Pr}) > w(\text{Sm}) \approx w(\text{Gd}) \approx w(\text{Sc}) > w(\text{Dy}) > w(\text{Yb}) \approx w(\text{Er}) > w(\text{Eu}) > w(\text{Ho}) > w(\text{Tb}) > w(\text{Tm}) > w(\text{Lu})$. 各元素含量高低顺序与杨婉秋等^[7]、肖涵等^[8]、陈巧等^[9]、宁蓬勃等^[10]、聂刚等^[3]所报道的元素顺序基本一致.

表 2 供试茶叶样品中稀土元素的含量

样品编号	元素及含量/($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)							
	Sc	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
LCPE ($n=17$)	33.7 \pm 25.3	125.0 \pm 64.0	190 \pm 150	330 \pm 260	38.2 \pm 31.3	142 \pm 114	28.5 \pm 21.7	6.3 \pm 3.7
LCPU ($n=5$)	77.9 \pm 34.9	346.0 \pm 147.0	512 \pm 194	775 \pm 310	104.0 \pm 41.0	382 \pm 151	78.1 \pm 34.1	16.5 \pm 7.6
DLPE ($n=6$)	45.7 \pm 21.2	142.2 \pm 47.5	228 \pm 97	407 \pm 168	46.2 \pm 19.5	174 \pm 73	34.2 \pm 14.0	8.1 \pm 3.1
DLPU ($n=4$)	71.4 \pm 19.5	346.0 \pm 38.0	508 \pm 54	863 \pm 130	106.0 \pm 12.0	390 \pm 48	77.9 \pm 10.8	16.4 \pm 2.0
BSPE ($n=5$)	20.7 \pm 0.8	133.0 \pm 12.0	214 \pm 29	360 \pm 41	45.2 \pm 16.5	164 \pm 28	39.0 \pm 15.6	8.0 \pm 1.7
BSPU ($n=5$)	63.6 \pm 23.2	407.0 \pm 150.0	667 \pm 241	708 \pm 168	119.0 \pm 43.0	422 \pm 146	78.8 \pm 26.7	17.0 \pm 4.6
DHPE ($n=4$)	26.6 \pm 1.8	188.0 \pm 19.0	294 \pm 17	429 \pm 80	54.0 \pm 5.3	192 \pm 18	38.6 \pm 3.3	8.1 \pm 2.4
DHPU ($n=4$)	59.1 \pm 46.1	317.0 \pm 278.0	425 \pm 280	627 \pm 429	84.6 \pm 59.6	308 \pm 220	62.1 \pm 46.7	10.8 \pm 7.7

续表 2

样品编号	元素及含量/($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)							
	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
LCPE ($n=17$)	27.4 \pm 19.4	4.16 \pm 2.54	22.1 \pm 13.1	4.51 \pm 2.36	12.9 \pm 6.4	2.07 \pm 0.89	12.2 \pm 5.2	1.95 \pm 0.78
LCPU ($n=5$)	79.0 \pm 30.8	11.20 \pm 5.00	61.6 \pm 28.2	12.40 \pm 5.50	35.8 \pm 17.6	5.54 \pm 2.55	35.8 \pm 17.6	5.30 \pm 2.56
DLPE ($n=6$)	33.4 \pm 13.3	4.89 \pm 1.75	25.3 \pm 9.0	5.14 \pm 1.77	14.0 \pm 4.8	2.07 \pm 0.64	12.0 \pm 3.5	1.92 \pm 0.57
DLPU ($n=4$)	75.7 \pm 10.2	11.50 \pm 1.60	61.9 \pm 9.1	12.30 \pm 1.50	34.9 \pm 4.4	5.17 \pm 0.65	32.1 \pm 4.0	4.75 \pm 0.74
BSPE ($n=5$)	35.8 \pm 7.7	6.21 \pm 2.56	20.3 \pm 1.3	6.96 \pm 3.10	10.2 \pm 1.9	4.35 \pm 2.01	24.5 \pm 14.9	2.94 \pm 1.54
BSPU ($n=5$)	76.0 \pm 25.2	11.50 \pm 3.90	62.1 \pm 27.3	13.80 \pm 4.90	42.1 \pm 15.3	6.79 \pm 2.59	45.8 \pm 18.6	7.21 \pm 2.79
DHPE ($n=4$)	40.2 \pm 5.2	5.35 \pm 0.53	29.4 \pm 3.5	6.10 \pm 0.95	19.7 \pm 2.8	2.55 \pm 0.39	19.5 \pm 3.2	2.41 \pm 0.46
DHPU ($n=4$)	61.1 \pm 49.1	9.61 \pm 8.15	54.7 \pm 47.6	11.10 \pm 9.60	31.8 \pm 27.4	4.93 \pm 4.28	31.9 \pm 26.5	4.63 \pm 3.80

REEs 在不同产区茶叶中含量差异显著. 由 REE 在不同茶叶样品中的含量 (图 1) 变化分析可知, REE (除 Sc 和 Y 两个元素外) 在临沧、大理、保山、德宏 4 个产区普洱茶中变化趋势基本一致, 呈现出 REE 的含量随原子序数增加而减少, 且偶数原子序数 REE 的含量高于相邻奇数序数 REE 的含量, 符合 REE 含量的原子序数奇偶规则 (REE 排序的奥多·哈金斯法则). 其中, La 元素在 BSPU 样品中表现出高度富集, 可能与保山所处的澜沧江、怒江、伊洛瓦底江“三江”流域土壤中 REEs 的含量背景值较高, 且其中轻稀土元素 (HREEs) 强烈富集^[6], 而单一 REE 在植物中的富集程度主要取决于该元素在土壤中的有效态含量^[11]有关, 但具体原因有待后续深入研究.

不同普洱茶种类中 REEs 的含量变化趋势一致. 比较而言, 普洱生茶中 REEs 的含量均低于普洱熟茶, 与宁蓬勃等^[9]报道一致, 造成该含

量差异的原因可能是茶原料的叶片老嫩程度引起.

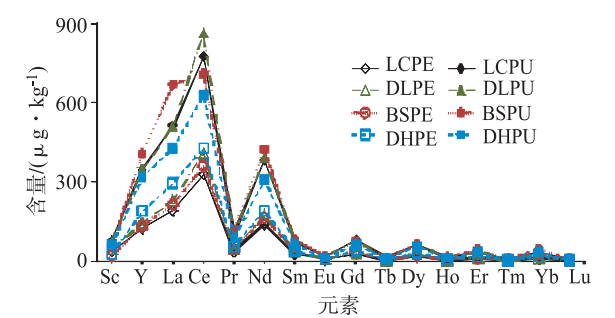


图1 不同产区普洱茶中稀土元素的含量

2.2 稀土元素氧化物 (REO) 含量

各 REE 的常见氧化物有所差异. 根据我国食品安全标准 (GB 5009.94—2012)《植物性食品中稀土元素的测定》, 将不同茶叶中各 REE 换算为其常见氧化物 (换算系数见表 3), 所得结果汇总于表 4 和表 5 之中.

表 3 REEs 原子序数及其氧化物换算系数

元素	原子序数	相对原子质量	氧化物	相对分子质量	换算系数*
轻稀土元素 (LREEs)	La	57	La ₂ O ₃	325.8	1.173
	Ce	58	CeO ₂	172.1	1.228
	Pr	59	Pr ₆ O ₁₁	1 021.4	1.208
	Nd	60	Nd ₂ O ₃	336.4	1.166
	Sm	62	Sm ₂ O ₃	348.8	1.160
	Eu	63	Eu ₂ O ₃	352.0	1.158
重稀土元素 (HREEs)	Gd	64	Gd ₂ O ₃	362.6	1.153
	Tb	65	Tb ₄ O ₇	747.6	1.176
	Dy	66	Dy ₂ O ₃	373.0	1.148
	Ho	67	Ho ₂ O ₃	377.8	1.146
	Er	68	Er ₂ O ₃	382.6	1.143
	Tm	69	Tm ₂ O ₃	385.8	1.142
	Yb	70	Yb ₂ O ₃	394.0	1.139
	Lu	71	Lu ₂ O ₃	398.0	1.137
	Sc	21	Sc ₂ O ₃	137.9	1.534
	Y	39	Y ₂ O ₃	225.8	1.270

注: * 换算系数为各 REE 换算为 REO 的换算系数.

表 4 供试茶叶样品中稀土元素氧化物总量

茶叶种类	REOs			超标率 [*] /%
	平均值/(mg·kg ⁻¹)	SD/(mg·kg ⁻¹)	检出范围/(mg·kg ⁻¹)	
LCPE (n=17)	1.19	0.86	0.31~3.78	5.9
LCPU (n=5)	3.07	1.22	1.13~4.27	80.0
DLPE (n=6)	1.43	0.58	0.80~2.37	16.7
DLPU (n=4)	3.17	0.37	2.72~3.62	100.0
BSPE (n=5)	1.32	0.15	1.14~1.49	0.0
BSPU (n=5)	3.32	1.04	1.90~4.15	80.0
DHPE (n=4)	1.64	0.14	1.47~1.80	0.0
DHPU (n=4)	2.55	1.86	0.53~4.74	50.0

注: * GB 2762—2012 国家标准中 REOs 限量标准为 2.0 mg/kg.

由换算所得的 REOs 含量 (表 4) 可知, 不同种类普洱茶中 REOs 含量差异较大, 含量最高的 BSPU 中 REOs 含量是最低的 LCPE 的 2.8 倍, 不同茶叶样品中 REOs 含量高低顺序为: $w(\text{BSPU}) > w(\text{DLPU}) > w(\text{LCPU}) > w(\text{DHPU}) > w(\text{DHPE}) > w(\text{DLPE}) > w(\text{BSPE}) > w(\text{LCPE})$.

同一种类茶叶间 REOs 的含量差异明显. DHPU 和 LCPE 样品中 REOs 的含量差别最大, 其相对平均偏差分别为 72.9% 和 72.2%; DLPE、LCPU 和 BSPU 的样品含量差别较大, 含量相对平均偏差分别为 40.0%、39.8% 和 31.2%; DLPU、BSPE 和 DHPE 样品间含量差别较小, 含量相对平均偏差分别为 11.8%、11.7% 和 8.3%.

不同茶叶样品中稀土元素含量 (以氧化物计) 差异突出, REOs 含量最高的 (4.74 mg/kg) 与含量最低 (0.31 mg/kg) 相差 15.3 倍. 根据 (GB 2762—2012)《食品中污染物限量》中 REOs 限量为 2.0 mg/kg, 50 份普洱茶样品中, 15 份 REOs 含量超出该限量标准, 总超标率为 30%. 32 份普洱生茶中共有 2 份超标, 超标率为 6.3%, 分别来自

LCPE 和 DLPE. 18 份普洱熟茶中共有 14 份样品超标 (超标率为 77.8%), 分别为 DHPU 2 份 (超标率为 50%), LCPU 和 BSPU 各 4 份 (超标率均为 80%), DLPU 5 份 (超标率 100%). 普洱熟茶中 REOs 含量超原国家食品安全限量标准比例较高, 情况不容乐观. 宁蓬勃等^[10]研究显示, 普洱熟茶中稀土氧化物 (REO) 超标情况严重, 可能与制茶工艺及茶叶叶片老嫩程度有关. 杨秀芳等^[12]和陈锋^[13]研究表明, 茶叶生长周期越长, 叶片成熟度越高, 其积累的 REE 含量越高. 普洱生茶制茶过程中通常选择一芽二叶或一芽三叶等叶片成熟度相对较高的鲜叶作为原料, 而普洱熟茶通常选择生长成熟度更高的第二、三叶茶叶甚至老叶作为原料, 因此导致普洱熟茶中 REOs 含量较高.

不同产区普洱茶中 REOs 有所差异. 保山产区所产普洱茶中 REOs 的含量 (2.32 mg/kg) 最高, 大理产区的 (2.13 mg/kg) 次之, 德宏产区的 (2.09 mg/kg) 再次之, 临沧产区的 (1.62 mg/kg) 最少, REOs 含量差异的大小可能与茶叶产地土壤背景值有关.

表 5 供试茶叶样品中 REO 分布比例

样品编号	REO 及其分布比例/%															
	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Sc ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃
LCPE	18.77	34.01	3.88	13.88	2.78	0.61	4.34	13.31	2.65	0.41	2.13	0.43	1.24	0.20	1.16	0.19
LCPU	19.54	30.94	4.07	14.48	2.94	0.62	3.89	14.30	2.96	0.43	2.30	0.46	1.33	0.21	1.33	0.20
DLPE	18.61	34.72	3.88	14.09	2.76	0.65	4.87	12.55	2.68	0.40	2.01	0.41	1.12	0.16	0.95	0.15
DLPU	18.80	33.43	4.02	14.33	2.85	0.60	3.46	13.87	2.75	0.43	2.24	0.45	1.26	0.19	1.15	0.17
BSPE	18.99	33.42	4.13	14.50	3.42	0.70	2.40	12.78	3.12	0.55	1.76	0.60	0.88	0.38	2.11	0.25
BSPU	23.59	26.21	4.35	14.83	2.76	0.59	2.94	15.56	2.64	0.41	2.15	0.48	1.45	0.23	1.57	0.25
DHPE	21.04	32.17	3.99	13.67	2.74	0.57	2.49	14.55	2.83	0.38	2.06	0.43	1.37	0.18	1.35	0.17
DHPU	19.56	30.22	4.01	14.10	2.82	0.49	3.56	15.79	2.76	0.44	2.46	0.50	1.42	0.22	1.43	0.21

不同产区茶叶中 REO 的丰度 (占 REOs 的比例) 也有所差异. 普洱生茶中 CeO₂ 的 REO 分布比例均高于普洱熟茶, 而普洱生茶中 Pr₆O₁₁, Nd₂O₃,

Y₂O₃, Dy₂O₃, Er₂O₃ 和 Lu₂O₃ 这 6 种的 REO 分布比例均低于普洱熟茶. 保山产区的普洱生茶中 Sm₂O₃, Tb₄O₇, Ho₂O₃, Tm₂O₃ 和 Yb₂O₃ 这 5 种的

REO 分布比例高于该产区的普洱熟茶, 与其余产区趋势相反, 可能与保山产区土壤背景值及该区域的矿产分布有关, 后续可作为该产区茶叶溯源的指标进行深入探究。

各产区普洱茶中 LREOs 所占比例处于 71% ~ 75% 之间 (图 2), 与福建乌龙茶^[14] 所占比例相似, 且同一产区普洱熟茶 HREOs 比例均高于普洱生茶, 说明滇西普洱茶中 REOs、LREOs 和 HREOs 有相似的丰度模式。不同种类茶叶间含量差异可能由制茶工艺和原料叶片的老嫩程度差异引起, 而不同产区茶叶间含量差异可能由产区土壤背景值差异所致, 这可为茶叶产地的鉴别及溯源研究提供数据基础。

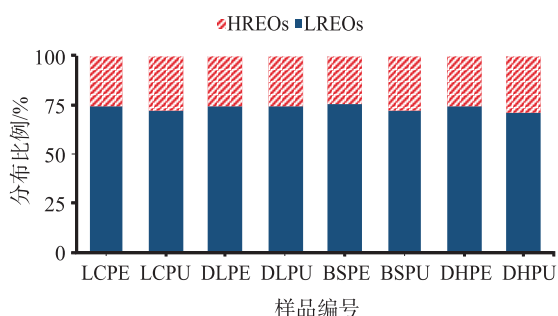


图2 供试茶叶样品中HREOs和LREOs分布比例

3 结论

对滇西临沧、大理、保山、德宏 4 个茶产区 50 件普洱茶样品中 16 种稀土元素 (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Sc, Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb 和 Lu) 含量进行了分析, 结果表明, 本次所测普洱茶供试样品中 16 个 REE 含量差异显著, 各样品中以 Ce 含量最高, Lu 和 Tm 含量最低, REE 含量高低顺序为: $w(\text{Ce}) > w(\text{La}) > w(\text{Nd}) > w(\text{Y}) > w(\text{Pr}) > w(\text{Sm}) \approx w(\text{Gd}) \approx w(\text{Sc}) > w(\text{Dy}) > w(\text{Yb}) \approx w(\text{Er}) > w(\text{Eu}) > w(\text{Ho}) > w(\text{Tb}) > w(\text{Tm}) > w(\text{Lu})$. REE 在普洱生茶、普洱熟茶中含量变化趋势一致, 符合奥多一哈金斯法则。

普洱生茶中各 REE 的含量均低于普洱熟茶, 不同供试茶叶样品中 REOs 含量高低顺序为: $w(\text{BSPU}) > w(\text{DLPU}) > w(\text{LCPU}) > w(\text{DHPU}) > w(\text{DHPE}) > w(\text{DLPE}) > w(\text{BSPE}) > w(\text{LCPE})$. 对比而言, 77.8% 的普洱熟茶样品和 6.3% 的普洱生茶样品中 REOs 含量超过 2.0 mg/kg 国家食品安全限量标准 (GB 2762—2012)。而 REOs 含量较高,

可能与普洱熟茶原料生长成熟度有关。不同产地 REO 的含量比例有所差异, 可能与茶园中土壤 REEs 的背景值高低有关, 但具体原因有待进一步研究分析。

[参考文献]

- [1] 金裕范. 不同产地、加工工艺及储存年限普洱茶化学成分和药理活性的比较研究 [D]. 北京: 北京中医药大学, 2012.
- [2] 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.
- [3] 林昕, 王丽, 兰珊珊, 等. 云南普洱茶产地微量元素的指纹溯源 [J]. 现代食品科技, 2018, 34 (8): 231 - 239.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 杨婉秋, 葛丹丹, 刘丹丹. 云南省保山市不同种类茶叶中轻稀土元素分析 [J]. 昆明学院学报, 2015, 37 (3): 25 - 29.
- [8] 肖涵, 冯雷, 李烨. 云南省普洱市茶叶中轻稀土元素含量调查 [J]. 昆明学院学报, 2015, 37 (6): 44 - 48.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 张智勇, 李福亮, 王玉琦, 等. 土壤: 植物体系稀土元素的分异现象 [J]. 中国稀土学报, 2002, 20 (1): 94 - 96.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 陈磊, 林锻炼, 高志鹏, 等. 稀土元素在茶园土壤和乌龙茶中的分布特性 [J]. 福建农林大学学报 (自然科学版), 2011, 40 (6): 595 - 601.