

山西野生连翘主产地连翘叶中 15 种 稀土元素的调查

杜 兴^{1,2}, 郭舒岗², 郝晓宏³, 张加玲^{1*}

(1. 山西医科大学公共卫生学院, 太原 030000; 2. 山西省疾病预防控制中心, 太原 030012)

摘 要: **目的** 调查山西野生连翘主产地安泽县、陵川县、平定县、古县的连翘叶中 15 种稀土元素的含量水平及 15 种稀土总量、轻稀土总量、重稀土总量的分布特征。**方法** 采集四县 2018 年 5 月、6 月、7 月产野生连翘叶, 样品经高压罐消解后, 采用电感耦合等离子体质谱仪检测 15 种稀土元素的含量, 用 SPSS 23 对数据进行分析。**结果** 样品中 15 种天然稀土元素均检出, 铈(Ce)、镧(La)、钕(Nd)、钇(Y)共占稀土总量的 84.3%~92.3%, Ce 含量最高, 铥(Tm)、镱(Lu)含量最低。轻稀土总量占稀土总量的 76.1%~86.7%, 是重稀土总量的 3.2~6.5 倍。稀土总量、重稀土总量均存在时间差异性($P<0.05$)。稀土总量、轻稀土总量、重稀土总量均存在地区差异性($P<0.05$)。**结论** 野生连翘叶中 15 种稀土总量、轻稀土总量、重稀土总量存在一定的时间差异性和地区差异性。

关键词: 野生连翘叶; 稀土元素; 电感耦合等离子体质谱仪

Investigation on 15 rare earth elements in *Forsythia suspensa* leaves of the main producing area of Shanxi wild forsythia

DU Xing^{1,2}, GUO Shu-Gang², HAO Xiao-Hong³, ZHANG Jia-Ling^{1*}

(1. School of Public Health, Shanxi Medical University, Taiyuan 030000, China; 2. Shanxi Center for Disease Control and Prevention, Taiyuan 030012, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the content of 15 rare earth elements in the leaves of *Forsythia suspensa* in the main producing areas of wild *Forsythia* in Shanxi (Anze county, Lingchuan county, Pingding county and Guxian County), and research the distribution of 15 rare earths, total light rare earths and total rare earths. **Methods** The wild *Forsythia suspensa* leaves were collected from these 4 counties of May, June and July of 2018. After the sample was digested by high pressure tank, the contents of 15 rare earth elements was detected by inductively coupled plasma mass spectrometry, and the data was analyzed by SPSS 23. **Results** All of 15 natural rare earth elements were detected. Ce, La, Nd and Y were accounting for 84.3%~92.3% of the total rare earth elements, of which Ce was the most abundant and Tm and Lu were the lowest. The total amount of light rare earths accounted for 76.1%~86.7% of the total amount of rare earths, which was 3.2~6.5 times of the total amount of heavy rare earths. The total amount of rare earth and heavy rare earth had time difference ($P<0.05$). There were regional differences in the total amount of rare earths, the total amount of light rare earths and the total amount of heavy rare earths ($P<0.05$). **Conclusion** There are some time differences and regional differences in the total amount of 15 rare earths, the total amount of light rare earths and

*通讯作者: 张加玲, 教授, 主要研究方向为卫生检验。E-mail: 532824420@qq.com

*Corresponding author: ZHANG Jia-Ling, Professor, School of Public Health, Shanxi Medical University, Taiyuan, 030000, China. E-mail: 532824420@qq.com

the total amount of heavy rare earths in wild *Forsythia* leaves.

KEY WORDS: wild *Forsythia suspensa* leaves; rare earth elements; inductively coupled plasma mass spectrometry

1 引 言

连翘是双子叶植物纲、捩花目、木犀科、连翘属落叶灌木, 始载于《神农本草经》, 宋代之后中药野生连翘多采用木犀科连翘为基原^[1]。山西的野生连翘资源主要分布于中条山、太岳山、太行山南部和吕梁山的南部, 约占全国的野生连翘资源的 40%以上^[2,3]。

人们习惯上把连翘植物的果实简称连翘, 它是一种药食同源的原材料。综合文献报道, 连翘及其分离得到的单体化合物具有抗菌、抗炎、抗病毒、保肝、抗肿瘤、免疫调节和抗氧化^[4-10]的作用。研究表明连翘叶与连翘果的有效成分^[11]具有较好的一致性。连翘叶在山西民间作为滋补饮品的应用历史悠久, 连翘茶作为保健饮品对咽喉红痛等症有明显功效同时具有清除自由基和抗氧化作用^[12,13]。

稀土元素^[14]是位于元素周期表中第 III B 族, 包括镧系的 15 种元素和相邻的铈(Sc)、钇(Y)共 17 种元素, 按其电子层结构、理化性质、矿物中的共生情况、离子半径等特征可分为轻稀土元素(镧 La、铈 Ce、镨 Pr、钕 Nd、钷 Pm、钐 Sm、铕 Eu)和重稀土元素(钆 Gd、铽 Tb、镝 Dy、钬 Ho、铒 Er、铥 Tm、镱 Yb、镱 Lu、铪 Sc 和钇 Y)。低剂量的稀土元素具有类激素的作用, 可通过人类生活环境经食物链和食物网等多种途径积累于人体内, 稀土元素对人群健康的影响, 逐渐受到医学界的关注, 对人群健康的影响为人们重视^[15-17]。

山西作为全国野生连翘资源分布的主要地区, 政府非常重视野生连翘产业的发展。山西省连翘叶茶的小型企业有十几家。由于稀土元素潜在的蓄积毒性越来越受到医学界的关注, 野生连翘叶作为连翘茶的原材料, 其中的稀土元素与消费人群健康息息相关, 野生连翘叶中的稀土元素本底含量值得关注。

目前尚未见连翘茶原料连翘叶中稀土元素研究的相关报道, 本研究分析野生连翘叶中稀土元素的现状, 对不同主产地、不同月份的稀土元素总量、轻稀土元素总量、重稀土元素总量进行比较、分析, 了解其分布特征, 以期初步了解山西省野生连翘主产地连翘叶中稀土元素的含量水平, 为消费群体提供健康指导, 为食品原料用连翘叶资源的科学、合理、持续性开发利用提供数据支撑。

2 材料与方 法

2.1 仪器与试剂

iCAP Q 电感耦合等离子体质谱仪(美国 Thermo 公司); 熊猫高温烘箱(南京实验仪器厂); 高压消解罐(西安仪创);

SQP 电子天平(赛多利斯科学仪器有限公司)。

混合标准溶液(1000 $\mu\text{g/mL}$): Y、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu(国家有色金属及电子材料分析测试中心); 内标液(1000 $\mu\text{g/mL}$): Rh、In、Re 单元素标准溶液(美国 Inorganic Ventures 公司); 灌木枝叶标准物质(GBW07603)(中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所); 硝酸(UP 级, 苏州瑞晶化学股份有限公司); 过氧化氢(优级纯, 国药集团化学试剂有限公司); 氢氟酸(优级纯, 天津市福晨化学试剂厂); 实验用水为一级水。

2.2 实验方法

2.2.1 样品采集

连续采集山西野生连翘主产地安泽县、陵川县、平定县、古县 30 个采样点 2018 年 5 月、6 月、7 月共计 90 份野生纯天然、未添加任何物质、感官正常的野生连翘叶, 作为样品制备的原材料。

2.2.2 样品预处理

将每个采样点采集的连翘叶混合均匀, 阴干后按四分法缩分至 500 g, 经粉碎后分装于一次性塑封袋, 每袋 100 g 左右确保密封保存, 做好标记用于检测, 样品放置于 4~6 $^{\circ}\text{C}$ 的冷藏环境保存。

将粉碎均匀的样品称取 5 g 左右(精确至 0.0001 g)置于恒重后的称量瓶中, 放入 101~105 $^{\circ}\text{C}$ 干燥箱中 2~4 h 后取出放入干燥器内冷却 0.5 h 后称量, 并重复以上操作至恒重。

2.2.3 样品消解方法

称取 0.5 g(精确到 0.0001 g)茶叶干粉样品于聚四氟乙烯消解罐中, 加入 5 mL HNO_3 , 1 mL H_2O_2 及 400 μL HF 浸泡过夜, 旋紧不锈钢外套, 放入 140~160 $^{\circ}\text{C}$ 恒温干燥箱中保持 4~6 h, 待箱内自然冷却至室温, 取出消解罐内罐超声脱气、赶酸 10~20 min, 用去离子水将消化液定量转入 50 mL 容量瓶中, 将消化液定容至刻度, 同时做空白试验。

2.2.4 样品检测方法

配制浓度为 0、0.05、0.10、0.50、1.00、2.00、5.00 $\mu\text{g/L}$ 的 15 种稀土元素的混合标准溶液, 使用电感耦合等离子体质谱仪采用在线内标法对经高压罐消解的样品中 15 种稀土元素(Y、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu)进行定量检测, 每批次均同时测定灌木枝叶的标准物质用于评价检测结果的准确性。

2.2.5 统计学方法

使用 SPSS 23 软件对 15 种稀土总量、6 种轻稀土总量(镧、铈、镨、钕、钐、铕)、9 种重稀土总量(钆、铽、镝、钬、铒、铥、镱、镱、铪)进行统计学分析。由于数据属于偏态分布, 统计学方法主要采用 Kruskal-Wallis H 检验。

3 结果与分析

3.1 四县 3 个月的野生连翘叶中 15 种稀土元素含量水平

山西野生连翘主产地 4 县 3 个月连翘叶样品中 15 种天然稀土元素均全部检出。以稀土总量计, 5、6、7 月的检测结果分别在 550~2306 $\mu\text{g}/\text{kg}$, $P_{50}=856 \mu\text{g}/\text{kg}$ 、471~1275 $\mu\text{g}/\text{kg}$, $P_{50}=743 \mu\text{g}/\text{kg}$ 、407~3081 $\mu\text{g}/\text{kg}$, $P_{50}=686 \mu\text{g}/\text{kg}$ 之间; 以轻稀土总量计, 5、6、7 月的检测结果分别在 424~1840 $\mu\text{g}/\text{kg}$, $P_{50}=670 \mu\text{g}/\text{kg}$ 、400~1094 $\mu\text{g}/\text{kg}$, $P_{50}=631.5 \mu\text{g}/\text{kg}$ 、342~2559 $\mu\text{g}/\text{kg}$, $P_{50}=578 \mu\text{g}/\text{kg}$ 之间; 以重稀土总量计, 5、6、7 月的检测结果分别在 126~466 $\mu\text{g}/\text{kg}$, $P_{50}=188 \mu\text{g}/\text{kg}$ 、71~181 $\mu\text{g}/\text{kg}$, $P_{50}=113 \mu\text{g}/\text{kg}$ 、65~522 $\mu\text{g}/\text{kg}$, $P_{50}=109 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。

15 种稀土元素分布含量较高的有 4 种, 分别是 Ce, La, Nd, Y, 这 4 种元素总含量约占稀土总量的 84.3%~92.3%; 其中 Ce 的分布比例最大, 其含量约占稀土总量的 35.9%~47.3%; Tm 或 Lu 的分布比例最小, Tm 含量约占稀土总量 0.077%~0.20%; Lu 含量约占稀土总量的 0.09%~0.18%。相关文献曾报道^[18]茶叶中有多种天然稀土元素, 但主要包含 5 种, 分别是 La、Ce、Pr、Y 以及 Nd, 其总含量超过 80%, 与本研究野生连翘叶中所含主要稀土元素种类及其总含量相类似。

山西野生连翘主产地 4 县 3 个月野生连翘叶中的 15 种稀土元素的含量不同, 随地域、时间的变化, 含量表现出不同的特征。轻稀土元素中含量较高是 Ce > La, Nd; 重

稀土元素中含量较高是 Y; 轻稀土元素总量占稀土元素总量的 76.1%~86.7%, 其比例是重稀土元素的 3.2~6.5 倍。相关文献^[19]对不同地区、不同类型的茶叶进行研究, 发现大部分茶叶都表现出对轻稀土元素的富集, 且以镧、铈、钕为主; 福建省乌龙茶中的 15 种稀土元素^[20]结果表明, 以轻稀土元素为主, 其中更以镧、铈、镨、钕和钇为主; 贵州绿茶中和云南省不同种类茶叶中的稀土元素也具有相似分布特征^[21,22]; 相关研究证明^[23]茶叶中轻稀土元素的积累能力比重稀土元素的积累能力更强。本研究野生连翘叶中稀土元素以轻稀土元素为主, 轻、重稀土元素在稀土元素总量中比例说明轻稀土元素和重稀土元素在野生连翘叶中的分布是存在差异的。

3.2 野生连翘叶中稀土总量、轻稀土总量、重稀土总量的时间差异性

由于数据属于偏态分布, 统计学方法主要采用 Kruskal-Wallis H 检验, 结果见表 1。

由上述结果可以看出, 野生连翘叶中稀土总量、重稀土总量 5 月、6 月、7 月存在时间差异性($P < 0.05$)。稀土总量: 与 5 月比, 7 月存在差异, 5 月 > 7 月; 重稀土总量: 与 5 月比, 6 月、7 月存在差异, 5 月 > (6 月、7 月); 轻稀土总量不存在时间差异性。

3.3 野生连翘叶中稀土总量、轻稀土总量、重稀土总量地区差异性

稀土总量、轻稀土总量、重稀土总量在不同地区间的分布结果见表 2。

表 1 3 个月所有采样点稀土总量、轻稀土总量、重稀土总量的分布/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$

Table 1 Distribution of total rare earth, total light rare earth and total heavy rare earth at all sampling sites in 3 months/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$

元素	<i>n</i>	5 月			6 月			7 月			<i>H</i> 值 [#]	<i>P</i>
		<i>M</i>	<i>P</i> ₂₅	<i>P</i> ₇₅	<i>M</i>	<i>P</i> ₂₅	<i>P</i> ₇₅	<i>M</i>	<i>P</i> ₂₅	<i>P</i> ₇₅		
稀土总量	30	856	721	1317	743	537	1087	686*	537	959	8.19	0.02
轻稀土总量	30	670	570	1036	632	463	930	578	447	810	4.29	0.12
重稀土总量	30	188	156	269	113*	78.8	155	109*	89	156	32.4	< 0.001

注: *n* 为样本量; *M* 为中位数; #用非参数的 Kruskal-Wallis H 检验分析不同月份间稀土总量、轻稀土总量、重稀土总量($\mu\text{g}/\text{kg}$), 检验水准 $\alpha = 0.05$, $P < 0.05$, 则认为差别具有统计学意义; *与 5 月份比存在差异。

表 2 稀土总量、轻稀土总量、重稀土总量不同地区间的分布/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$

Table 2 Distribution of total rare earth, total light rare earth and total heavy rare earth in different regions/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$

元素	平定县(<i>n</i> =24)			安泽县(<i>n</i> =30)			古县(<i>n</i> =15)			陵川县(<i>n</i> =21)			<i>H</i> 值 [#]	<i>P</i>
	<i>M</i>	<i>P</i> ₂₅	<i>P</i> ₇₅	<i>M</i>	<i>P</i> ₂₅	<i>P</i> ₇₅	<i>M</i>	<i>P</i> ₂₅	<i>P</i> ₇₅	<i>M</i>	<i>P</i> ₂₅	<i>P</i> ₇₅		
稀土总量	1104*	992	1463	793* [#]	614	886	715* [#]	623	1026	550 [#]	491	687	39	< 0.001
轻稀土总量	946*	779	1159	651* [#]	516	730	602* [#]	521	843	462 [#]	418	553	42	< 0.001
重稀土总量	179*	149	304	148	101	175	139	90	185	90 [#]	73	140	24	< 0.001

注: *n* 为样本量; *M* 为中位数; #用非参数的 Kruskal-Wallis H 检验分析不同地区间稀土总量、轻稀土总量、重稀土总量 ($\mu\text{g}/\text{kg}$), 检验水准 $\alpha = 0.05$, $P < 0.05$, 则认为差别具有统计学意义; *与陵川县相比存在分布差异; #与平定县相比存在分布差异。

由上述结果可以看出: 野生连翘叶中稀土总量、轻稀土总量、重稀土总量均存在地区差异性($P < 0.05$)。稀土总量、轻稀土总量: 平定县 > (安泽县、古县) > 陵川县, 安泽县与古县无显著性差异; 重稀土总量: 平定县 > 陵川县, 其它县两两之间均不存在差异。

4 结论与讨论

山西野生连翘主产地安泽县、陵川县、平定县、古县 5 月、6 月、7 月的野生连翘叶中 15 种稀土元素均有检出, 不同稀土元素含量差异较大, Ce 的含量较高, Tm, Lu 的含量较低; 野生连翘叶中的稀土元素以轻稀土元素为主。本研究结论与陕南茶叶稀土元素产地特征显示茶叶中 La, Ce, Nd 含量较高, Tm, Lu 含量较低^[24]的产地特征较一致。野生连翘叶中稀土元素存在时间差异性, 稀土总量 5 月较 7 月偏高; 重稀土总量 5 月明显高于 6 月、7 月; 野生连翘叶中稀土总量、轻稀土总量、重稀土总量均存在地区差异性, 平定县偏高, 陵川县偏低。

连翘叶中稀土元素的富集是一个复杂的过程, 研究表明稀土总量、重稀土总量存在时间差异性, 轻稀土总量、重稀土总量、稀土总量存在地区差异性, 可能是土壤、水质、气候、环境不同造成的。大气和水对野生连翘叶中稀土元素的富集有影响, 通过野生连翘地上部分吸收进入连翘叶, 也可经土壤影响生长的连翘叶, 不同的月份、不同的产地, 大气和水分是不同的; 连翘叶产地周边企业以及农业产生的废气、废水、废物都可能影响连翘叶中稀土元素含量; 土壤是连翘叶赖以生存的物质基础, 稀土元素在土壤中广泛存在, 连翘叶中各稀土元素是通过连翘树的根系从各土层土壤胶体溶液中吸收, 进入植物体内。

通过本研究初步了解了山西野生连翘主产地安泽县、陵川县、平定县、古县 2018 年 5 月、6 月、7 月的野生连翘叶中 15 种稀土元素的含量水平及其总量、轻稀土元素总量、重稀土元素总量的分布特征, 为食品原料用连翘叶资源的科学、合理、持续性开发利用提供了数据支撑。

参考文献

- [1] 李英霞, 孟庆梅. 连翘的本草考证 [J]. 中药材, 2002, 25(6): 435-437.
Li YX, Meng QM. Forsythia's herbal research [J]. J Chin Med Mater, 2002, 25(6): 435-437.
- [2] 滕训辉. 山西野生连翘资源保护与可持续利用研究[J]. 中国医药导报, 2010, 7(34): 81-82.
Teng XH. Study on the protection and sustainable utilization of wild forsythia resources in Shanxi [J]. Chin Med Herald, 2010, 7(34): 81-82.
- [3] 李建设, 赵嘉真, 倪义斌. 洛南县发展连翘调查报告[J]. 中国林副特产, 2005, (3): 63.
Li JS, Zhao JZ, Ni YB. Luonan county development of forsythia investigation report [J]. Forest By-Prod Spec Chin, 2005, (3): 63.
- [4] 崔一喆, 王秋菊, 朱双, 等. 连翘提取物对常见致病菌的体外抑制活性测定[J]. 畜牧与饲料科学, 2014, 35(z1): 1-2.
Cui YZ, Wang QJ, Zhu S, et al. Determination of antibacterial activity of *Forsythia suspense* extract against common pathogenic bacteria in vitro and in vivo [J]. Anim Husbandr Feed Sci, 2014, 35(z1): 1-2.
- [5] 刘建洲, 张立伟. 基于人呼吸道上皮细胞炎症模型的连翘提取物抗炎活性实验研究[J]. 天然产物研究与开发, 2015, 27(7): 1248-1253.
Liu JZ, Zhang LW. Experimental study on anti-inflammatory activity of *Forsythia suspense* extract based on human airway epithelial cell inflammation model [J]. Nat Prod Res Dev, 2015, 27(7): 1248-1253.
- [6] 陈杨, 李鑫, 周婧瑜, 等. 连翘抗病毒有效部位(LC-4)体外抗呼吸道合胞病毒作用的研究[J]. 卫生研究, 2009, 38(6): 733-735.
Chen Y, Li X, Zhou JY, et al. Study on the anti-respiratory syncytial virus effect of anti-viral effective fraction (LC-4) of *Forsythia suspense* [J]. J Hyg Res, 2009, 38(6): 733-735.
- [7] 冯芹, 夏文凯, 王现珍, 等. 连翘苷元对四氯化碳大鼠急性肝损伤的保护作用[J]. 中国药理学通报, 2015, 4(3): 426-430.
Feng Q, Xia WK, Wang XZ, et al. Protective effect of forsythiaside on acute liver injury in rats with carbon tetrachloride [J]. Chin Pharm Bull, 2015, 4(3): 426-430.
- [8] 孙士萍, 李磊, 戴素丽, 等. 连翘根醇提物对食管癌移植瘤生长的体内抑制作用 [J]. 肿瘤, 2015, 35(1): 1-7.
Sun SP, Li L, Dai SL, et al. In vivo inhibitory effect of ethanol extract of *Forsythia suspensa* on the growth of esophageal cancer xenografts [J]. Tumor, 2015, 35(1): 1-7.
- [9] 张岫秀, 蔡盈, 吴中梅, 等. 连翘叶多糖对小鼠免疫功能影响的研究 [J]. 食品研究与开发, 2015, 36(23): 25-28.
Zhang YY, Cai Y, Wu ZM, et al. Effect of *Forsythia suspensa* polysaccharide on immune function in mice [J]. Food Res Dev, 2015, 36(23): 25-28.
- [10] 原江锋, 赵君峰, 刘建利, 等. 连翘叶中连翘酯苷 A 的提取及其抗氧化活性[J]. 食品科学, 2016, 37(1): 94-98.
Yuan JF, Zhao JF, Liu JL, et al. Extraction and antioxidant activity of forsythiaside A from *Forsythia suspensa* leaves [J]. Food Sci, 2016, 37(1): 94-98.
- [11] 冯治朋, 高秀强, 韩颜超, 等. 连翘的研究进展 [J]. 现代农业科技, 2018, (12): 45-50.
Feng ZP, Gao XQ, Han YC, et al. Research progress of *Forsythia* [J]. Mod Agric Sci Technol, 2018, (12): 45-50.
- [12] 潘婷婷. 连翘叶的研究进展[J]. 价值工程, 2017, 36(6): 118-120.
Pan TT. Research progress of *Forsythia suspense* [J]. Val Eng, 2017, 36(6): 118-120.
- [13] 张泉. 连翘(*Forsythia suspensa*)叶药用价值及其药用活性组分的初步研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2006.
Zhang H. Preliminary study on the medicinal value and medicinal active components of *Forsythia suspense* [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2006.
- [14] Balaram V. Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling and environmental impact [J]. Geosci Front, 2019, (4): 1285-1303.
- [15] Giovanni P, Marco G, Franca T, et al. Health effects and toxicity mechanisms of rare earth elements-Knowledge gaps and research prospects [J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2015, (115): 125-130.
- [16] 高志强, 周启星. 稀土矿露天开采过程的污染及对资源和生态环境的

- 影响[J]. 生态学杂志, 2011, 30(12): 2915–2922.
- Gao ZQ, Zhou QX. Pollution of open-pit mining process of rare earth ore and its impact on resources and ecological environment [J]. Chin J Ecol, 2011, 30(12): 2915–2922.
- [17] 周莉, 李树蕾, 陈辉, 等. 混合稀土常乐对孕鼠胚胎细胞的 DNA 损伤作用[J]. 中国稀土学报, 2004, 22(3): 390–392.
- Zhou L, Li SL, Chen H, *et al.* DNA damage of pregnant rat embryonic cells by mixed rare earth Changle [J]. J Chin Soc Rar Earth, 2004, 22(3): 390–392.
- [18] 钱聪, 郭启雷. 茶叶中五种稀土元素的测定[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(10): 3238–3242.
- Qian C, Guo QL. Determination of five rare earth elements in tea [J]. J Food Saf Qual, 2014, 5(10): 3238–3242.
- [19] 傅海霞, 郝伟, 李焯. 基于稀土元素判别茶叶原产地的研究进展[J]. 昆明学院学报, 2015, (6): 120–126.
- Fu HX, Hao W, Li Y. Research progress on discriminating tea origin based on rare earth elements [J]. J Kunming Univ, 2015, (6): 120–126.
- [20] 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.
- Chen L, Lin DL, Gao ZP, *et al.* Distribution characteristics of rare earth elements in tea garden soil and oolong tea [J]. J Fujian Agric For Univ (Nat Sci Ed), 2011, 40(6): 595–601.
- [21] 向丽萍, 王奥, 罗砚文, 等. 贵州绿茶中的稀土元素含量特征[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(1): 197–199.
- Xiang LP, Wang A, Luo YW, *et al.* Characteristics of rare earth elements in Guizhou green tea [J]. Hubei Agric Sci, 2014, 53(1): 197–199.
- [22] 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, (3): 25–29.
- Yang WQ, Ge DD, Liu DD. Analysis of light rare earth elements in different kinds of tea in Baoshan city, Yunnan province [J]. J Kunming Univ, 2015, (3): 25–29.
- [23] 蒋文欣, 潘榕群, 蒋健轩. 茶叶中稀土元素的组成与状态研究[J]. 大众科技, 2018, 224(4): 49–50, 70.
- Jiang WX, Pan RQ, Jiang JX. Study on composition and state of rare earth elements in tea [J]. Pop Sci Technol, 2018, 224(4): 49–50, 70.
- [24] 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.
- Nie G, Liang L, Li ZH, *et al.* Study on the characteristics of rare earth elements produced in tea in southern Shaanxi [J]. J Chin Rar Earth Soc, 2014, 32(6): 758–763.

(责任编辑: 陈雨薇)

作者简介



杜兴, 主管技师, 主要研究方向为卫生检验。

E-mail: 18234169656@163.com



张加玲, 教授, 主要研究方向为卫生检验。

E-mail: 532824420@qq.com