

# 不同修剪高度对茶树稀土和氟铝含量及品质的研究

王琼琼<sup>1,2</sup>, 孙威江<sup>1,2,3\*</sup>, 黄伙水<sup>4</sup>, 梁善恩<sup>1</sup>, 王建明<sup>1</sup>

(1. 福建农林大学园艺学院, 福州 350002; 2. 闽台特色作物病虫生态防控协同创新中心, 福州 350002;  
3. 福建农林大学安溪茶学院, 福州 350002; 4. 泉州出入境检验检疫局, 泉州 362000)

**摘要:** **目的** 分析不同茶树修剪高度稀土(REE)、氟(F)、铝(Al)含量的高低, 为阐明茶树高度和稀土 F、Al 含量在茶树中的积累特性机制提供一定的基础。**方法** 采用 ICP-MS 测定茶叶中稀土和 Al 含量, 氟离子电极法测定茶叶中 F 含量, 应用 Microsoft Excel 软件和 SPSS19.0 软件, 采用使用新复极差法进行显著性分析, Pearson 相关性分析茶树稀土的含量和生化成分差异及其相关性。**结果** 经过定型修剪后, 表现为随着茶树修剪高度的降低, 稀土和 Al 含量呈逐渐增加的趋势, 修剪高度最低的 20 cm 稀土含量(0.36 mg/kg)显著高于传统树冠高度 60 cm(0.12 mg/kg), F 含量则在 40 cm 修剪高度时达到最高; 儿茶素总量和茶多酚含量则有随着茶树高度的增加而降低, 成品茶中稀土、F、Al 含量大致和定型修剪后的鲜叶一致。稀土含量和 F、Al 含量之间达到了极显著相关, 稀土、Al 含量与茶叶品质成分中的酯型儿茶素也呈显著的正相关。**结论** 本研究发现不同修剪高度对茶树的稀土、F、Al 元素含量和品质成分均产生了一定的影响, 但影响程度不同, 随着修剪高度的降低, 茶树传统树冠下稀土、F、Al 元素的含量均会低于现阶段采用的矮树冠。

**关键词:** 茶树; 稀土; 氟; 铝; 修剪高度

## Analysis of rare-earth element, F and Al and biochemical components content in tea plant with different cutting heights

WANG Qiong-Qiong<sup>1,2</sup>, SUN Wei-Jiang<sup>1,2,3\*</sup>, HUANG Huo-Shui, LIANG Shan-En, WANG Jian-Ming

(1. College of Horticulture of Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;  
2. Fujian-Taiwan Joint Centre for Ecological Control of Crop Pests, Fuzhou 350002, China;  
3. Anxi College of Tea science of Fujian Agriculture and Forestry University, Quanzhou 362400, China;  
4. Quanzhou Entry-exit Inspection & Quarantine Bureau of P.R.C, Quanzhou 362000, China)

**ABSTRACT: Objective** To analyze the content of rare earth element (REE), F and Al elements between different tea tree pruning height, in order to clarify the relation between tea plant height and rare-earth, F, and Al content, and provide basis for explaining the accumulation characteristics in tea plant. **Methods** The REE and Al content in tea were determined by ICP-MS, and the F content in tea plant was determined by F ion electrode method. The data was analyzed with Microsoft Excel software and SPSS19.0, while the relationship between the REE, F and Al content and the routine biochemical components content was analyzed by Pearson

基金项目: “十二五”科技支撑计划项目(2014BAD15B01)、泉州市科技项目(2014N52)

**Fund:** Supported by the Key Projects in the National Science & Technology Pillar Program during the Twelfth Five-year Plan Period (2014BAD15B01) and Quanzhou Science & Technology Program (2014N52)

\*通讯作者: 孙威江, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为茶树品质化学与质量安全。E-mail: swj8103@126.com

\*Corresponding author: SUN Wei-Jiang, Professor, College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China. E-mail: swj8103@126.com

correlation analysis and their significance with the new multiple range method. **Results** After mowing, with the tea plant height increasing, the REE and Al content were gradually decreased, and the mowing height 20 cm (0.36 mg/kg) had the max REE content which was significantly higher than traditional canopy height 60 cm (0.12 mg/kg), the tea plant had the max F content at cutting height of 40 cm; while total catechins and polyphenols content were reduced with the height increasing. The REE, F and Al content were significantly correlated, and the content of REE and Al also showed a significant positive correlation with tea catechins. **Conclusions** The study finds that different cutting heights of tea have a significant impact on the content of REE, F, and Al element and the quality ingredients in tea, but they have different degrees impacts, while with the mowing height reduce, the content of REE, F, and Al of traditional height on tea plant is significantly lower than the height at present.

**KEY WORDS:** tea plant; rare-earth element; F; Al; cutting height

## 1 引言

有研究对不同种植密度和不同定型修剪高度进行田间对比试验,发现茶园前期产量随种植密度的增加而增加,后期产量以亩植 12000 株的双条播为最高,其个体优势得到了发挥<sup>[1]</sup>。近年来各地也出现了种植茶树时采用矮化密植的方法,降低茶树修剪高度,以期达到增产的目的。目前,福建省现阶段铁观音的定型修剪经过定剪后茶冠高 20~30 cm,而之前经过定剪后铁观音的传统树冠茶树高 60~70 cm。

近年来,乌龙茶稀土(rare-earth element, REE)含量出口屡屡被爆出超标退回事件,引发大众对茶叶质量安全的信任危机,也影响着茶产业的健康发展。大量学者研究发现茶叶中稀土、F、Al 的含量与土壤<sup>[2]</sup>、茶叶鲜叶成熟度<sup>[3]</sup>、茶树种植地区<sup>[4]</sup>等有关,但还未有研究证明茶树修剪高度和茶叶中的矿质元素和金属元素等有相关关系,因现阶段茶树修剪种植高度过低,超标现象又较往年突出,故本研究推测其含量可能还和茶树修剪高度偏低有关。

为探讨当前定剪高度与传统定剪高度的品质差异,同时研究稀土、F、Al 元素在茶叶中超标现象的形成和茶树修剪种植高度的关系,本论文实验对铁观音树冠修剪高度进行探讨,采用修剪成低、中、高 3 个高度的铁观音茶树分别比较传统树冠与现阶段铁观音采用矮树冠品质成分和稀土、F、Al 元素的含量。

## 2 材料与方 法

### 2.1 实验材料

本实验选取的茶树品种为铁观音,于 2014 年在

安溪龙涓乡举溪镇海拔 800 m 左右的茶园进行管理修剪。分别在不同的茶树上随机采摘约 500 g 鲜叶,采摘标准为一芽 3 叶。修剪后的高度分别为 20 cm, 40 cm, 60 cm。

### 2.2 实验方法

#### 2.2.1 修剪方法

试验为单因素试验。选气候、土壤、茶园管理相同的三个小区茶园(A 区、B 区、C 区),每个小区面积为 120 m<sup>2</sup>,实验区总面积约 360 m<sup>2</sup>,小区随机排列,小区间设间隔行。修剪前高度 50 cm 左右,3 个处理分别为定剪的不同树冠高度:(1)现阶段铁观音采用的矮树冠(20 cm);(2)处于两者中间状态的树冠(40 cm);(3)传统树冠(60 cm);各处理互为对照。分别于 2014 年 12 月底,2014 年 4 月初和 2014 年 8 月中旬进行修剪。每个处理修剪 3 行,每行大约 10 米。分布分别如图 1 所示。

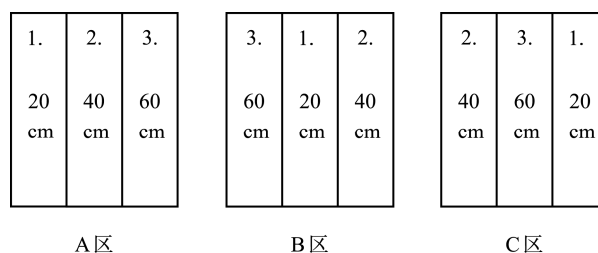


图 1 茶树不同修剪高度的区域试验分布图

Fig. 1 The regional distribution graph of different height treatments on tea plant

#### 2.2.2 样品的制备

取 2014 年春、夏、秋季茶叶一芽 3 叶鲜叶和秋季采摘制成成品茶之后观察其生物学性状,并比较三个小区的稀土、F、Al 含量和品质。

茶树样品的采集: 鲜叶采后迅速置于烘箱中 120 ℃ 烘 3~5 min, 再降温至 103 ℃ 烘至足干, 粉碎过 40 目筛密封保存待检。

成品茶加工工艺按照闽南乌龙茶的加工方式进行, 具体步骤: 萎凋-做青-杀青-揉捻-干燥。取各处理 250 g, 密封低温保存备用。

### 2.2.3 检测方法

稀土和 Al 的测定均采用电感耦合等离子体质谱法 (Inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS), F 的测定主要参照氟离子选择电极法。为鉴定各供试品系鲜叶的理化品质特征, 采摘后鲜叶的理化成分测定采用国家标准规定的方法进行检测。具体如表 1 所示<sup>[5-12]</sup>。

表 1 样品及元素测定方法  
Table 1 Methods for sample analysis

项目	测定方法
REE	GB 5009.94-2012 <sup>[5]</sup>
F	GB/T5009.18-2003 <sup>[6]</sup>
Al	GB/T23374-2009 <sup>[7]</sup>
水浸出物	GB/T 8305-2013 <sup>[8]</sup>
咖啡碱和儿茶素	GB/T 30483-2013 <sup>[9]</sup> 和 GB/T8313-2008 <sup>[10]</sup>
茶多酚	GB/T 8313-2008 <sup>[10]</sup>
氨基酸	GB/T8314-2013 <sup>[11]</sup>
水分	GB/T 8304-2013 <sup>[12]</sup>

## 2.3 数据分析

为了分析不同修剪高度茶树稀土、F、Al 含量和常规品质成分差异及关系, 应用 Microsoft Excel 软件和 SPSS 19.0 软件, 采用新复极差法进行显著性分析, Pearson 相关性分析、多重比较 LSD 分析 3 次定型修剪后 3 个不同修剪高度的铁观音一芽 3 叶样的稀土、F、Al 和茶叶中品质成分含量进行差异分析, 使用可重复双因素方差分析进行区域试验因素间的方差分析<sup>[13]</sup>。

## 3 结果和分析

### 3.1 茶树不同修剪高度的稀土、F、Al 含量差异分析

供试样品鲜叶的稀土、F、Al 含量测定采用表

1 中的方法进行检测。表 2 为各样品的理化成分含量。结果显示经过定型修剪后, 随着茶树高度的增高, 稀土和 Al 含量呈逐渐降低的趋势, 修剪高度最低的 20 cm 稀土含量显著高于传统树冠高度 60 cm。以下将对各个理化成分进行分析。

表 2 不同高度供试茶叶样品的 REE、F、Al 含量  
(单位: mg/kg)

Table 2 The REE, F and Al content of the different heights from the tested tea samples

区试点	高度	REE 含量	F 含量	Al 含量
A 区	20 cm	0.34±0.02a	81.4±7a	560±7a
	40 cm	0.18±0.04b	63±6c	460±2b
	60 cm	0.15±0.02c	68.3±3b	360±11c
B 区	20 cm	0.21±0.08a	84.2±7a	570±6a
	40 cm	0.17±0b	84.2±2a	570±13a
	60 cm	0.14±0.01c	52±10b	350±22b
C 区	20 cm	0.36±0.03a	62.3±9b	610±13a
	40 cm	0.13±0.06b	91.6±4a	550±13b
	60 cm	0.12±0.04c	60.7±7b	350±15c
成品茶	20 cm	0.62±0.23a	111±5b	960±14a
	40 cm	0.56±0.08b	121±4a	950±13a
	60 cm	0.41±0.09c	100±6c	740±22b

注: 同列不同字母表示  $P<0.05$ , 差异显著, 以下同。

#### 3.1.1 稀土元素含量

研究发现茶叶中存在所有的 16 种天然稀土元素。稀土元素在茶树中也有提质增产的作用, 相关研究充分显示了稀土的“低促-高抑”的“刺激效应”(hormesis)<sup>[14]</sup>, 即植物对稀土元素吸收有一个临界含量, 在植物体内达到一定适宜浓度时促进植物生长发育的作用, 超过临界含量植物生长将受到抑制甚至毒害, 对人类的健康也有影响。

对稀土元素含量进行方差分析, 结果表明不同修剪高度间的稀土含量差异显著。在三个小区, 修剪高度 60、40、20 cm 茶树的稀土含量范围分别为 0.15~0.34 mg/kg、0.14~0.21 mg/kg、0.12~0.36 mg/kg, 最高值比最低值最高达到 3 倍。

三个小区的规律均表示, 茶树高度越高, 稀土含量越低, 且差异达到显著水平。本次检测中, Dy、Gd、Er、Lu 4 种元素未从供试样品中检出, 其余稀土

元素平均分布情况为: Sc>Pr>Y>Ce>Sm>La>Eu>Tm>Tb>Nd=Yb=Ho, 具体含量如图2所示。

### 3.1.2 F含量

茶树体内的F主要集中在叶片中, 占到全株F含量的93%以上, F在茶树根和叶片细胞中都主要存在于细胞质组分中<sup>[15]</sup>, 用水培法研究不同浓度的F对茶叶品质成分的影响, 结果表明<sup>[16]</sup>F对茶叶品质成分的影响与F水平有关, 随着F浓度的升高, 茶叶品质下降。

对F元素含量进行方差分析, 结果表明不同修剪高度间的F含量差异显著。在三个小区, 修剪高度60、40、20 cm茶树的F含量范围分别为63.0~81.4 mg/kg、52~84.2 mg/kg、60.7~91.6 mg/kg, 最高值比最低值最高达到约1.5倍。三个小区的规律总体表现, 茶树高度为40 cm时, F含量最高, 且差异均达到显著水平, 而20 cm和60 cm的茶树高度则差异不显著, 没有稳定的趋势。

### 3.1.3 Al含量

Al对茶树的生长具有促进作用, 并有利于一些营养元素的吸收, 对茶叶的品质亦有良好的影响, 有人认为茶叶中Al含量的多寡可作为茶叶品质的指标之一。Al在茶树根和叶片细胞中主要存在于细胞壁中<sup>[15]</sup>, 且F、Al吸收有一定的协同效应。段小华等<sup>[17]</sup>模拟酸雨和Al浓度变化实验发现适度的酸度和适量的Al浓度有利于提高和稳定茶叶的品质。蔡荟梅等<sup>[18]</sup>还发现低浓度F胁迫可以有效刺激茶树体内抗氧化酶活力。

对Al元素含量进行方差分析, 结果表明不同修

剪高度间的Al含量差异显著。在三个小区, 修剪高度60、40、20 cm的Al含量范围分别为360~560 mg/kg、350~570 mg/kg、350~610 mg/kg, 最高值比最低值最高达到约1.8倍。三个小区的规律均表示, 随着茶树高度的增加, Al元素含量逐渐降低, 且差异均达到显著水平。

### 3.1.4 成品茶的稀土、F、Al含量

加工成闽南乌龙茶后, 测定其稀土、F、Al含量, 发现成品茶的稀土含量分布表现为: 20 cm (0.62 mg/kg)>40 cm (0.56 mg/kg)>60 cm (0.41 mg/kg); F含量分布趋势: 20 cm (121 mg/kg)>40 cm (111 mg/kg)>60 cm (100 mg/kg); 而Al含量分布趋势: 20 cm (960 mg/kg)>40 cm (950 mg/kg)>60 cm (740 mg/kg), 由此可以看出, 成品茶中稀土、F、Al含量显著高于茶树修剪高度取样的含量, 这可能是由于加工的茶叶选取的茶叶原料为一芽4、5叶, 茶叶成熟度高于修剪样品的一芽3叶。

## 3.2 茶树不同修剪高度的品质成分差异分析

氨基酸含量是衡量茶叶品质的重要指标, 是鲜爽的重要呈味物质; 茶多酚是茶叶色香味的主要物质, 滋味主要表现为茶叶的涩味; 茶叶的水浸出物是成品茶品质的综合性指标, 是衡量植物有机物积累、营养成分多寡的重要指标; 咖啡碱含量是苦味的呈味元素, 但其与茶黄素络合后的复合物具有鲜爽味。鲜叶的理化成分测定采用相应的国标方法进行检测, 其中咖啡碱用高效液相色谱法进行检测。

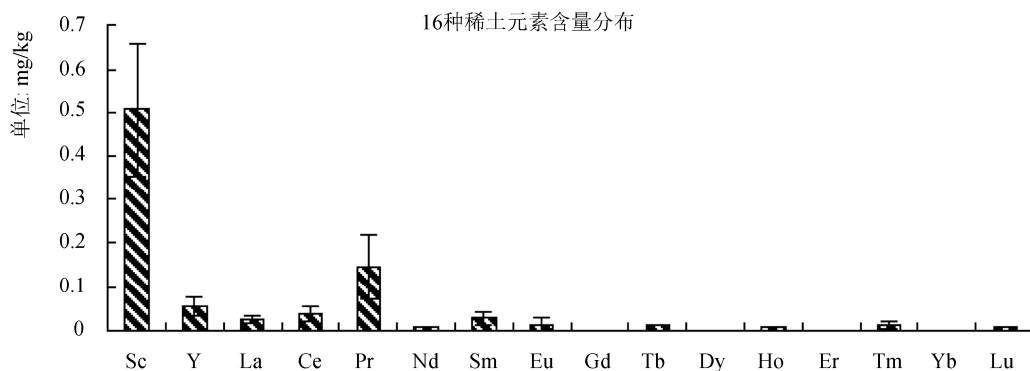


图2 茶树中16种稀土元素的分布特征

Fig. 2 The REE elements content distribution character of the tea plant

## 3.2.1 氨基酸、茶多酚、水浸出物和咖啡碱

表 3 为各样品的理化成分含量。经过定型修剪后, 修剪高度 20 cm 的水浸出物含量最高, 说明修剪较低有利于水浸出物的积累, 但各处理间的差异未达到显著水平 ( $P>0.05$ ), 说明修剪高度对茶树的水浸出物有影响但不显著, 同样茶树不同高度的鲜叶咖啡碱含量差异也不显著。而修剪高度为 60 cm 的铁观音茶树氨基酸含量显著高于修剪高度中等和修剪低的茶树。说明修剪不利于氨基酸物质的积累, 修剪高度不同对茶树氨基酸含量的影响也不同。修剪高度较高时可以适当提高茶叶氨基酸含量, 对品质有利。

茶多酚含量表现则有不同, 随着茶树高度的增加有降低的趋势, 且达到了显著水平。

## 3.2.2 儿茶素总量及其组分含量

供试茶叶样品的儿茶素总量和组分见表 4。儿茶素是茶叶中重要的品质成分和功能保健成分, 属于黄烷醇类化合物, 其中的酯型儿茶素是茶叶感官审评的苦涩味的重要来源部分。三个小区各修剪高度儿茶素总量范围分别为 6.28%~10.09%、7.68%~8.54%、7.04%~8.73%, 不同修剪高度的变化趋势表现和茶多酚含量一致, 茶树不同修剪高度间儿茶素含量存在显著性差异, 随高度增加而逐渐降低。

表 3 各供试茶叶样品的理化成分含量(单位: %)  
Table 3 Results of routine biochemical components content of the tested tea samples

区试点	高度	氨基酸	茶多酚	水浸出物	咖啡碱
A 区	20 cm	1.66±0.02a	14.23±0.16b	40.81±0.91a	3.27±0.03a
	40 cm	1.6±0.05a	14.89±0.3a	41.74±0.52a	3.94±0.08a
	60 cm	1.79±0.13a	14.52±0.16a	40.74±1.01a	3.07±0.04a
B 区	20 cm	1.32±0.05b	14.41±0.16a	41.05±1.2a	2.52±0.04b
	40 cm	1.42±0.05b	14±0.09b	39.91±0.58a	2.17±0.06b
	60 cm	1.85±0.04a	14.83±0.21a	39.1±0.38a	2.54±0.04b
C 区	20 cm	1.23±0.05b	13.9±0.24b	40.34±1.19a	2.46±0.03b
	40 cm	1.11±0.03b	14.02±0.5b	39.02±1.72a	2.18±0.03b
	60 cm	1.62±0.04a	15.94±0.21a	39.02±0.38a	2.56±0.04b

表 4 各供试茶叶样品的儿茶素组分及含量(单位: %)  
Table 4 Total catechins and its composition content of the tested tea samples

区试点	高度	EGC	C	EC	非酯型儿茶素	EGCG	ECG	酯型儿茶素	儿茶素总量
A 区	20 cm	2.34	0.25	0.21	2.60	3.04	0.64	3.68	6.28
	40 cm	3.31	0.23	0.22	3.54	5.32	1.24	6.55	10.09
	60 cm	2.53	0.29	0.21	2.81	3.31	0.70	4.01	6.82
B 区	20 cm	3.15	0.28	0.20	3.42	4.31	0.80	5.11	8.53
	40 cm	3.28	0.21	0.20	3.49	4.24	0.80	5.05	8.54
	60 cm	2.92	0.20	0.18	3.12	3.85	0.72	4.56	7.68
C 区	20 cm	3.33	0.26	0.21	3.59	4.34	0.79	5.13	8.73
	40 cm	3.34	0.21	0.22	3.55	3.92	0.69	4.61	8.16
	60 cm	3.00	0.21	0.21	3.21	3.26	0.57	3.83	7.04

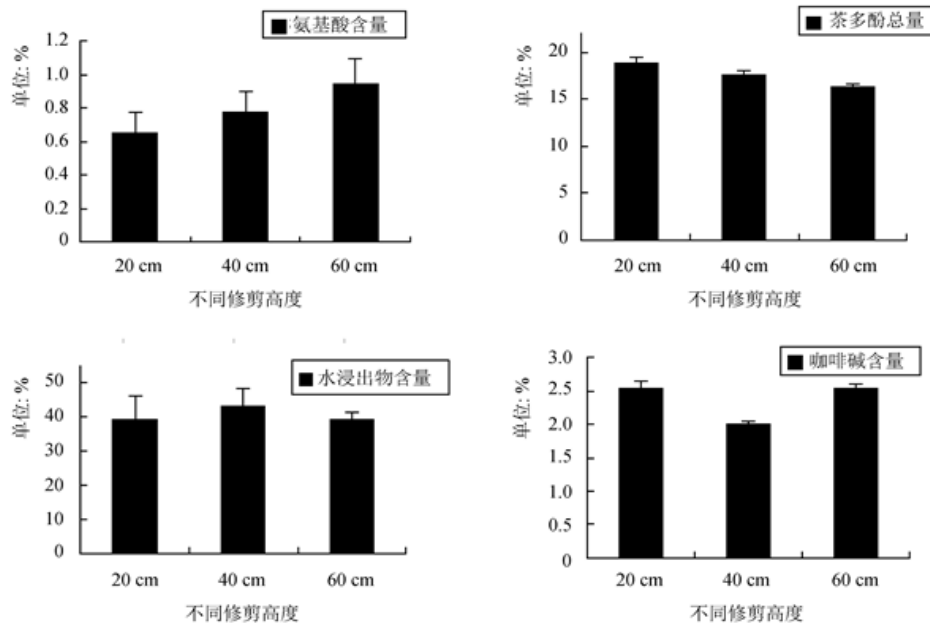


图 3 不同茶树高度样品成品茶的理化成分含量

Fig. 3 Results of routine biochemical components content of the tested samples

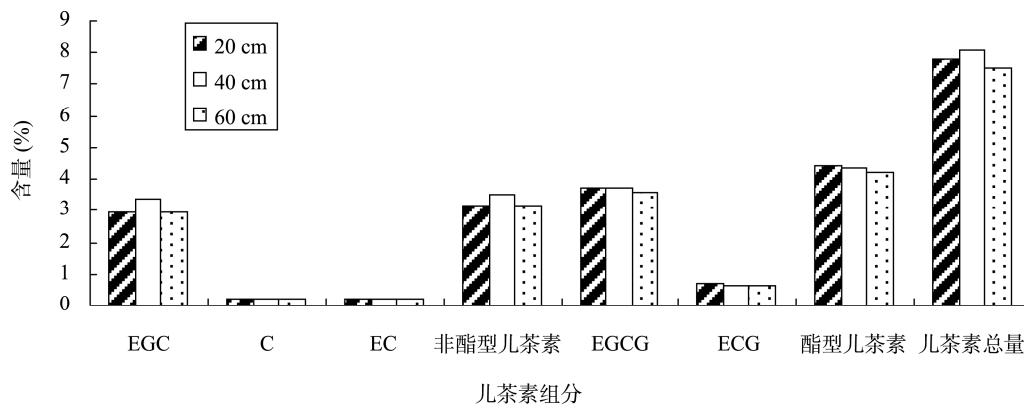


图 4 不同高度成品茶样品的儿茶素组分及含量

Fig. 4 Total cathin and its composition content of the different heights from the maded tea samples

表 5 茶树稀土含量和品质成分相关性分析表

Table 5 Relationship between the REE, F and AI content and the routine biochemical components content

	氨基酸	茶多酚	水浸出物	咖啡碱	非酯型儿茶素	酯型儿茶素	儿茶素总量	F	AI	REE
氨基酸	1									
茶多酚	-0.841**	1								
水浸出物	0.579*	-0.396	1							
CAF	0.043	0.181	0.088	1						
非酯型儿茶素	-0.608*	0.525	-0.598*	-0.069	1					
酯型儿茶素	-0.379	0.493	-0.228	0.276	0.812**	1				
儿茶素总量	-0.462	0.523	-0.348	0.185	0.901**	0.985**	1			
F	0.25	0.01	0.391	0.075	-0.005	0.348	0.257	1		
AI	-0.464	0.504	-0.257	0.216	0.749**	0.860**	0.862**	0.623*	1	
REE	0.15	0.08	0.302	0.255	0.243	0.583*	0.504	0.857**	0.700**	1

\*\*：在 0.01 水平(双侧)上显著相关；\*：在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

儿茶素各个组分含量: EGCG>EGC>ECG>C>EC, 和儿茶素总量一样, 除 C 和 EC 含量较低的两个组分外, 均表现为随茶树修剪高度的增加而降低。

### 3.2.3 不同修剪高度成品茶的品质成分差异分析

不同修剪高度成品茶的品质成分如图 3 和图 4 所示。在使用不同高度的茶叶鲜叶加工成闽南乌龙茶后, 不同修剪高度对茶树的水浸出物含量差异不显著, 而氨基酸和茶多酚含量表现和之前鲜叶趋势一致, 如茶多酚表现为 20 cm (18.83%)>40 cm (17.52%)>60 cm (16.29%)。咖啡碱含量在中等修剪高度 40 cm 时含量偏低, 表现和鲜叶趋势有所不同。说明加工过程对茶叶中的品质成分也产生了一定影响。成品茶中儿茶素总量和修剪定型的鲜叶变化趋势一致, 组分含量也较为相近。

### 3.3 茶树不同修剪高度的稀土、F、Al 含量和品质成分相关性分析

茶树不同修剪高度的稀土含量和品质成分相关性如表 5 所示。从表 5 中可以看出, 稀土含量、F 含量和 Al 含量之间也达到了极显著相关, 其中稀土和 F 之间相关系数  $R=0.857$ , 稀土和铝之间  $R=0.700$ , F 和 Al 之间为  $R=0.623$ 。

稀土、Al 含量与茶叶品质成分中的酯型儿茶素均呈显著正相关( $R=0.860^{**}$ ,  $R=0.583^{*}$ ), Al 含量与儿茶素总量、非酯型儿茶素相关系数分别达到了极显著相关, 相关系数 0.862 和 0.749。

## 4 结论和讨论

为了方便茶树采摘和茶园管理, 修剪是必要的手段<sup>[19]</sup>, 而修剪高度的不同会影响一些品质指标的合成和积累。本研究发现不同修剪高度对茶树的特异性元素含量和品质成分均产生了一定的影响, 但影响程度不同, 经过修剪的较低高度的铁观音茶树稀土、F、Al 含量均显著高于修剪较高(60 cm)的茶树。这可能与茶树的生长特性有关, 茶树高度低, 离地面较近时, 从土壤中吸收转运的金属元素和矿质元素的也会相应的积累增多, 其具体内部机制有待进一步深入研究。

近年来, 修剪高度过低, 矮化种植茶树导致茶树高度下降, 也可能是引起茶叶稀土超标问题的一个因素, 在进行修剪时要理论联系实际, 应用科学思维方式, 形成正确完整的理论依据和修剪技术。

## 参考文献

- [1] 张龙云, 何超群, 李敏. 矮化密植栽培对茶叶产量及茶树生物学性状的影响[J]. 中国茶叶, 2004, 26(1): 43.  
Zhang LY, He CQ, Li M. Influence of dwarf and close planting for the production and biology traits [J]. China tea, 2004, 26(1): 43
- [2] 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, 04: 19-23.  
Chen Q, Li MH, Lin LR, *et al.* Research on determination and correlation of rare earth content in tea soil, root, leaf of tea area in eastern Fujian [J]. Qual Tech Super Res, 2013, 04: 19-23.
- [3] 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.  
Yang XF, Xu JF, Weng K, *et al.* The different elements contents in different mature parts of tea shoots [J]. China Tea Proc, 2008, (3): 18-20.
- [4] 白婷婷. 安溪乌龙茶农药残留规律与稀土污染成因探究[D]. 福州: 福建农林大学, 2011.  
Bai TT. The rules of pesticide residue and the exploration of REE pollution causes of Anxi Oolong tea [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2011.
- [5] GB 5009. 94-2012 食品安全国家标准 植物性食品中稀土元素的测定[S].  
GB 5009 94-2012 Determination of rare earth elements content for the national food safety standards in vegetable foods [S].
- [6] GB/T5009. 18-2003 食品中氟的测定标准方法[S].  
GB/T5009.18-2003 Standard method for the determination of fluoride content in food [S].
- [7] GB/T23374-2009 食品中铝的测定标准方法[S].  
GB/T23374-2009 Method for the determination of aluminum in food [S].
- [8] GB/T 8305-2013 茶 水浸出物测定[S].  
GB/T 8305-2013 Tea-Determination of tea water extract content [S].
- [9] GB/T 30483-2013 茶叶中茶黄素的测定-高效液相色谱法[S].  
GB/T 30483-2013 Determination of theaflavins in tea-High performance liquid chromatography [S].
- [10] GB/T 8313-2008 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法[S].  
GB/T 8313-2008 Determination of tea polyphenols and catechins content in tea [S].
- [11] GB/T 8314-2013 茶 游离氨基酸总量测定[S].

- GB/T 8314-2013 Tea-Determination of free amino acids content [S].
- [12] GB/T 8304-2013 茶 水分测定[S].  
GB/T 8304-2013 Tea-Determination of moisture content [S].
- [13] 朱建平, 殷瑞飞. SPSS 在统计分析中的应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.  
Zhu JP, Yin RF. Application of SPSS in the statistical analysis [M]. Beijing: Tsinghua University press, 2007
- [14] Yu L, Dai YC, Yuan ZK, *et al.* Effects of rare earth elements on telomerase activity and apoptosis of human peripheral blood mononuclear cells [J]. *Biol Trace Elem Res*, 2007, (116): 53-59.
- [15] 赵强. 氟/铝在茶树叶片和根部的累积与分布规律研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2013.  
Zhao Q. accumulation and distribution of Fluorine/aluminum in subcellular of tea leaves and roots [D]. Hefei: Anhui Agriculture University, 2013
- [16] 李春雷. 氟对茶树幼苗生理生化的影响及其作用机制研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.  
Li CL. Study on the effect and mechanism of fluoride in the physiology and biochemistry of tea seedlings [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011
- [17] 段小华. 影响茶树铝循环和茶叶品质因素的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2012.  
Duan XH. Accumulation and distribution of fluoride/aluminium in subcellular of tea leaves and roots [D]. Nanchang: Nanchang University, 2012
- [18] 蔡荟梅, 董阳阳, 陈贵杰, 等. 氟胁迫对茶树氟吸收累积特性及生理生化指标的影响[J]. *核农学报*, 2014, 04: 742-747.  
Cai HM, Dong YY, Chen GJ, *et al.* The effect of fluorine stress on physiological-biochemical indexes and absorption-accumulation specialties of tea plant [J]. *J Nuclear Agric Sci*, 2014, 28(4): 0742-0747 .
- [19] 阴代权. 基于科学思维的茶树修剪技术探索[J]. *现代农业科技*, 2014, (2): 89-92, 94.  
Yin DQ. Exploration on the tea tree pruning technology based on the scientific thinking [J]. *Mod Agric Sci Technol*, 2014, (2): 89-92 .

(责任编辑: 杨翠娜)

### 作者简介



王琼琼, 硕士, 主要研究方向为茶树栽培生理与质量安全。  
E-mail: 727624776@qq.com



孙威江, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为茶树品质化学与质量安全。  
E-mail: swj8103@126.com