

# 土壤元素的测定及其对茶叶浸出液元素的影响

蒋陈凯, 黄亚辉, 李丹, 赵文芳, 袁思思, 杨家干, 朱燕, 崔飞龙, 吴春兰, 周玲<sup>\*</sup>  
(华南农业大学园艺学院, 广州 510642)

**摘要:** **目的** 探究土壤元素种类及含量对不同成熟度茶叶元素含量的影响。**方法** 取来自韶关、廉江、梅州和潮州四地土壤和不同成熟度的茶叶, 样品经磨碎、脱硫、加热、溶解、离心后取上清液, 采用原子吸收光谱法检测所含 32 种元素单质锂(Li)、铍(Be)、钪(Sc)、钒(V)、铬(Cr)、钴(Co)、镍(Ni)、铜(Cu)、锌(Zn)、镓(Ga)、砷(As)、铷(Rb)、锶(Sr)、钇(Y)、锆(Zr)、铌(Nb)、铯(Cs)、钡(Ba)、铪(Hf)、钽(Ta)、钨(W)、铊(Tl)、铅(Pb)、铋(Bi)、锗(Ge)、钼(Mo)、银(Ag)、镉(Cd)、铟(In)、锡(Sn)、锑(Sb)、硒(Se)和 6 种元素化合物氧化镁(MgO)、五氧化二磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、氧化钙(CaO)、二氧化钛(TiO<sub>2</sub>)、氧化锰(MnO)、三氧化铁(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-T)的含量。**结果** 不同成熟度的茶叶浸出液与不同土壤元素含量的相关性不显著, Zn、Ga、Sr 含量与成熟度的相关性极显著, Cu、Ba、Pb 含量与成熟度的相关性显著; 茶树对处于元素周期表第四、第五周期的 A、A、A、B、B、B、B 的元素选择性吸收较强; 对 Sr、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、CaO、MnO 的富集作用较强。**结论** 茶树叶片各元素含量受土壤中该元素含量的影响较小, 成熟度是影响茶叶浸出液元素含量的重要因素。

**关键词:** 原子吸收光谱法; 土壤; 茶叶; 元素; 成熟度

## Determination of elements in soil and effects on elements in leaching liquid of tea leaves

JIANG Chen-Kai, HUANG Ya-Hui, LI Dan, ZHAO Wen-Fang, YUAN Si-Si, YANG Jia-Gan, ZHU Yan, CUI Fei-Long, WU Chun-Lan, ZHOU Ling<sup>\*</sup>

(College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the content of elements in tea leaves under the influence of kinds and content in soil. **Methods** Content of 32 single elements including Li, Be, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, Hf, Ta, W, Tl, Pb, Bi, Ge, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Se and 6 element compounds including MgO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO, TiO<sub>2</sub>, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-T in soil and leaching liquid of tea leaves of different grade of maturity from Shaoguan, Lianjiang, Meizhou and Chaozhou were detected by atomic absorption spectroscopy, after grinding, desulfurization, heating, dissolution and centrifugation. **Results** Correlation of elements between soil and leaching liquid of tea leaves of different grade of maturity had no significant difference, but there was a highly significant correlation between content of Zn, Ga, Sr and grade of maturity, and a significant correlation between content of Cu, Ba, Pb and grade of maturity.

基金项目: 广东省茶叶稀土超标原因及控制技术研究(2012A020602035)、广东抗寒及特异茶树新种质的创新和利用研究(2013B020201003)、福建省“2011 协同创新中心”中国乌龙茶产业协同创新中心(培育)专项(2013-51)

**Fund:** Supported by the Research of Reasons of Excessive Rare Earth Elements in Guangdong and Control Measures, the Research on Innovation and Utilization of Cold Resistant and Specific Tea Varieties in Guangdong (2013B020201003) and the Special of Innovation Centre of Chinese Oolong Tea Industry in Fujian (2013-51)

\*通讯作者: 周玲, 讲师, 主要研究方向为茶叶贸易。E-mail: 710242679@qq.com

\*Corresponding author: ZHOU Ling, Lecturer, College of Horticulture, South China Agricultural University, Wushan, Tianhe District, Guangzhou 510642, China. E-mail: 710242679@qq.com

Elements in I A, IIIA, IVA, I B, IVB, VB, VIII of fourth and fifth cycle in element periodic table were extremely selectively absorbed by tea plants. furthermore, Sr, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO and MnO were more easily absorbed by tea plants. **Conclusion** Content of elements in tea leaves is weakly influenced by that in soil, while greatly influenced by maturity.

**KEY WORDS:** atomic absorption spectroscopy; soil; tea; element; different grade of maturity

## 1 引言

通过饮茶,人们不仅可以摄入茶多酚、氨基酸、维生素等物质,也可以摄入很多机体必需宏量和微量元素。茶叶中大部分矿物质可溶于水而被人体吸收,如人体必需微量元素 Zn、Cu、Mn、Se 等,绿茶提取物通过影响机体的矿质状态进而降低血糖水平,改善体内脂质组成及身体质量指数<sup>[1]</sup>。茶树从土壤中吸收氟,主要集中在叶子中<sup>[2]</sup>,在冲泡过程中释放出来,小剂量的氟可以防治龋齿<sup>[3]</sup>。缺硒会导致心肌损伤、高血压、肝病甚至恶性肿瘤等多种疾病的发生,饮用富硒茶是补充人体硒不足的最好途径之一<sup>[4]</sup>。一些元素在土壤中含有量很高,但植物的需求量很低;而另一些元素在土壤中含有量很低,但却是植物需求量较多的元素,正是这些差异构成了土壤化学组成和植物营养之间关系的基础<sup>[5]</sup>。

茶叶中含有 30 多种基本元素,由这些基本元素组成了 300 多种化合物,同时这些元素也为茶树的生长提供营养,并调节其生理活动。茶树从土壤中吸收无机盐,供生命活动所需。土壤中一些元素对茶树生长起促进作用,如 N、P、K、Ca、Mg、Zn、Al、Fe 等,茶树缺乏这些元素,会出现缺素症。茶树缺 Mg 时,茶丛中常有死灰色而夹带有黑色或红色斑点,茶树缺 Mo 根系发育不良,植株矮小,无花蕾形成<sup>[6]</sup>。另一些元素对茶树有毒害作用,如 Pb 能抑制茶树对 Mn 和 Mg 的吸收<sup>[7]</sup>。元素之间也会相互作用而影响植物的吸收,杨婷婷等<sup>[8]</sup>研究表明,通过 N、P 调控外源 Se、Zn 进行种植后,茶树一芽二叶和老叶中 Se、Zn 含量升高。不同类型的茶叶,由于加工工艺的区别,其矿质元素含量会发生一定变化,但不同地产茶区的水、大气、土壤等环境条件有差异,这些差异直接决定茶叶在生长过程中矿质元素含量上的差异<sup>[9]</sup>。茶叶中矿质元素的差异不仅影响茶叶的营养价值,而且影响茶叶的加工品质,P、K、Mg、Al、Zn 含量在一定范围内有利于促进优质茶叶品质的形成<sup>[10]</sup>,其中钾对改善茶叶的香气品质效应明显<sup>[11]</sup>。现有研究

关于茶树对土壤元素的吸收与土壤中相应元素含量的探讨较少,为了促进茶树生长,增加茶叶产量,合理进行鲜叶采摘,保证茶叶安全生产,提高茶叶品质,本文采用原子吸收光谱法检测了来自韶关、廉江、梅州和潮州四地土壤和不同成熟度的茶叶所含元素,就不同成熟度茶叶所含元素的差异以及茶叶与土壤所含元素之间的相关关系进行探讨。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料与试剂

土样:在韶关市曲江区罗坑茶场、廉江市茗皇茶业有限公司、梅州市阴那山、潮州市凤凰山四地茶园随机取样,取样深度为 50 cm。

茶样:在韶关市曲江区罗坑茶场、廉江市茗皇茶业长山镇基地、梅州阴那山、潮州凤凰山四地茶园采用五点法取样,芽头至第 4 叶为芽叶,高度纤维化、粗老者为老叶,其余为成熟叶。

氟化氢(优级纯,天津市富宇精细化工有限公司);硝酸(优级纯,天津市富宇精细化工有限公司)。

### 2.2 仪器与设备

Varian SpectrAA-220FS 原子吸收光谱仪(岛津有限公司);粉碎机(浙江台州粮仪厂);AL-104 电子分析天平(感量 0.0001 g,上海申生科技有限公司);DYG-9920A 烘箱(厦门德仪设备有限公司);KDDC-40 离心机(科大创新股份有限公司);微波固样机(广州威雅斯微波设备有限公司)。

### 2.3 实验方法

#### 2.3.1 土样元素含量测定

将土样粉碎到 80 目,过筛,用研钵将其磨到 200 目。准确称取 50 mg 泥土粉末于带不锈钢外套的 Teflon 密封溶样装置中,加入 1 mL HNO<sub>3</sub> 于电热板上加热分解除硫,蒸干后加入 0.2 mL HF 和 1 mL HNO<sub>3</sub>,加盖密封,在烘箱中于 185 °C 加热 24 h,取出冷却后,在电热板上低温蒸干,加入 1 mL HNO<sub>3</sub> 再蒸干。最后加入 2 mL HNO<sub>3</sub>、3 mL H<sub>2</sub>O,重新盖上盖,放入烘箱

中于 140 °C 加热 5 h 溶解残渣。冷却后取 0.4 mL 溶液至 15 mL 离心管中, 稀释至 10 mL, 进行原子吸收光谱法测定。同一样品重复测定 3 次, 取平均值。

### 2.3.2 茶叶浸出液元素含量测定

将新鲜茶叶于 100 °C 微波处理 5 min 进行固定, 取 10 g 茶叶样本置于 40 °C 干燥箱中烘干至恒重。粉碎处理后过筛, 孔径为 0.074 mm。称取试样 5.0 g 于 300 mL 超纯水中浸泡 30 min, 过滤, 上清液于 100 mL 容量瓶中定容。制备好的样液用原子吸收光谱仪进行测定, 每次测量重复扫描 3 次<sup>[12]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 茶叶元素与成熟度的关系

以不同成熟度为影响因素, 不同地点为因素的不同水平, 对茶叶元素含量进行单因素方差分析, 分析结果如表 1 所示。根据表 1, 不同成熟度的茶叶中 Cu、Ba、Pb 含量有显著差异, Zn、Ga、Sr 含量差异极显著。根据图 1, 茶叶中 Cu、Zn 含量与成熟度呈负相关, Ba、Pb、Ga、Sr 含量与成熟度成正相关。芽叶中 32 种元素单质含量如图 2 所示, 茶叶主要采摘茶树芽叶制成, 因此茶树芽叶中元素含量与成品茶元素含量密切相关, 根据图 2, 所测 32 种元素含量均低于 30 μg/g 干重, 茶树芽叶中不同元素的含量差异较大, 而四地茶树芽叶中同种元素的含量差异不大。

表 1 不同成熟度茶叶元素含量单因素方差分析  
Table 1 One-way analysis of variance of content of elements in tea leaves of different grade of maturity

元素	P 值	元素	P 值	元素	P 值
Be	0.229	Zr	0.162	Cd	0.436
Sc	0.509	Nb	0.218	In	0.397
V	0.147	Cs	0.364	Sn	0.419
Cr	0.711	Ba	0.037*	Sb	0.725
Co	0.868	Hf	0.055	Se	0.368
Ni	0.521	Ta	0.108	MgO	0.975
Cu	0.048*	W	0.933	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.941
Zn	0.010**	Tl	0.386	CaO	0.641
Ga	0.003**	Pb	0.020*	TiO <sub>2</sub>	0.927
As	0.442	Bi	0.412	MnO	0.593
Rb	0.288	Ge	0.428	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -T	0.681
Sr	0.001**	Mo	0.43		
Y	0.149	Ag	0.349		

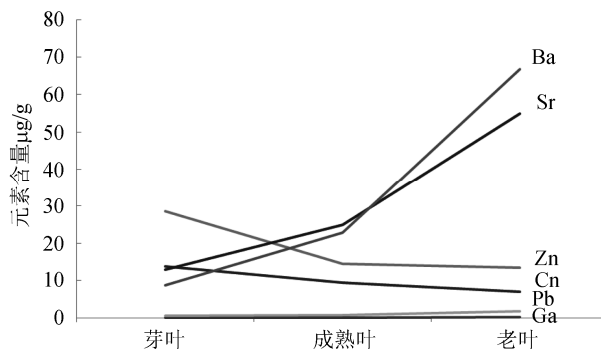


图 1 不同成熟度茶叶 Zn、Ga、Sr、Cu、Ba、Pb 含量  
Fig. 1 Content of Zn, Ga, Sr, Cu and Ba in tea leaves of different grade of maturity

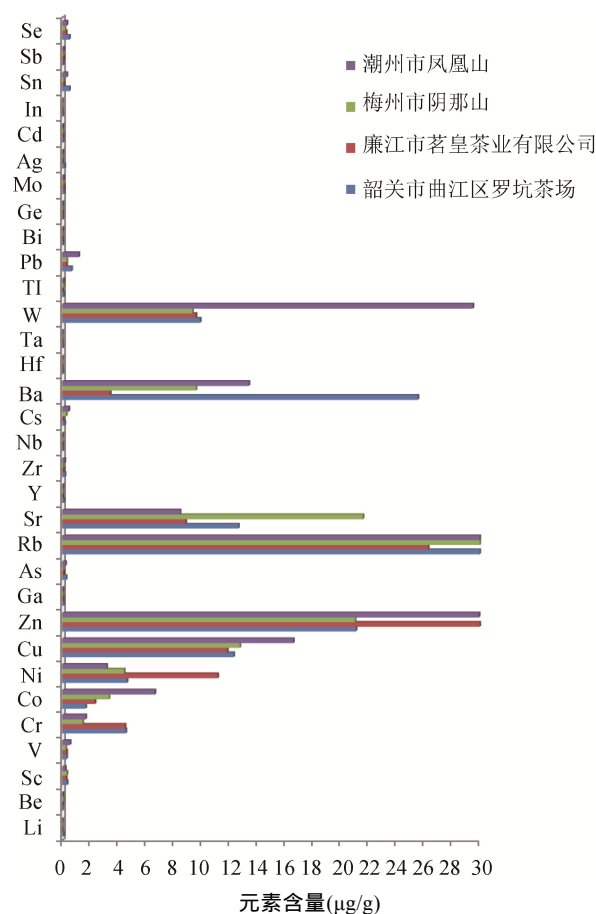


图 2 茶树芽叶 32 种元素单质含量  
Fig. 2 Content of 32 single elements in shoots of tea plant

### 3.2 不同成熟度茶叶各元素含量与土壤元素含量的相关性

根据表 2, 只有元素 Y 在成熟叶中的含量与土壤中的含量呈显著相关, 以土壤中 Y 含量为自变量, 成

熟叶中  $Y$  含量为因变量, 回归方程为  $Y=0.0112X+0.0497(R^2=0.9983)$ 。茶叶中其他各元素与土壤元素含量的相关性不明显, 说明茶树对土壤中元素的吸收为主动转运, 并非土壤中某一单一元素的含量越高, 茶树就吸收得越多。

### 3.3 茶树成熟叶对土壤元素的吸收情况

如表 3 所示, 廉江、梅州、潮州三地茶树体内 Li、Be、V、Ga、Zr、Nb、Hf、Ta、Ge、TiO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-T 的含量占土壤中相应元素含量的千分之几, 利用率较低。而茶树成熟叶对 Ni、Cu、Rb、Mo、Cd、Sn 有一定的富集作用, 对 Sr、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、CaO、MnO 的富集作用较强, 特别是 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量茶树芽叶、成熟叶土壤比值分别为 39.77、4.78, CaO 含量茶树芽叶、成熟叶与土壤比值分别为 39.48、14.35。以上元素除 Li、Be、P、F 外, 在元素周期表中处于第四、第五周期的 I A、IIIA、IVA、I B、IVB、VB、VIII, 说明茶树对处于

元素周期表以上位置的元素选择性吸收较强。土壤中元素含量高, 而茶树体内该元素含量低表明茶树对该元素需求量低甚至没有需求, 土壤中元素含量低而茶树体内该元素含量高表明茶树对该元素需求量大。

## 4 讨论

根据实验结果, 茶幼叶中含有多种对人体有益的矿物质如 Fe、Se、Mo 等。茶叶主要利用茶树的嫩芽叶制成, 可以通过适当调节土壤中某些元素的含量调节茶树幼嫩组织中的元素含量。如硒肥对提高茶叶品质和增加茶体内硒含量具有明显促进作用<sup>[13]</sup>。某些元素是茶树正常生长必不可少的元素, 而另一些元素对茶树生长不利, 弄清茶树生长生殖与土壤元素的关系, 有助于指导茶园合理施肥, 提高茶叶品质与产量。

表 2 不同茶叶成熟度各元素含量与土壤元素含量相关性( $r^2$ )

Table 2 Correlation of elements between tea leaves of different grade of maturity and soil

元素	成熟度			元素	成熟度		
	芽叶	成熟叶	老叶		芽叶	成熟叶	老叶
Li	—	0.8129	0.3016	Ta	0.078	0.3656	0.0438
Be	0.3181	0.0008	0.2375	W	0.9972	0.9463	0.7158
Sc	0.189	0.0377	0.0094	Tl	0.194	0.4948	0.6759
V	0.595	0.005	0.0375	Pb	0.7434	0.7602	0.272
Cr	0.5707	0.3025	0.006	Bi	0.6917	0.9878	0.9444
Co	0.568	0.713	0.1033	Ge	0.1347	0.0197	0.0549
Ni	0.6142	0.0025	0.208	Mo	0.9173	0.9439	0.7955
Cu	0.975	0.923	0.1189	Ag	0.6882	0.18	0.272
Zn	0.0353	0.5596	0.5412	Cd	0.3364	0.5311	0.1156
Ga	0.661	0.729	0.3221	In	0.0203	0.12	0.07
As	0.2279	0.9242	0.6662	Sn	0.0572	0.043	0.4307
Rb	0.9007	0.9734	0.829	Sb	0.8973	0.729	0.019
Sr	0.2485	0.6813	0.0207	Se	0.0198	0.728	0.1921
Y	0.7745	0.9983	0.4807	MgO	0.1439	0.897	0.059
Zr	0.0877	0.0645	0.5468	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.1494	0.0009	0.1012
Nb	0.1013	0.4368	0.38	CaO	0.2153	0.063	0.339
Cs	0.2453	0.358	0.216	TiO <sub>2</sub>	0.0202	0.7268	0.0211
Ba	0.4586	0.3702	0.7114	MnO	0.0356	0.654	0.012
Hf	0.3388	0.0045	0.5985	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -T	0.078	0.8005	0.0821

表3 成熟叶元素含量与土壤元素含量比值  
Table 3 Ratios of content of elements in mature tea leaves to soil

元素	廉江	梅州	潮州
Li	0.75%	0.05%	0.12%
Be	0.17%	0.99%	3.83%
Sc	11.26%	5.10%	0.87%
V	1.33%	0.25%	0.13%
Cr	32.31%	3.32%	1.10%
Co	3.00%	6.07%	16.54%
Ni	148.97%	17.08%	5.46%
Cu	210.62%	31.17%	14.68%
Zn	34.06%	22.52%	10.83%
Ga	0.36%	0.33%	0.16%
As	13.80%	57.48%	2.77%
Rb	11.14%	41.07%	129.26%
Sr	385.14%	206.03%	17.50%
Y	2.67%	1.48%	1.39%
Zr	0.05%	0.08%	0.51%
Nb	0.21%	0.12%	0.07%
Cs	0.72%	4.33%	9.85%
Ba	13.30%	7.07%	7.53%
Hf	0.17%	0.16%	0.45%
Ta	0.72%	0.76%	0.22%
W	2.43%	5.11%	48.66%
Tl	9.27%	18.55%	18.58%
Pb	9.22%	2.56%	1.26%
Bi	1.29%	3.73%	2.05%
Ge	0.86%	0.37%	0.44%
Mo	148.27%	6.15%	4.51%
Ag	1.72%	1.38%	0.59%
Cd	24.93%	32.20%	358.19%
In	10.65%	6.68%	89.43%
Sn	10.67%	15.45%	598.80%
Sb	17.15%	2.35%	18.37%
Se	14.22%	17.47%	3.60%
MgO%	76.54%	61.99%	14.16%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	3977.27%	478.33%	160.18%
CaO%	3948.79%	1435.41%	37.58%
TiO <sub>2</sub> %	0.51%	0.15%	0.11%
MnO%	662.39%	297.34%	38.42%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -T%	1.17%	0.20%	0.10%

0 ≤ 茶树成熟叶与土壤元素含量比值 < 1%  
 1% ≤ 茶树成熟叶与土壤元素含量比值 < 100%  
 茶树成熟叶与土壤元素含量比值 ≥ 100%

茶树也会吸收土壤中对人体有害的元素如重金属元素、稀土元素等,成熟度不同的茶叶同种元素含量与该种元素在茶树体内的代谢有关。因此茶园选址之前需检测土壤相关元素含量,对有害元素含量超标的土壤应放弃茶树种植,以保证茶叶安全生产。根据实验结果,重金属元素 Co、Ni、Pb、Bi、Sb 主要集中在老叶中。这几种元素中,Pb 能促进细胞产生自由基,进而使细胞产生氧化损伤<sup>[14,15]</sup>。因此,Pb 含量超标对人体危害较大。实验测得韶关市曲江区罗坑茶场、廉江市茗皇茶业长山镇基地、梅州阴那山、潮州凤凰山四地茶园茶叶铅含量为 0.294~4.815 μg/g,芽叶中含量 ≤ 1.165 μg/g,符合 GB 2762-2012《食品中污染物限量》对茶叶铅含量 5.0 mg/kg 的限量规定。而重金属元素 Co、Cu,同时也是人体必需微量元素,Co 是维生素 B<sub>12</sub> 的组成成分,B<sub>12</sub> 活性代谢产物钴胺素对改善糖尿病合并末梢神经病变效果显著<sup>[16]</sup>。Cu 主要集中在茶树幼嫩叶中,是茶树体内多种氧化酶的组成成分<sup>[17]</sup>。同一元素在茶树体内的含量与部位有关,就铅元素而言,其含量在茶树体内由高到低分布次序为:吸收根、茎(生产枝)、老叶(当年生成熟叶)、主根、新梢(一芽二叶)<sup>[18]</sup>。在生产上应制定合理的采摘标准,特别是对鲜叶有一定成熟度要求的乌龙茶和黑茶,适当嫩采,可降低茶叶中有害元素含量。

实验测得 Ga、Sr、Ba、Pb 含量与成熟度呈正相关,但不是茶树必需元素,Ga 对人体有一定毒性,但具有预防及治疗骨质疏松的作用<sup>[19,20]</sup>。心血管疾病死亡率的升高与饮用水中 Ba 浓度的升高有一定关系<sup>[21]</sup>,Sr 是人体必需微量元素,与人体骨骼的形成密切相关<sup>[22]</sup>。陈传群等<sup>[23]</sup>研究表明由茶树地上部分引入的<sup>89</sup>Sr,其在茶叶中的浓度比由土壤引入的高得多。因此在茶园施肥时可结合叶肥的喷施,加速茶树对肥料的吸收与利用。

土壤中各元素的含量及组成影响茶树体内相应元素的含量及分布,土壤元素对一些元素影响较大,而大部分茶叶元素与土壤元素含量并不成简单的线性关系。茶树与土壤元素含量的关系是受到茶树本身、生长环境、栽培条件等多种因素影响而在宏观上的一种体现,茶鲜叶中某种特定的元素含量与茶树品种有关,还与该元素本身的理化性质、在土壤中的存在形式以及茶树对该元素的吸收、转运、同化形式

有关。此外,还与采摘季节及环境中的微生物有关。不同采摘季节,茶树一芽二叶矿物质含量不同<sup>[24]</sup>。贺行良等<sup>[25]</sup>研究指出元素全量并不是有效量的完全控制因素,土壤酸性增强会增加 Zn、Cu、B、Fe、Mo 的生物有效性。茶园中广泛存在丛枝菌根真菌<sup>[26]</sup>,可以促进土壤养分循环<sup>[27]</sup>,促进植物对养分的吸收<sup>[28]</sup>。在生产上,可利用茶树与土壤间各元素的相关性,合理施肥,防止茶树出现缺素症和盐胁迫症状。

实验中检测了四个地区茶树及土壤中 38 种元素及元素化合物含量,以原子序数为代表的元素本身的性质对茶叶与土壤各元素含量的影响,还有待进一步研究。

#### 参考文献

- [1] Suliburska J, Bogdanski P, Szulinska M, *et al.* Effects of green tea supplementation on elements, total antioxidants, lipids, and glucose values in the serum of obese patients [J]. *Bio Trace Elem Res*, 2012, 149(3): 315–322.
- [2] 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 fluoride/aluminium in subcellular of tea leaves and roots [J]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2013.
- [3] 孙远明. 食品营养学[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 113.  
Sun YM. Food nutrition [M]. Beijing: Science Press, 2006: 113.
- [4] 贾朝佩, 周俊, 朱江. 我国主要富硒茶的增硒途径与开发前景[J]. *茶叶通报*, 2010, (02): 81–84.  
Jia CP, Zhou J, Zhu J. The way and development prospect of selenium increasing of main selenium rich tea in our country [J]. *J Tea Bus*, 2010, (02): 81–84.
- [5] 袁可能. 植物营养元素的土壤化学[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 7–15.  
Yuan KN. Soil chemistry of plant nutrition elements [M]. Beijing: Science Press, 1983: 7–15.
- [6] 方兴汉, 吴采. 茶树某些矿质元素缺乏症的研究[J]. *中国茶叶*, 1984, (6): 23–25.  
Fang XH, Wu C. Research of deficiency of some mineral elements in tea plant [J]. *Chin Tea*, 1984, (6): 23–25.
- [7] 徐劼. 茶树(*Camellia sinensis* L.)对铅的吸收累积及耐性机制研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.  
Xu J. Mechanisms of Lead Uptake/Accumulation and Tolerance in Tea Plant(*Camellia sinensis* L.)[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011.
- [8] 杨婷婷, 邓泽元, 胡小飞, 等. N、P 调控外源 Se、Zn 对茶叶元素含量及抗氧化能力的影响[J]. *食品工业科技*, 2014, (06): 125–128.  
Yang TT, Deng ZY, Hu XF, *et al.* Effect of N and P regulating exogenous Se and Zn on elements contents and antioxidant ability in tea [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2014, (06): 125–128.
- [9] 罗婷, 赵镭, 胡小松, 等. 绿茶矿质元素特征分析及产地判别研究[J]. *食品科学*, 2008, 29(11): 494–497.  
Luo T, Zhao L, Hu XS, *et al.* Study on characteristic analysis of mineral elements in green tea and discrimination based on origin [J]. *Food Sci*, 2008, 9(11): 494–497.
- [10] 任明强, 赵宾, 赵国宣, 等. 不同叶位新稍绿茶的品质及其影响因素探讨[J]. *贵州农业科学*, 2010, 38(12): 77–79.  
Ren MQ, Zhao B, Zhao GX, *et al.* Quality of green tea from different leaf position on new shoots and its influence factors [J]. *Guizhou Agric Sci*, 2010, 38(12): 77–79.
- [11] 董迹芬, 边金霖, 朱全武, 等. 茶叶香气与产地土壤条件的关系[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2013, 39(03): 309–317.  
Dong JF, Bian JL, Zhu QW, *et al.* Relationship between tea aroma and soil conditions [J]. *J Zhejiang Univ (Agric Life Sci)*, 2013, 39(03): 309–317.
- [12] 刘文华. 稀土元素分析[J]. *分析实验室*, 2012, (7): 111–123.  
Liu WH. Rare earth elements analysis [J]. *Chin J Anal Lab*, 2012, (7): 111–123.
- [13] 李静, 夏建国, 巩发永, 等. 外源硒肥对茶叶硒含量及化学品质的影响研究[J]. *水土保持学报*, 2005, (4): 104–106, 126.  
Li J, Xia GJ, Gong FY, *et al.* Effect of selenium application on selenium content and chemical quality of tea [J]. *J Soil Water Cons*, 2005, (4): 104–106, 126.
- [14] Gurer H, Ercal N. Can antioxidants be beneficial in the treatment of lead poisoning? [J]. *Free Rad Bio Med*, 2000, 29(10): 927–945.
- [15] Maria J, Janina M, Malgorzata MB. Involvement of some low-molecular thiols in the peroxidative mechanisms of lead and ethanol action on rat liver and kidney [J]. *Toxicology*, 2006, 219(1): 11–21.
- [16] 李斌, 刘恒明. 硫胺素类药物治疗糖尿病微血管病变研究进展[J]. *医学导报*, 2007, 26(2): 177.  
Li B, Liu HM. The research of treatment of diabetic microvascular lesions by thiamine drugs [J]. *Med Rev*, 2007, 26(2): 177.
- [17] 陈华葵, 杨江帆. 土壤微量营养元素对武夷肉桂茶品质的影响[J]. *亚热带植物科学*, 2014, 43(3): 216–221.  
Chen HK, Yang JF. Effect of soil's micronutrient element on the

- quality of wuyi rougui tea [J]. *Subt Plant Sci*, 2014, 43(3): 216–221.
- [18] 石元值, 金李孟, 祝幼松. 第一讲: 茶叶重金属元素含量现状及累积特点[J]. *中国茶叶*, 2007, (06): 17–19.  
Shi YZ, Jin LM, Zhu YS. The first lecture: the recent condition and cumulative characteristics of heavy metals in tea [J]. *Chin Tea*, 2007, (06): 17–19.
- [19] Chen XX, Wang C. Activity of gallium on prevention of fatal cage-layer osteoporosis [J]. *Bio Trace Ele Res*, 2009, 132(1-3): 129–135.
- [20] Perry HMJ, Kopp SJ, Perry EF, *et al.* Hypertension and associated cardiovascular abnormalities induced by chronic barium feeding [J]. *J Toxicol Environ Health*, 1989, 28(3): 373–388.
- [21] 刘丹, 王敏, 陈群, 等. 硝酸镓治疗骨质疏松大鼠血清 IL-6、骨钙素水平及骨结构的研究[J]. *中国地方病防治杂志*, 2013, 28(04): 280–281.  
Liu D, Wang M, Chen Q, *et al.* Research of IL-6, osteocalcin level and bone structure in osteoporosis rat serum treated by gallium nitrate [J]. *Chin J Crd Endem Dis*, 2013, 28(04): 280–281.
- [22] 吴茂江. 锶与人体健康[J]. *微量元素与健康研究*, 2012, 29(5): 66–67.  
Wu MJ. The relationship between strontium and human health [J]. *Studies Trace Elem Health*, 2012, 29(5): 66–67.
- [23] 陈传群, 王寿祥, 张永熙, 等. 锶-89 在茶叶中的消长动态[J]. *中国核科技报告*, 1994, (00): 530–538.  
Chen CQ, Wang SX, Zhang YX, *et al.* The increasing and decreasing of strontium-89 in tea [J]. *Chin Nuclear Technol Rep*, 1994, (00): 530–538.
- [24] Erturk Y, Ercisli SM, *et al.* Seasonal variation of total phenolic, antioxidant activity and minerals in fresh tea shoots (*Camellia sinensis* var. *sinensis*) [J]. *Pakistan J Pharm Sci*, 2010, 23(1): 69–74.
- [25] 贺行良, 刘昌岭, 任宏波, 等. 青岛崂山茶园土壤微量元素有效量及其影响因素研究[J]. *土壤通报*, 2008, 39(5): 1131–1134.  
He XL, Liu CL, Ren HB, *et al.* The effective dose and its influence factors of soil trace elements in tea garden in Laoshan, Qindao [J]. *Chin J Soil Sci*, 2008, 39(5): 1131–1134.
- [26] 吴丽莎, 王玉, 李敏, 等. 崂山茶区茶树根围 AM 真菌多样性[J]. *生物多样性*, 2009, 17(1): 499–505.  
Wu LS, Wang Y, Li M, *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi diversity in the rhizosphere of tea plant (*Camellia sinensis*) grown in Laoshan, Qindao [J]. *Biodiv Sci*, 2009, 17(1): 499–505.
- [27] Hodge A, Fitter AH. Substantial nitrogen acquisition by arbuscular mycorrhizal fungi from organic material has implications for N cycling [J]. *Proc Nat Acad Sci USA*, 2010, 107(31): 13754–13759.
- [28] Zhu XC, Song FB, Liu SQ, *et al.* Arbuscular mycorrhizae improves photosynthesis and water status of *Zea mays* L. under drought stress [J]. *Plant Soil Environ*, 2012, 58(4): 186–191.

(责任编辑: 杨翠娜)

## 作者简介



蒋陈凯, 硕士研究生, 主要研究方向为茶叶深加工及茶植物资源。  
E-mail: greenbreezekai@126.com



周玲, 硕士, 讲师, 主要研究方向为茶叶贸易。  
E-mail: 710242679@qq.com