

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201410014

刘海燕,黄彩梅,周盛勇,等. 茶园土壤及与茶叶中微量元素锌硒含量相关性的研究[J]. 广西植物, 2015, 35(6):868—874

Liu HY, Huang CM, Zhou SY, et al. Correlation of zinc and selenium contents in tea and the planting soil[J]. *Guihaia*, 2015, 35(6):868—874

茶园土壤及与茶叶中微量元素锌硒含量相关性的研究

刘海燕¹, 黄彩梅², 周盛勇², 汪建文³, 邹天才^{3*}

(1. 贵州省植物园, 贵阳 550004; 2. 贵州省第三测绘院, 贵阳 550004; 3. 贵州科学院, 贵阳 550001)

摘 要: 植物生长的环境适应及其内含物质功能和变化规律的研究已成为热点问题。该研究对贵州省地标品牌湄潭翠芽、凤冈锌硒茶 4 个样地 12 个样点茶园土壤及其对应种植点茶叶样品中锌硒含量变化进行了检测与分析。结果表明:(1)4 个样地中,3 个样地的锌含量都是原土高于种植土,而硒含量没有明显规律性变化;各主产区土壤锌硒含量的标准差均大于均值的 5%,土质均匀度都较低;(2)4 个样地新叶(一芽二叶)与老叶的锌含量都呈现显著差异,而硒在新叶和老叶中的含量差异无明显变化规律;(3)锌元素在茶树体内转移现象明显,由老叶向新叶中转移,新叶中含量较高;硒元素在新叶和老叶中的含量变化不明显。新叶中锌的含量与其 0~20 cm 表层土样和 21~40 cm 深层土样中锌的含量呈极显著正相关($P<0.01$),相关系数为 0.768;而新叶硒的含量与 0~20 cm 表层土中硒含量呈显著正相关($P<0.05$)。茶叶中锌硒主要是通过茶树根系从土壤中吸收和传输,但其吸收转移效率不由土壤中的含量多少直接决定,还受到茶园土壤质地、茶园温湿度等环境管控因素的影响,锌硒微量元素参与茶树体内的生理作用和代谢途径具有较大的差异。因此,进一步探索茶树吸收与转化锌硒微量元素的存在形态和作用机理,了解不同产区茶叶中微量元素锌硒含量与其茶园土壤的关系,对于生产适宜于人类身体健康适当锌硒含量的有机茶具有重要意义。

关键词: 茶园土壤; 锌; 硒; 茶树吸收; 含量分析

中图分类号: Q945.78 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2015)06-0868-07

Correlation of zinc and selenium contents in tea and the planting soil

LIU Hai-Yan¹, HUANG Cai-Mei², ZHOU Sheng-Yong²,
WANG Jian-Wen³, ZOU Tian-Cai^{3*}(1. *Guizhou Botanical Garden*, Guiyang 550004, China; 2. *Guizhou the Third Surveying and Mapping Court*,
Guiyang 550004, China; 3. *Guizhou Academy of Sciences*, Guiyang 550001, China)

Abstract: The discussion for the plant adaptation to environment and the function and transition of inclusions has become a hot research topic. This article selected four plots from Guizhou famous Fenggang zinc-selenium tea and Meit-an Tsui bud production regions, established twelve samples, studied the change of trace elements, zinc and selenium contents, in different tea garden soils and the tea in corresponding. The results were as follows: (1) In four plots, the contents of zinc in the uncultivated original soil were higher than sample soil in three plots, but the contents of selenium had no obvious regular change. The standard deviations of zinc and selenium contents were greater than 5% of average in all samples, that mean the soil uniformity of the four plots were all relatively low; (2) Significant differences were exhibited in the zinc content between new leaves(one bud and two leaves) and old leaves in four plots,

收稿日期: 2014-10-10 修回日期: 2014-12-18

基金项目: 国家自然科学基金(31360075); 贵州省优秀科教人才省长专项(黔省专合字[2012]31 号); 贵州省社会发展科技攻关项目(黔科合 SY 字[2012]3036 号, [2013]3161 号)。

作者简介: 刘海燕(1982-), 女, 安徽庐江县人, 硕士, 副研究员, 从事植物学研究, (E-mail) liuhaiyan301@163.com。

* 通讯作者: 邹天才, 研究员, 硕士生导师, 主要从事植物学研究, (E-mail) 1211111951@qq.com。

while the difference in selenium content had no obvious regular change. (3) The transfer of zinc was obvious in tea, it transferred from old leaves to new leaves, and new leaves was higher. The content of selenium was rare in tea and no obvious rule between old leaves and new leaves. The content of zinc in new leaves was highly significant positive correlation with the zinc content in 0—20 cm surface soil and 21—40 cm deep soil samples ($P < 0.01$), the coefficient correlation was 0.768. The selenium content in new leaves had a significant positive correlation with the 0—20 cm surface soil ($P < 0.05$). The zinc and selenium were absorbed and translocated from soil by tea roots usually. The absorption and transfer efficiency was not only decided by the content in soil, but also related to soil texture, temperature, humidity and other external factors in the tea garden. There was a great difference between zinc and selenium in the physiological and metabolic pathway of tea. Therefore, we need to further research the the absorption and transformation of trace elements zinc, selenium in tea, the existing form and mechanism of action, the correlation of the zinc and selenium content in tea and garden planting soil in different production regions. These are of great significant application values for producing organic tea with appropriate zinc and selenium contents to human's health.

Key words: tea garden soil; zinc; selenium; tea absorption; content analysis

对植物生长与其环境因素所产生的形态上和生理适应方面的研究,一直是植物生理学和现代农业关注的热点问题,这种研究有助于揭示特殊环境条件下的植物生理学规律、提高作物的品质和产量,以及培育抗逆品种和优良品种等。茶叶是人类的健康饮料,茶叶中微量元素的成分及其含量多少是茶叶品质好坏的物质基础,测试分析茶园环境对茶叶品质及其微量元素含量的影响,探讨茶叶中的化学成分及其来源在生产上具有重要价值和意义。

锌、硒是人和动物生命所必需的微量元素,也是茶树生长的有益元素。茶园土壤养分与茶叶品质研究表明,茶园土壤有效锌含量与茶叶氨基酸含量显著相关,锌对氨基酸的形成和茶多酚含量提高有促进作用(何电源等,1989)。在茶树的生长发育过程中,锌是诸多新陈代谢酶的组成成分,如碳酸酐酶、磷酸酯酶、苹果酸脱氢酶和谷氨酸脱氢酶等都含有锌,而且参与了光合作用的全过程,可促使芽叶对 CO_2 的吸收和同化,同时促进蛋白质的合成与转化。锌还能增强茶树根系对氮和磷的吸收,从而促进茶树萌芽和旺盛生长(刘小文等,2010; Chandra *et al.*, 2012)。茶树是一种吸收、富集硒元素能力很强的植物,茶树通过生物富集和转化作用,能把非生物活性和毒性高的无机硒转化为安全有效、毒性低的有机硒(温立香,2013)。硒对茶叶产量和品质的影响可能是通过间接作用实现的,或通过对土壤中的酶类活性产生影响,进而影响茶树的养分吸收,最终对茶叶的产量和品质产生作用(董广辉等,2002)。土壤含硒量是茶叶含硒量的决定因素(唐颖,2012)。因此,本文选择了湄潭翠芽、凤冈锌硒茶主产区的本地优势栽培种黔湄 809 开展检测分析,就茶园土壤

中的锌硒含量以及与其茶叶中锌硒含量之间的相互关系及其规律进行了研究和讨论。

1 材料与方法

1.1 材料

在对贵州锌硒茶主产区开展广泛调查研究的基础上,选取湄潭翠芽主产区的核桃坝茶场(坪坝)、云贵山茶场(山区)和凤冈锌硒茶主产区的田坝仙人岭山上茶场(山区)和田坝仙人岭山下茶场(坪坝)为样地,采集土样和茶叶嫩叶。茶树品种为抗寒性强的当地栽培优势品种—黔湄 809,树龄 5 a,茶园管理同步,在冬季 12 月施过有机肥的种植茶园。

2012 年 1—2 月,在湄潭、凤冈各选取生境和海拔差异明显的 2 个样地(茶场),每个样点随机选取样点 3 个,样点选择用罗盘仪定向、皮尺量距离,设置面积为 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 。对每个样点按照五点法设置 5 个采样点,茶叶种植带宽的采用蓬下取土,种植带窄的采用蓬心取土,取土时将上层的腐殖质去掉,每个采样点的取土深度相同、采样量均等。取样器垂直于地面入土,土样上层与下层的厚度一致。每个点用取土器分别取表层 0~20 cm 和深层 21~40 cm 土样 1 kg,同时在该样地周围等距离选取三点取样非耕作的原土土样各 1 kg 做对照试验。土样用密封袋封装,贴好标签,标注编号、土壤类型、采样地点、时间、土层深度等,带回实验室检测。

2012 年和 2013 年的 4 月 1—16 日期间,在试验样地的每个土样采样点对应种植的茶树上采取刚发出的茶叶新叶 50 g,采取方式为一芽两叶,用密封袋封装,贴上标签,标注编号、采样茶叶名称、地点、

时间,采后 12 h 内烘干保存,及时固定绿茶营养成分,带回实验室检测。

1.2 检测与分析方法

土壤锌采用原子吸收光谱分析法,参照 GB/T 15337-2008。土壤硒采用原子荧光光度法,参照 GB/T 21729-2008。茶叶锌采用原子吸收光谱分析法,参照 GB/T 599.14-2003。茶叶硒采用原子荧光光度法,参照 GB/T 21729-2008(阮宇成等,1983)。土壤和茶叶样品中所测锌、硒含量均为全量。

1.3 数据统计分析

采用 SPSS 17.0 软件进行数据处理及分析,用 Excel 2003 软件制图。

2 结果与分析

2.1 茶园土壤与原土的锌硒差异

对种植茶园土壤和试验样地非耕作原土的锌硒含量进行了检测分析(表 1)。从表 1 可以看出,除湄潭云贵山原土样的锌含量略高于种植区并表现出显著性差异外,其他 3 个样地原土样的土壤锌含量显著高于种植区。从表 1 的差异性分析可以看出,凤冈田坝仙人岭山上和湄潭云贵山原土与种植茶园土壤的硒含量差异均达到显著水平;检测点的平均值显示了凤冈田坝仙人岭山下和湄潭核桃坝的硒含量差异不显著。湄潭云贵山、核桃坝的原土硒含量高于种植土,但凤冈田坝仙人岭茶产区的原土硒含量则略低于种植土,这是因为湄潭云贵山和核桃坝的原土表层 0~20 cm pH 值为 4.49、4.59,深层 21~40 cm pH 值为 4.9、4.67,凤冈田坝仙人岭山上和山下茶场的原土表层 0~20 cm pH 值为 4.51、4.27,深层 21~40 cm pH 值为 4.55、4.55,硒的存在形态和土壤类型是影响植物吸收硒的重要因素,土壤中的硒消耗减少而使检测出的含量增加。此外,凤冈田坝仙人岭茶场主要是以生产富锌富硒有机绿茶为主,在管理上注重了锌硒肥的施用,由此有可能导致种植土硒含量高于非种耕作原土的含量。

2.2 4 种不同茶园样地中土壤锌硒含量的比较

从表 2 得知,除凤冈田坝仙人岭山上外,其他 3 个产区的样地都是表层土的锌硒含量略低于深层土,原因可能是茶园中茶树对表层土锌硒的吸收消耗,同时由于灌溉雨水等的渗透作用使锌硒成分向深层土转移。凤冈田坝仙人岭山上、凤冈田坝仙人岭山下、湄潭云贵山这 3 个样地的土壤类型都是砂

页岩黄壤,而湄潭核桃坝的土壤类型为小黄泥,小黄泥粘性比较大,土壤通透性较差,影响茶树对于微量元素的吸收。对 0~20 cm 表层土样中的各组数据分析显示:锌含量以核桃坝最大,为 $87.82 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,湄潭云贵山最低,为 $50.50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,总体上是 $D>B>A>C$ 。方差分析结果显示,A 与 D、B 与 D、C 与 D 之间的差异性达到极显著水平($P<0.01$)。这表明湄潭核桃坝(D 组)与其他各组的锌元素含量相比较时存在显著差异。

0~20 cm 表层土样中硒含量为 $A>D>B>C$,方差分析结果显示 A 与 B、A 与 C、A 与 D 之间的差异性达到了极显著水平($P<0.01$)。这表明凤冈田坝仙人岭山上(A 组)与其他各组的硒元素含量相比较时有显著差异。

对 21~40 cm 深层土样中各组数据进行分析显示:锌含量为 $D>B>A>C$ 。方差分析结果显示 A 与 D、B 与 D、C 与 D 之间的差异性达到了极显著水平($P<0.01$)。这表明湄潭核桃坝(D 组)与其他各组的锌元素含量相比较时存在显著差异。其他各组之间的差异均不显著。

21~40 cm 深层土样中硒含量 $A>D>B>C$,方差分析结果显示各处理组间的差异性未达到显著性水平,表明各组之间硒元素含量差异不显著。

综合表层土和深层土的分析结果发现,湄潭核桃坝的锌含量最高。湄潭核桃坝的土壤为富锌土,表层土平均含量为 $87.82 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,深层土平均含量高达 $95.38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

综合分析表层土和深层土中硒元素的含量发现,凤冈田坝仙人岭山上(A 组)的硒元素偏高,0~20 cm 表层土的含量比 21~40 cm 深层土的含量略高。根据李家熙等(2000)的划分标准,0.10~0.20 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为低硒土壤,0.20~0.40 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为中硒土壤,大于 0.40 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为富硒土壤。这 4 个试验选点茶园的土壤硒含量均小于 0.10 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,表明选点茶园土壤硒含量较低。植株硒含量主要受土壤硒水平的影响,低硒水平下,土壤硒的吸收利用程度极高,而高硒水平下,植株吸收的土壤硒向生殖器官的迁移程度较高。硒是人体内必需之微量元素,若硒摄取不足或摄取过量,均可能导致疾病产生,而这 4 个选点茶园中表层土和深土层的硒含量分别为 0.035~0.128、0.043~0.102 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,根据我国饮用天然矿泉水国家标准(GB8537)中硒含量为 0.010~0.050 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的限量指标,可以认为选点茶

表 1 种植茶园土壤与原土的锌硒含量差异

Table 1 Contents of difference zinc and selenium between tea garden soil and original soil

试验样地及其海拔高度 Sample area and altitude	土壤深度及其 pH 值 Depth of soil and pH	土样采样 Soil sample	锌含量 Content of zinc (mg · kg ⁻¹)		硒含量 Content of selenium (mg · kg ⁻¹)	
			表层 Surface soil (0~20 cm)	深层 Deep soil (21~40 cm)	表层 Surface soil (0~20 cm)	深层 Deep soil (21~40 cm)
田坝仙人岭 On Xianrenling Mountain in Tianba; Alt. 1 135 m	表层 Surface soil (0~20 cm) pH=4.51; 深层 Deep soil (21~40 cm) pH=4.55	原土 Original soil	258.00±9.00d	247.03±3.86e	0.037±0.006a	0.043±0.006a
		种植土 1 Soil sample 1	61.53±0.75c	59.17±1.82c	0.140±0.010d	0.057±0.006ab
		种植土 2 Soil sample 2	43.60±2.52a	31.93±1.11a	0.080±0.010b	0.040±0.010a
		种植土 3 Soil sample 3	51.53±0.91b	51.50±0.80b	0.077±0.006b	0.053±0.006ab
		种植土 4 Soil sample 4	62.00±1.41c	60.10±1.66c	0.110±0.010c	0.067±0.015b
		种植土 5 Soil sample 5	65.53±1.70c	79.03±0.75d	0.107±0.006c	0.103±0.015c
		种植土平均数 Average of soil sample	56.84±9.05b	56.35±17.00b	0.103±0.026b	0.064±0.024b
田坝仙人岭 山下 Below Xianren- ling Mountain in Tianba; Alt. 947 m	表层 Surface soil (0~20 cm) pH=4.27; 深层 Deep soil (21~40 cm) pH=4.55	原土 Original soil	268.20±5.31d	258.47±1.56e	0.047±0.006a	0.047±0.006a
		种植土 1 Soil sample 1	68.07±0.85b	78.63±0.67d	0.050±0.010a	0.047±0.006a
		种植土 2 Soil sample 2	67.03±1.36b	74.60±1.28c	0.047±0.006a	0.063±0.006bc
		种植土 3 Soil sample 3	74.47±1.23c	74.67±1.10c	0.050±0.010a	0.057±0.012abc
		种植土 4 Soil sample 4	51.70±1.87a	47.33±0.91a	0.050±0.010a	0.070±0.010c
		种植土 5 Soil sample 5	56.03±1.69a	57.27±1.37b	0.053±0.006a	0.053±0.006ab
		种植土平均数 Average of soil sample	63.46±9.34b	66.50±13.53b	0.050±0.002a	0.058±0.009a
湄潭云贵山 Yunguishan Mountain in Meitan; Alt. 1 096 m	表层 Surface soil (0~20 cm) pH=4.49; 深层 Deep soil (21~40 cm) pH=4.59	原土 Original soil	61.30±2.61c	51.43±0.78c	0.090±0.010b	0.073±0.006b
		种植土 1 Soil sample 1	46.00±1.51a	48.53±1.25b	0.050±0.010a	0.047±0.006a
		种植土 2 Soil sample 2	46.30±0.87a	51.87±1.70c	0.037±0.006a	0.053±0.006a
		种植土 3 Soil sample 3	45.37±1.10a	59.37±1.46e	0.047±0.006a	0.047±0.005a
		种植土 4 Soil sample 4	53.93±0.91b	43.37±1.06a	0.047±0.006a	0.047±0.005a
		种植土 5 Soil sample 5	59.87±1.46c	55.47±1.19d	0.043±0.006a	0.047±0.006a
		种植土平均数 Average of soil sample	50.29±6.39b	51.72±6.17a	0.045±0.005b	0.048±0.003b
湄潭核桃坝 Hetaoba in Meitan; Alt. 797 m	表层 Surface soil (0~20 cm) pH=4.59; 深层 Deep soil (21~40 cm) pH=4.67	原土 Original soil	156.83±2.63f	147.00±1.20e	0.067±0.006bc	0.057±0.006a
		种植土 1 Soil sample 1	67.30±0.92a	82.43±1.01a	0.057±0.006ab	0.057±0.006a
		种植土 2 Soil sample 2	82.03±1.46c	96.57±1.17c	0.053±0.006a	0.057±0.006a
		种植土 3 Soil sample 3	114.20±4.57e	90.07±1.07b	0.053±0.006a	0.063±0.006ab
		种植土 4 Soil sample 4	77.50±1.44b	117.77±0.87d	0.070±0.010c	0.070±0.010b
		种植土 5 Soil sample 5	92.57±2.47d	89.07±1.12b	0.053±0.006a	0.063±0.006ab
		种植土平均数 Average of soil sample	86.72±17.84b	95.18±13.59b	0.057±0.007a	0.062±0.005a

注：相同字母代表差异不显著,不同字母代表差异显著。
Note: The same letters mean no significant differences, the different letters within the same column mean statistical significant differences.

表 2 4 种不同表层土(0~20 cm)和深层土(21~40 cm)锌硒含量的比较

Table 2 Content compaision of zinc and selenium between surface soil (0—20 cm) and deep soil (21—40 cm) in four different plots

元素种类 Element type	土壤层 Soil layer	田坝仙人岭山上(A) On Xianrenling Mountain inTianba	田坝仙人岭山下(B) Below Xianrenling Mountain in Tianba	湄潭云贵山(C) Yunguishan Mountain in Meitan	湄潭核桃坝(D) Hetaoba in Meitan
锌含量 Content of zinc (mg · kg ⁻¹)	表层土 Surface soil	57.24±8.46aA	63.90±9.81aA	50.50±6.72aA	87.82±19.41aB
	深层土 Deep soil	56.78±16.63aA	67.10±13.86aA	51.52±6.26aA	95.38±13.57aB
硒含量 Content of selenium (mg · kg ⁻¹)	表层土 Surface soil	0.098±0.030aB	0.052±0.004aA	0.044±0.009aA	0.060±0.012aA
	深层土 Deep soil	0.068±0.034bA	0.058±0.013aA	0.050±0.007aA	0.066±0.009aA

注：数据为平均数±标准误差，不同字母间表示差异显著；大写 A、B 表示样地间比较，小写 a、b 表示深度间比较。
Note: All data were “Means±Std. Error”, different letters show significantly differences. Capital A, B mean comparison between different sample areas, lower cases a and b mean comparison between different depths.

园对种植适宜人体健康所需硒含量的优质绿茶是比较适宜的。

2.3 同一样方内土壤锌硒含量均匀度分析

根据表 2 的检测结果,对同一样方内 0~20 cm 表层土和 21~40 cm 深层土的锌硒含量均匀与否进行分析得图 1 和图 2。在图 1、图 2 中,工字型图样代表各样地中 5 个采样点土壤锌硒含量均值的标准差,若标准差>均值的 5%,则说明这 5 个采样点土壤锌硒含量差异显著,此样地的土质均匀度较低;反之则该样地的土质均匀度较高。从表 2 和图 1、图 2 中都可以算出,其锌硒含量均值的 5%分别为2.53~4.77 和 0.002~0.005,而锌硒含量的标准差分别为 6.26~19.41 和 0.004~0.034,其标准差皆大于均值的 5%,因此 4 个样地的土质均匀度都较低。

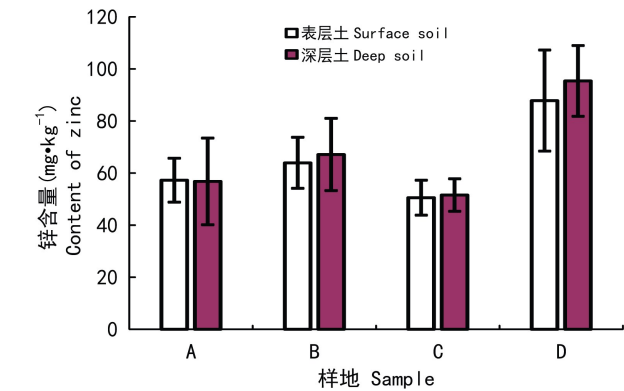


图 1 各样地土壤锌含量均匀度比较

Fig. 1 Comparison of content uniformity of zinc in different plots

2.4 各样地茶叶老叶与新叶中锌硒含量比较

从表 3 看出,各样地茶叶样品中老叶与新叶锌含量都呈现显著差异,硒含量在凤冈田坝仙人岭山上和湄潭云贵山呈现差异显著,而在凤冈田坝仙人

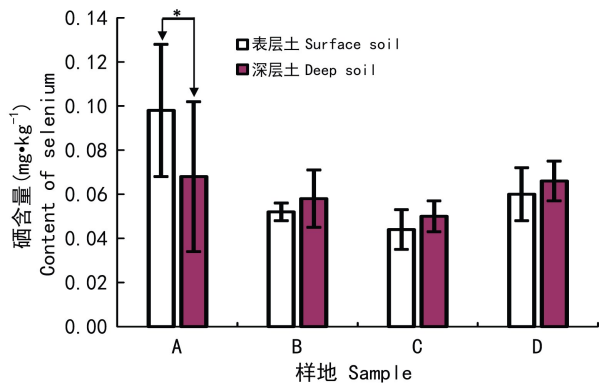


图 2 各样地土壤硒含量均匀度比较

Fig. 2 Comparison of content uniformity of selenium in different plots

岭山下和湄潭核桃坝则差异不显著。一般植物体内锌浓度达到约 100 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 时就表现为过量,浓度为 400 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 时就造成严重毒害(汪洪等,2009)。供试茶叶样品中的锌含量都在安全标准范围内,参与茶树体内的锌离子的跨膜运输蛋白:锌铁控制运转相关蛋白(ZIP)、自然抵抗相关巨噬细胞蛋白(NRAMP)、重金属 ATPase 酶、阳离子扩散协助蛋白(CDF)、 $\text{Mg}^{2+}/\text{H}^{+}$ 反向转运蛋白等能帮助锌从老叶向新叶中转移,因此老叶中含量明显低于新叶。而茶树对硒的积聚能力较弱,大部分的可溶性硒被转移到种子中,叶片中含量较少,并且在老叶和新叶中的含量无明显规律性变化。

2.5 土壤中锌硒含量与茶叶中锌硒含量相关性分析

从表 4 可以看出,0~20 cm 表层土和 21~40 cm 深层土中的锌含量呈极显著正相关($P<0.01$),相关系数为 0.768;茶叶新叶中硒含量与表层 0~20 cm 土样中硒含量呈显著正相关($P<0.05$)。

表 3 各样地茶叶老叶和新叶中锌硒含量的比较

Table 3 Contents compare of zinc and selenium
between old leaves and new leaves in four different plots

地点 Sample area	叶片类型 Type of leaf	锌含量 Content of zinc (mg · kg ⁻¹)	硒含量 Content of selenium (mg · kg ⁻¹)
田坝仙人岭山上 On Xianrenling Mountain in Tianba	老叶	15.63±0.83a	0.023±0.006a
	新叶 1	48.30±0.75c	0.023±0.006a
	新叶 2	51.23±0.59d	0.053±0.006b
	新叶 3	50.57±0.86d	0.070±0.010c
	新叶 4	46.63±0.74b	0.047±0.006b
	新叶 5	46.57±0.75b	0.050±0.010b
	新叶平均值	48.66±2.17b	0.049±0.017b
	Average of new leaves		
	老叶	12.57±0.93a	0.057±0.006b
	新叶 1	36.37±1.12b	0.053±0.006b
	新叶 2	36.23±1.01b	0.060±0.010b
	新叶 3	37.27±0.85b	0.030±0.010a
	新叶 4	37.27±0.71b	0.063±0.006b
	新叶 5	37.33±0.47b	0.067±0.116b
	新叶平均值	36.89±0.55b	0.055±0.015a
	Average of new leaves		
湄潭云贵山 Yunguishan Mountain in Meitan	老叶	11.53±0.75a	0.110±0.010d
	新叶 1	40.47±1.19b	0.023±0.006a
	新叶 2	41.87±0.55b	0.047±0.006b
	新叶 3	41.43±0.61b	0.060±0.010b
	新叶 4	41.17±0.81b	0.030±0.010a
	新叶 5	41.70±0.46b	0.083±0.006c
	新叶平均值	41.33±0.55b	0.049±0.024b
	Average of new leaves		
	老叶	11.63±0.85a	0.053±0.006b
	新叶 1	41.50±0.75b	0.057±0.006b
	新叶 2	53.50±0.66c	0.053±0.006b
	新叶 3	42.07±0.45b	0.093±0.006c
	新叶 4	41.70±1.11b	0.093±0.015c
	新叶 5	41.53±0.67b	0.030±0.010a
	新叶平均值	44.06±5.28b	0.065±0.027a
	Average of new leaves		

注：相同字母代表差异不显著，不同字母代表差异显著。
Note: The same letters mean no significant difference, the different letters within the same column mean statistical significant difference.

表 4 表层土(0~20 cm)和深层土(21~40 cm)中
锌硒含量与茶叶中锌硒含量相关性分析

Table 4 Correlation analysis of zinc and selenium
contents in tea, surface soil (0—20 cm)
and deep soil (20—40 cm)

项目 Item	深层土中 锌含量 Content of zinc in deep soil	表层土中 硒含量 Content of selenium in surface soil	深层土中 硒含量 Content of selenium in deep soil	新叶中 锌含量 Content of zinc in new leaves	新叶中 硒含量 Content of selenium in new leaves
表层土中锌含量 Content of zinc in surface soil	0.768 **	0.068	0.248	0.233	-0.035
深层土中锌含量 Content of zinc in deep soil		0.085	0.416	0.191	-0.084
表层土中硒含量 Content of selenium in surface soil			0.418	-0.181	0.448 *
深层土中硒含量 Content of selenium in deep soil				-0.013	0.041
新叶中锌含量 Content of zinc in new leaves					0.085

注：* 表示在 0.05 水平上显著相关；** 表示在 0.01 水平上显著相关。
Note: “*” means significant correlation at 0.05 level; “**” means significant correlation at 0.01 level.

3 讨论与结论

(1) 锌是茶树必需微量元素,茶叶中锌元素的来源及其含量高低,在自然状态下主要取决于土壤中有效锌的分布,土壤有效锌的多少与土壤中的全锌含量成正相关,并与成土母岩类型随母质风化程度及其酸碱性有直接关系,并受土壤理化性质的影响。硒是茶树的非必需元素,茶叶中硒含量的高低主要取决于土壤中的含硒量,土壤中的含硒量与土壤母质含硒量成正相关趋势,同时茶树体内含硒量也与茶树聚硒能力的强弱密切相关(顾谦等,2002)。研究表明,试验选择的茶园,其土壤或其土壤母质的锌硒含量已能供给茶树对锌硒微量元素的吸收,施用锌硒肥能够提高土壤中锌硒的含量,但对茶树及其茶叶中锌硒的含量影响并不明显。低浓度的锌硒可以促进茶树的_{健康生长},但超过一定量后会使茶树中毒死亡。因此,在生产中要专门针对所选择茶园的土壤特性及其生态环境开展科学管理和合理施

肥,通过土壤成分与茶树养分的测试,制定科学合理的测土配方施肥方案,指导茶园生产,是提高茶叶产品质量和效益的有效措施。

(2)茶树中锌的转移规律很明显,由老叶向新叶中转移,新叶中含量较高。茶树中硒的含量极微,虽然茶树体内的硒元素主要是通过根系从土壤中吸收的,但经过一系列的迁移和转化后,形成的有机硒化合物,只有较少的部分输送到枝叶中,因此茶叶中硒的含量相对较少,且老叶和新叶中含量无明显规律性。这说明锌硒两种微量元素参与茶树体内的生理作用和代谢途径具有较大的差异,在茶树生长发育过程中,锌的活力强,是必需元素,硒则比较惰性,是非必需元素,深入研究茶树同时吸收与转化锌硒微量元素的存在形态及其作用机理,对于生产适宜于人类身体健康适当锌硒含量的优质有机茶具有重要应用价值。

(3)茶园土壤及其茶叶中锌硒微量元素含量的相关性分析表明,0~20 cm 表层土和 21~40 cm 深层土中的锌含量呈极显著正相关($P < 0.01$),相关系数为 0.768。茶叶新叶中硒含量与 0~20 cm 表层土中硒含量呈显著正相关($P < 0.05$),这说明土壤中锌元素含量与成土母岩锌含量密切相关,因此,增加土壤中锌、硒有效态的存在及其含量能够显著提高茶树对锌硒元素的吸收。虽然茶树主要是通过根系从土壤中吸收锌硒微量元素,但并不是仅由含量多少决定吸收效率的,这与土壤质地、温湿度等许多外界因素密切相关。这一研究结果可为茶产业发展中茶园土壤类型的选择及其田间管理提供参考。

(4)茶树对环境的适应性,不仅表现在树形、叶形、叶的柔软度等物理性状上,其内含物质的组成及其变化在科研和生产上意义重大。茶树是多年生木本植物,生长过程中选择性地从环境和土壤中吸收多种矿质元素,为其生长发育所需。茶叶中含有的锌硒微量元素是人体正常生长发育的必需元素,锌元素能够抑制脂质过氧化,起到抗衰老作用,人体所有的器官都含有锌,锌对人体生长、智力发育、视觉及创伤愈合等有重要功效,锌元素在人体内的含量被视为对身体健康至关重要。1978 年联合国卫生组织正式宣布“硒为人体必需微量元素”,硒元素是人体内谷胱甘肽过氧化物酶的活动中心元素、是甲状腺激素脱碘酶的必需元素,具有抑制细胞增生和防治癌变的作用,被誉为“生命的奇特元素”。茶树是天然富硒能力较强的植物,在众多富硒农产品中

具有一定的优势,且茶树的利用部位叶片是硒积累的主要器官(温立香等,2013)。在人们生活质量不断提高的今天,健康长寿是人们的渴求,富锌富硒有机优质茶深受人们的青睐,发展富含锌硒微量元素的有机优质茶是现代农业和经济发展的需要,同时有效保护环境和维持生态平衡,也是保障人类健康和科学发展的基本要求。因此,合理规划和有效选择土壤富含锌硒的地区发展茶叶种植业,采用测土配方施肥技术,有针对性地补充供给土壤锌硒被茶树吸收后的缺失,保持土壤环境的锌硒平衡,可持续地生产富锌富硒有机优质茶,对推进农业科技进步和促进经济社会又好又快发展具有重要的现实意义。

参考文献:

- Chandra Mouli B, Marimuthu S, Sharma VS. 2012. Zinc, the master micronutrient for tea[J]. *Int J Tea Sci*, **8**: 91—96
- Dong GH(董广辉), Chen LJ(陈利军), Wu ZJ(武志杰). 2002. Research advances in plant selenium nutrition and its mechnism(植物硒素营养及其机理研究进展)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **13**(11): 1 487—1 490
- Gu Q(顾谦), Lu JS(陆锦时), Ye BC(叶保存). 2002. Tea Chemistry(茶叶化学)[M]. Hefei(合肥): Press of university of science and technology of China(中国科学技术大学出版社): 120—123
- He DY(何电源), Xu GH(许国焕), Fan LM(范腊梅). 1989. Research on the nutrient status of tea garden soil, the tea quality and its regulation(茶园土壤的养分状况与茶叶品质及其调控的研究)[J]. *Chin J Soil Sci*(土壤通报), **20**(1): 245—248
- Li JX(李家熙), Zhang GD(张光第), Ge XY(葛晓云). 2000. Prediction and Geochemical Environmental Character of Human Selenium Imbalances(人体硒缺乏与过剩的地球化学环境特征及其预测)[M]. Beijing(北京): Geological Publishing House(地理出版社)
- Liu SC(刘声传), Luo XY(罗显扬), Chen J(陈娟), et al. 2010. Analysis of biological mechanism of zinc accumulation in tea and zinc-enrich tea development potential in Guizhou(茶树富集锌的生物学机制及贵州富锌茶开发潜力分析)[J]. *J Anhui Agric Sci*(安徽农业科学), **38**(31): 17 442—17 444
- Liu XW(刘小文), Gao XY(高晓余), He YQ(何月秋), et al. 2010. Effect of several trace elements on the tea plant physiological and tea quality(几种微量元素对茶树生理及茶叶品质的影响)[J]. *Guangdong Agric Sci*(广东农业科学), (6): 162—165
- Luo SW(罗世伟), Shi LY(史丽英), Wu YY(吴永尧). 2008. Research progress of selenium in plants(植物硒研究进展)[J]. *Biol Teachnol*(生物学教学), **1**(33): 2—3
- Pence NS, Larsen PB, Ebbs SD, et al. 2000. The molecular physiology of heavy metal trabsport in the Zn/Cd hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, **97**(9): 4 956—4 960

(下转第 941 页 Continue on page 941)