

# 广宁红花油茶林土壤及植物中微量元素、重金属调查分析\*

柳 军<sup>1</sup> 杨绍伟<sup>1</sup> 荣道军<sup>1</sup> 郭业先<sup>1</sup>  
梁金喜<sup>1</sup> 蔡凤玲<sup>1</sup> 张应中<sup>2</sup> 王明怀<sup>2</sup>

(1. 广东省樟木头林场, 广东 东莞 523616; 2. 广东省森林培育与保护利用重点实验室 / 广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520)

**摘要** 调查了广东东莞樟木头林场广宁红花油茶 *Camellia semiserrata* 林土壤、植物叶片中微量元素和重金属元素含量。土壤中交换性 Ca 和 Mg, 有效 Cu、Zn、Fe、Mn、B 平均分别为 49.34、8.75、0.24、1.04、17.10、3.51、0.11 mg/kg, 分别为五级 (很低)、五级、二级 (高)、四级 (低)、五级、三级 (中)、二级; 广宁红花油茶叶片 Ca、Mg、Fe、Mn、B、Cu、Zn 含量平均分别为 8 518.1、1 063.2、53.76、1 225.3、24.43、4.06、7.02 mg/kg, 分别为正常、正常、正常、过量、正常、处于亏缺临界、缺乏, 广宁红花油茶林分肥力不足。土壤重金属 Pb、Cd、Cr、Ni、As 平均含量分别为 19.35、0.044、55.05、7.61、9.76 mg/kg, 处于风险筛选值以下; 广宁红花油茶叶片 Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、Ni、As 值平均分别为 4.06、7.02、0.68、0.044、0.39、4.77、0.030 mg/kg, 远低于 GAP 药用植物标准限值, 广宁红花油茶林地未受重金属污染。土壤交换性 Ca 和 Mg, 有效 Fe、Mn、B、Cu、Zn 含量, 与广宁红花油叶片相应元素含量相关性不大, 表明植物对各元素需求量差异大, 植物吸收利用受土壤中元素间相互影响, 因此, 平衡施肥才能保证植物对营养元素的吸收利用。

**关键词** 广宁红花油茶; 土壤; 叶片; 中微量元素; 重金属

中图分类号: S794.4 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2022) 01-0068-07

## A Preliminary Study on Medium Trace Element and Heavy Metals for Soil and Leaf of *Camellia semiserrata*

LIU Jun<sup>1</sup> YANG Shaowei<sup>1</sup> RONG Daojun<sup>1</sup> GUO Yexian<sup>1</sup>  
LIANG Jinxi<sup>1</sup> CAI Fengling<sup>1</sup> ZHANG Yingzhong<sup>2</sup> WANG Minghuai<sup>2</sup>

(1. Zhangmutou Forest Farm of Guangdong, Dongguan, Guangdong 523616, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

**Abstract** The medium trace element and heavy metal for soil and leaf of *Camellia semiserrata* forest in Zhangmutou forest farm of Dongguan were investigated and analyzed. The average content of the exchangeable Ca and Mg, and the available Cu, Zn, Fe, Mn and B in soil were 49.34, 8.75, 0.24, 1.04, 17.10, 3.51 and 0.11 mg/kg respectively, which were classified as grade 5 (very low), grade 5, grade 2 (high), grade 4 (low), grade 4, grade 5, grade 3 (medium) and grade 2 respectively. The average content of Ca, Mg, Fe, Mn, B, Cu and Zn in the

**基金项目:** 中央财政林业改革发展资金 (2019-GDBS-01), 广东省林业科技创新项目 (2019KJCX042), 科技基础资源调查专项 (2019FY100801\_01)。

**第一作者:** 柳军 (1981—), 男, 高级工程师, 主要从事林业科技推广与管理, E-mail: 510537971@qq.com。

**通信作者:** 王明怀 (1972—), 男, 研究员, 主要从事经济林、森林培育研究, E-mail: 1073526066@qq.com。

leaves of *C. semiserrata* were 8 518.1, 1 063.2, 53.76, 1 225.3, 24.43, 4.06 and 7.02 mg/kg respectively, which were normal, normal, normal, excessive, normal, in the deficit critical and deficient. The fertility of *C. semiserrata* forest was insufficient. The average contents of Pb, Cd, Cr, Ni and As in soil were 19.35, 0.044, 55.05, 7.61 and 9.76 mg/kg respectively, which were below the risk screening value. The average values of Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni and As in the leaves of *C. semiserrata* were 4.06, 7.02, 0.68, 0.044, 0.39, 4.77 and 0.030 mg/kg respectively, all of which were far below the standard limits of GAP medicinal plants. The woodland of *C. semiserrata* was not polluted by heavy metals. The correlation of soil exchangeable Ca and Mg, available Fe, Mn, B, Cu, Zn content, and corresponding leaf element content of *C. semiserrata* were not significant. It showed that plants had different requirements for elements, and the elements in the soil were influenced each other, therefore, balanced fertilization can ensure the absorption and utilization of the required nutrients by plants.

**Key words** *Camellia semiserrata*; soil; leaf; medium trace element; heavy metal

广宁红山茶 *Camellia semiserrata* 属山茶科山茶属常绿乔木, 又名广宁红花油茶、南山茶。广宁红山茶在我国长江以南各省(自治区)均有栽培, 集中分布在华南丘陵区中部, 以广东省广宁县种植面积最大。该树树体高大, 树形、花、果美观, 为我国华南区域优良的本木食用油料和园林绿化树种<sup>[1]</sup>。

高等植物生长必需的营养元素有大量元素: 碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)、磷(P)、钾(K), 中量元素钙(Ca)、镁(Mg)、硫(S), 微量元素铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)、铜(Cu)、钼(Mo)、硼(B)、氯(Cl)共16种<sup>[2]</sup>。中微量元素作为植物健康生长发育不可或缺的必需营养元素, 参与重要的生理生化反应, 促进N、P、K的吸收, 在作物的不同生育期发挥着不同的作用, 对作物产量及品质的形成都起到十分重要的作用<sup>[3]</sup>。中微量元素在植物体内虽然含量低, 但是植物体内酶类、维生素和生长激素等的重要组成部分, 直接参与有机体的代谢活动, 对植物正常生长发育发挥着不可替代的重要作用<sup>[4-5]</sup>。当作物缺乏某种中微量元素时, 降低作物产量和品质, 中微量元素过多, 则会造成肥害<sup>[6]</sup>。

重金属元素主要是指镉(Cd)、汞(Hg)、Cu、铅(Pb)、铬(Cr)、Zn、镍(Ni)和类金属元素砷(As)<sup>[7-8]</sup>。这些元素虽然都是土壤的构成元素(其中Zn和Cu还是植物的必需元素<sup>[9]</sup>), 在土壤中均有一定的背景值<sup>[7-8, 11]</sup>, 但含量过高就会对土壤造成污染。重金属过度积累将使土壤结构和理化性能受到破坏, 重金属元素对植物危害包括: 一是高浓度对植物的毒害作用; 二是影响植物对营养元素的正常吸收, 一个最典型的例子就

是, 当土壤中Cu、Ni、Cd等重金属元素过量时, 果树对必需元素Zn的吸收就会受到抑制, 甚至导致缺Zn, 出现小叶病; 三是植物体内过量的重金属元素将破坏某些生理代谢的内环境, 引起蛋白质变性和酶活性降低甚至完全失活<sup>[7, 12-13]</sup>。

油茶土壤、植株营养元素中的中微量元素、重金属有不少研究报道, 南方红壤区油茶林土壤有效态Ca、S、Fe、Mn、Cu、Zn含量丰富<sup>[14]</sup>, 高伟等<sup>[15]</sup>采用诊断施肥综合法(DRIS)对油茶果实发育关键时期(果实膨大期和油脂转化期)的叶片进行矿质营养元素分析, 在湖南、广东云浮、浙江台州、海南等地有重金属在油茶林地及树体中的富集特性、土壤中变异等相关研究报道<sup>[16-19]</sup>。广宁红花油茶中微量元素目前仅见关于幼林、幼苗施肥、叶片营养元素研究报道<sup>[20-21]</sup>, 对于广宁红花成熟林分土壤养分、重金属状况仍未有报道。广东省樟木头林场有一片1956~1958年种植的面积约533 hm<sup>2</sup>的广宁红花油茶成熟人工林, 是已知我国保存面积最大的一片广宁红花油茶人工林, 东莞是珠三角、粤港澳大湾区腹地, 是“世界工厂”所在地, 本试验对60多年生广宁红花油茶人工林土壤、植株中微量元素和重金属元素, 以及土壤与植株间关系进行调查研究, 对了解广宁红花油茶中微量养分盈亏、植株养分富集能力, 以及在“世界工厂”地区林地和植物是否受到重金属污染, 都具有重要科学意义和现实意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

樟木头林场位于北纬22°48′~22°58′, 22°54′, 东经113°53′~114°10′, 该区森林植被属亚热带常

绿阔叶林区系亚热带常绿季雨林，典型的亚热带气候，温暖多雨，年平均气温 22.1℃，无霜期 341 d，年平均降雨量 1 800 mm，4—9 月为雨季。试验地位于樟木头林场清泉管护站（东莞大朗镇）平缓坡地，坡度 8~15°，海拔 150~220 m，土壤系花岗岩发育的山地黄壤，肥力中等。

1.2 试验方法

在林分设置 25 m×25 m 样地 4 块，在每个样地内上、中、下设 3 个取样剖面，每个土壤剖面深 0~80 cm，取土样带回实验室，4 块样地共 12 个样。用乙酸铵提取-火焰原子吸收分光光度法测定交换性 Ca、Mg，用 DTPA-火焰原子吸收分光光度法测定有效 Cu、Zn、Fe、Mn，用沸水提取-姜黄素比色法测定有效 B，总 Pb、Cd、Ni、Cr 用火焰原子吸收分光光度法，总 As 用原子荧光分光光度法<sup>[22]</sup>。

在每个样地梅花型选取 5 株广宁红花油茶植株，每株分 4 个方向在植株中部采取成熟叶片混合取样，带回实验室，4 块样地共 20 个样。用干灰化-盐酸溶解-火焰原子吸收分光光度法测定总 Ca、Mg、Cu、Zn、Fe、Mn，用干灰化-盐酸溶解-姜黄素比色法测定总 B，用硝酸-高氯酸

消解-火焰原子吸收分光光度法测定总 Pb、Cd、Ni、Cr，用原子荧光分光光度法测定总 As<sup>[22]</sup>。

1.3 数据处理与分析

第二次全国土壤普查分级<sup>[21]</sup>见表 1，作物叶片中微量元素丰缺的判断标准<sup>[2]</sup>见表 2，土壤环境质量-农用地土壤污染风险管控标准（GB 15618-2018）<sup>[23]</sup>，见表 3。

依据药用植物及制剂外经贸绿色行业标准（WM/T2-2004）<sup>[24]</sup>，药用植物原料及制剂的外经贸行业品质检验重金属及砷盐限量，重金属总量≤20.0 mg/kg，Cu≤20、Pb≤5、Cd≤0.30、As≤2.0 mg/kg。

数据处理用 EXCEL2016。参照岳庆玲等<sup>[25]</sup>方法计算富集系数，具体公式如下：

重金属富集系数=植物地上部分重金属含量/土壤重金属含量。

2 结果与分析

2.1 土壤中微量元素

广宁红花油茶林土壤中微量元素测定结果见表 4，交换性 Ca 和 Mg，有效 Cu、Zn、Fe、Mn、B 平均分别为 49.34、8.75、0.24、1.04、17.10、3.51、

表 1 土壤有效中微量元素肥力等级<sup>[26]</sup> mg/kg  
Table 1 Soil effective medium and trace element fertility grade

| 分级 Grade                 | Ca        | Mg      | Fe       | Mn       | B        | Cu       | Zn       |
|--------------------------|-----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 一级（很高）Level 1(Very high) | >100 0    | >300    | > 20     | > 30     | > 2.0    | > 1.8    | > 3.0    |
| 二级（高）Level 2 (High)      | 700~1 000 | 200~300 | 10~20    | 15~30    | 1.0~2.0  | 1.0~1.8  | 1.0~3.0  |
| 三级（中）Level 3 (Medium)    | 500~700   | 100~200 | 4.5~10.0 | 5.0~15.0 | 0.50~1.0 | 0.20~1.0 | 0.50~1.0 |
| 四级（低）Level 4 (Low)       | 300~500   | 50~100  | 2.5~4.5  | 1.0~5.0  | 0.20~0.5 | 0.10~0.2 | 0.30~0.5 |
| 五级（很低）Level 5 (Very low) | <300      | <50     | < 2.5    | < 1.0    | < 0.2    | < 0.1    | < 0.3    |

表 2 作物叶片中微量元素丰缺的判断标准<sup>[2]</sup> mg/kg  
Table 2 Criteria for judging the abundance and deficiency of trace elements in crop leaves

| 微量元素 Trace elements | 缺乏 Shortage | 适量 Right amount | 过量 Excess |
|---------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Ca                  |             | 1 000~50 000    |           |
| Mg                  |             | 500~7 000       |           |
| Fe                  | <50         | 50~250          | >300      |
| Mn                  | <20         | 20~500          | >500      |
| B                   | <15         | 20~100          | >200      |
| Cu                  | <4          | 5~20            | >20       |
| Zn                  | <20         | 25~150          | >400      |

0.11 mg/kg，其变异系数除有效 Cu 为 15.01% 较小外，其余为 32.11%~40.80%，变异较大。

依第二次全国土壤普查分级<sup>[26]</sup>(表 1)，交换性 Ca 和 Mg、有效 Fe、Mn、B、Cu、Zn 分别为五级（很低）、五级、二级（高）、四级（低）、五级、三级（中）、二级。

2.2 植物中微量元素

广宁红花油茶叶片 Ca、Mg、Fe、Mn、B、Cu、

Zn 含量见表 5，平均分别为 8 518.1、1 063.2、53.76、1 225.3、24.43、4.06、7.02 mg/kg。

依据植物叶片中微量元素丰缺的判断标准<sup>[2]</sup>(表 2)，广宁红花油茶植物元素含量 Ca 正常，Mg 正常，Fe 正常，Mn 过量，B 正常，Cu 处于亏缺临界，Zn 缺乏。

2.3 土壤重金属

广宁红花油茶林土壤重金属 Pb、Cd、Cr、

表 3 土壤 pH 值小于等于 5.5 农用地土壤污染风险筛选值和管制值<sup>[23]</sup> mg/kg  
Table 3 The screening value and control value of soil pollution risk of agricultural land that soil pH value is less than or equal to 5.5

| 污染项目 Pollution project | 风险筛选值 Risk screening value | 风险管制值 Risk control value |
|------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Pb                     | 70                         | 400                      |
| Cd                     | 0.3                        | 1.5                      |
| Cr                     | 150                        | 800                      |
| Ni                     | 60                         |                          |
| As                     | 40                         | 200                      |

表 4 广宁红花油茶土壤有效中微量元素 mg/kg  
Table 4 Available medium and trace elements in soil of *Camellia semiserrata*

| 样地 Sample   | Ca            | Mg          | Fe           | Mn          | B           | Cu          | Zn          |
|-------------|---------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1           | 47.71 ± 19.13 | 8.52 ± 2.07 | 13.18 ± 3.13 | 1.96 ± 0.16 | 0.07 ± 0.02 | 0.26 ± 0.03 | 1.02 ± 0.16 |
| 2           | 40.04 ± 19.18 | 8.12 ± 5.11 | 25.17 ± 6.51 | 2.50 ± 2.14 | 0.12 ± 0.02 | 0.24 ± 0.05 | 1.19 ± 0.52 |
| 3           | 67.60 ± 24.44 | 9.50 ± 2.72 | 12.50 ± 7.63 | 6.16 ± 0.74 | 0.12 ± 0.06 | 0.22 ± 0.04 | 0.72 ± 0.16 |
| 4           | 42.02 ± 13.20 | 8.86 ± 2.01 | 17.55 ± 2.13 | 3.44 ± 1.45 | 0.13 ± 0.01 | 0.23 ± 0.02 | 1.23 ± 0.49 |
| 平均值 Average | 49.34         | 8.75        | 17.10        | 3.51        | 0.11        | 0.24        | 1.04        |
| 标准差 SD      | 20.09         | 2.81        | 6.98         | 2.04        | 0.04        | 0.04        | 0.38        |
| 变异系数 /% CV  | 40.71         | 32.11       | 40.80        | 58.14       | 32.75       | 15.01       | 36.72       |

注：表中元素含量为平均值 ± 标准差。Note: the element contents in the table were the average value ± standard deviation.

表 5 广宁红花油茶叶片植物中微量营养元素 mg/kg  
Table 5 Medium and trace nutrient elements for leaf of *Camellia semiserrata*

| 样地 Sample   | Ca                | Mg              | Fe            | Mn              | B            | Cu          | Zn          |
|-------------|-------------------|-----------------|---------------|-----------------|--------------|-------------|-------------|
| 1           | 9 400.8 ± 2 080.2 | 985.1 ± 195.9   | 57.74 ± 4.65  | 1 323.2 ± 242.7 | 23.05 ± 1.10 | 4.71 ± 0.52 | 8.12 ± 1.05 |
| 2           | 9 589.2 ± 1 683.1 | 1 119.5 ± 240.8 | 57.06 ± 10.20 | 1 156.4 ± 160.3 | 25.05 ± 6.08 | 3.71 ± 0.65 | 7.28 ± 1.03 |
| 3           | 7 978.0 ± 809.9   | 874.4 ± 121.8   | 43.50 ± 2.30  | 1 490.0 ± 168.0 | 25.65 ± 0.61 | 3.91 ± 0.31 | 5.55 ± 0.49 |
| 4           | 7 104.5 ± 1 405.8 | 1 273.8 ± 187.1 | 56.70 ± 7.24  | 931.4 ± 142.3   | 23.96 ± 2.76 | 3.92 ± 0.65 | 7.12 ± 0.83 |
| 平均值 Average | 8 518.1           | 1 063.2         | 53.76         | 1 225.3         | 24.43        | 4.06        | 7.02        |
| 标准差 SD      | 1 780.8           | 233.0           | 8.7           | 270.1           | 3.28         | 0.64        | 1.25        |
| 变异系数 /% CV  | 20.9              | 21.9            | 16.2          | 22.0            | 13.45        | 15.72       | 17.83       |

注：表中元素含量为平均值 ± 标准差。Note: the element contents in the table were the average value ± standard deviation.

Ni、As 平均含量见表 6，其分别为 19.35、0.044、55.05、7.61、9.76 mg/kg。依据土壤环境质量—农用地土壤污染风险管理控标准（GB 15618-2018）<sup>[23]</sup>，见表 3，这几种重金属元素都处于风险筛选值以下，与广东省土壤重金属背景值<sup>[27]</sup>Pb、Cd、Cr、Ni、As 分别为 36、0.056、50.5、14.4、8.9 mg/kg 相比，Cr、As 略高于背景值，Pb、Cd、Ni 都低于背景值。

2.4 植物重金属

广宁红花油茶叶片 Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、Ni、As 值见表 7，分别为 4.06、7.02、0.68、0.044、0.39、4.77、0.030 mg/kg，依据药用植物及制剂外经贸绿色行业标准（WM/T2-2004）<sup>[24]</sup>，Cu ≤ 20、Pb ≤ 5、Cd ≤ 0.30、As ≤ 2.0 mg/kg，这几种都远低于标准限值。

2.5 广宁红花油茶与土壤中微量元素、重金属关系

土壤与广宁红花油茶叶片间相应的中微量元素、重金属元素相关关系结果分析表明，相关系

数 *R* 值都不高，最高为 Cu 的 *R* 值为 0.390 5，*P* 值为 0.209 4，相关性都不显著，见表 8。土壤交换性 Ca 和 Mg，有效 Fe、Mn、B、Cu、Zn 分别为五级、五级、二级、四级、五级、三级、二级，广宁红花油叶片元素含量 Ca、Mg、Fe、Mn、B、Cu、Zn 分别正常、正常、正常、过量、正常、处于亏缺临界、缺乏。土壤有效 Mn 四级，而植物叶片过量，土壤 Cu 三级，植物叶片处于亏缺临界，土壤有效 Zn 二级，植物叶片则缺乏。

土壤与植物间重金属 Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、Ni、As 富集系数分别为 0.059、0.148、0.035 1、1、0.007 1、0.626 8、0.003 1，富集能力依次为：Cd>Ni>Zn>Cu>Pb>Cr>As，油茶对 Cd 的富集能力最大，对 As 富集能力最小。

3 结论与讨论

土壤中微量元素是土壤必需元素重要组成部分，必需元素的生理功能包括构成植物体内有机结

表 6 广东红花油茶土壤重金属元素 Table 6 Soil heavy metal elements of *Camellia semiserrata* mg/kg

| 样地 Sample   | Pb           | Cd            | Cr           | Ni          | As           |
|-------------|--------------|---------------|--------------|-------------|--------------|
| 1           | 19.92 ± 3.15 | 0.051 ± 0     | 58.58 ± 3.28 | 6.87 ± 0.91 | 2.20 ± 0.11  |
| 2           | 14.57 ± 2.10 | 0.044 ± 0.006 | 46.29 ± 4.33 | 5.92 ± 2.07 | 2.02 ± 0.18  |
| 3           | 20.73 ± 1.13 | 0.038 ± 0.007 | 56.17 ± 5.58 | 8.73 ± 2.64 | 3.96 ± 0.17  |
| 4           | 22.16 ± 0.97 | 0.044 ± 0.012 | 59.17 ± 1.53 | 8.92 ± 1.89 | 30.85 ± 2.56 |
| 平均值 Average | 19.35        | 0.044         | 55.05        | 7.61        | 9.76         |
| 标准差 SD      | 3.46         | 0.008         | 6.38         | 2.14        | 12.79        |
| 变异系数 /% CV  | 17.89        | 18.239        | 11.59        | 28.15       | 131.08       |

注：表中元素含量为平均值 ± 标准差。  
Note: the element contents in the table were the average value ± standard deviation.

表 7 广东红花油茶叶片植物重金属元素 Table 7 Plant heavy metal elements for leaf of *Camellia semiserrata* mg/kg

| 样地 Sample   | Cu          | Zn          | Pb          | Cd            | Cr          | Ni          | As            |
|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------|---------------|
| 1           | 4.71 ± 0.52 | 8.12 ± 1.05 | 0.82 ± 0.14 | 0.047 ± 0.011 | 0.62 ± 0.12 | 5.27 ± 0.94 | 0.033 ± 0.012 |
| 2           | 3.71 ± 0.65 | 7.28 ± 1.03 | 0.69 ± 0.17 | 0.064 ± 0.007 | 0.44 ± 0.30 | 4.91 ± 0.69 | 0.030 ± 0.009 |
| 3           | 3.91 ± 0.31 | 5.55 ± 0.49 | 0.66 ± 0.15 | 0.045 ± 0.021 | 0.39 ± 0.38 | 3.60 ± 0.22 | 0.026 ± 0.005 |
| 4           | 3.92 ± 0.65 | 7.12 ± 0.83 | 0.56 ± 0.14 | 0.023 ± 0.004 | 0.11 ± 0.13 | 5.29 ± 1.27 | 0.030 ± 0.008 |
| 平均值 Average | 4.06        | 7.02        | 0.68        | 0.044         | 0.39        | 4.77        | 0.030         |
| 标准差 SD      | 0.64        | 1.25        | 0.17        | 0.019         | 0.30        | 1.07        | 0.008         |
| 变异系数 /% CV  | 15.72       | 17.83       | 25.01       | 42.057        | 77.58       | 22.45       | 28.435        |

注：表中元素含量为平均值 ± 标准差。  
Note: the element contents in the table were the average value ± standard deviation.

表 8 土壤与广宁红花油茶叶片间相应的中微量元素、重金属元素相关系数

Table 8 Correlation coefficient of medium and trace nutrient elements and heavy metal elements between soil and *C. semiserrata* leaves

| 项目 Item | 相关系数 R   | P 值 P Value | 项目 Item | 相关系数 R   | P 值 P Value |
|---------|----------|-------------|---------|----------|-------------|
| Ca      | -0.024 3 | 0.940 4     | B       | 0.301 9  | 0.340 2     |
| Mg      | -0.007 0 | 0.982 9     | Pb      | -0.405 8 | 0.190 6     |
| Cu      | 0.390 5  | 0.209 4     | Cd      | 0.194 8  | 0.544 0     |
| Zn      | 0.091 5  | 0.777 4     | Cr      | -0.238 4 | 0.455 5     |
| Fe      | 0.222 3  | 0.487 5     | Ni      | 0.019 5  | 0.952 2     |
| Mn      | 0.442 0  | 0.150 2     | As      | -0.107 5 | 0.739 5     |

构的组成成分,参与酶促反应或能量代谢及生理调节,土壤中微量元素含量分布的变化很大,其供给水平受成土母质、土壤类型、土壤物化性状、水分动态等共同影响。本研究土壤中微量元素交换性 Ca 和 Mg,有效 Cu、Zn、Fe、Mn、B 平均分别为 49.34、8.75、0.24、1.04、17.10、3.51、0.11 mg/kg,刘洁等<sup>[14]</sup>调查湖南、广西南方红土平均分别为 113.14、33.4、27.04、11.35、1.06、2.33、0.33 mg/kg,与之相比,除 Fe、Mn 含量较高外,其余较低。本试验广宁红花油茶叶片 Fe、Mn、Cu、Zn 含量平均分别为 53.76、1 225.3、4.06、7.02 mg/kg,高伟<sup>[15]</sup>报道油茶果实发育关键时期叶片 Fe、Mn、Cu、Zn 的适宜含量分别为  $195.350 \pm 90.536$ 、 $2\,921.400 \pm 1\,172.529$ 、 $10.000 \pm 3.496$ 、 $23.3 \pm 3.931$  mg/kg,可见广宁红花油茶叶片 Fe、Mn、Cu、Zn 含量都很低,林分肥力不足。油茶合理施肥方法是采用有机肥与无机肥相结合、大中微量元素养分相配合的复合营养配方,并根据油茶生长对养分的需求规律分次施用<sup>[20]</sup>。

广宁红花油茶林土壤重金属 Pb、Cd、Cr、Ni、As 平均含量分别为 19.35、0.044、55.05、7.61、9.76 mg/kg,广东云浮油茶适生区域林地土壤重金属 Pb、Cd、Ni 平均含量分别为 17.185、0.022、10.877<sup>[16]</sup>,与广东云浮较接近,依据土壤环境质量—农用地土壤污染风险管理控标准,这几种重金属元素都处于风险筛选值以下,与广东省土壤重金属背景值相比,Cr、As 略高于背景值,Pb、Cd、Ni 都低于背景值。广宁红花油茶叶片 Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、Ni、As 值平均分别为 4.06、7.02、0.68、0.044、0.39、4.77、0.030 mg/kg,这几种都远低于标准限值。可见本片广宁红

花油茶林地受重金属污染不大,表明处于珠三角腹地的东莞地区林地,受重金属污染不明显。

在土壤与植物间重金属 Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、Ni、As 富集能力依次为: Cd>Ni>Zn>Cu>Pb>Cr>As,油茶对 Cd 的富集能力最大,对 As 富集能力最小。由于 Cd 具有较高的溶解性和较强的生物有效性,因此更易在植物体内累积<sup>[28]</sup>。本研究土壤交换性 Ca 和 Mg,有效 Fe、Mn、B、Cu、Zn 含量,与广宁红花油叶片相应元素含量间相关性都不显著,土壤中相应中微量元素含量分别为五级、五级、二级、四级、五级、三级、二级,广宁红花油叶片相应元素含量分别正常、正常、正常、过量、正常、处于亏缺临界、缺乏。土壤有效 Mn 四级,而植物叶片过量,土壤 Cu 三级,植物叶片处于亏缺临界,土壤有效 Zn 二级,植物叶片则缺乏。这种现象有可能是油茶对相关元素需求量大,或者其它元素,包括重金属元素影响了 Cu、Zn 的吸收。土壤中的高 B 影响植物对 Zn 的吸收和积累,相互拮抗<sup>[29]</sup>,土壤中的 Cd 影响植物对 Cu 的吸收<sup>[30]</sup>。因此,平衡施肥才能保证植物对需要营养元素的吸收利用。

## 参考文献

- [1] 庄瑞林.中国油茶[M].北京:中国林业出版社,2008: 19; 71-72.
- [2] 陆景陵.植物营养学[M].北京:中国农业大学出版社,2002: 25.
- [3] 韦云东,郑华,刘翠娟,等.增施中微量元素肥料对木薯生长及产量的影响[J].热带农业科学,2020,40(1): 7-14.
- [4] 陆继龙,周永昶,周云轩.吉林省黑土某些微量元素环境

- 地球化学特征[J].土壤通报, 2002, 33(5): 365-368.
- [5] KORB J E, JOHNSON N C, COVINGTON W W. Slash pine burning effects on soil biotic and chemical properties and plant establishment: recommendations for amelioration[J]. Restoration Ecology, 2004, 12(1): 52-62.
- [6] 束维正. 微量元素肥料在农业生产上的应用[J]. 安徽农学通报, 2013, 19(24): 63-64; 72.
- [7] 宋谦, 王凤仙. 农业环境研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 1993: 143-167; 321-328.
- [8] 高兴斋. 中华环保实用手册[M]. 北京: 国防科学技术大学出版社, 1994: 340-347.
- [9] 北京农业大学. 普通化学[M]. 北京: 农业出版社, 1993: 288-292.
- [10] 夏家淇. 土壤环境质量标准详解[M]. 北京: 中国环境科学技术出版社, 1996: 84-87.
- [11] 李怡欣, 谢桂军, 李腊梅, 等. 广东麻竹笋及产地土壤重金属污染与风险评价[J]. 林业与环境科学, 2020, 36(6): 103-109.
- [12] 聂继云, 董雅凤. 果园重金属污染的危害与防治[J]. 中国果树, 2002(1): 44-47.
- [13] 河北农业大学. 果树栽培学总论[M]. 2版. 北京: 农业出版社, 1992: 221-236.
- [14] 刘洁, 李茗, 吴立潮. 南方红壤区油茶林土壤肥力质量指标及评价[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(4): 73-80.
- [15] 高伟, 黄亚茹, 宁博轩, 等. 油茶果实发育关键时期的叶片DRIS营养诊断研究[J]. 江西师范大学学报(自然科学版), 2016, 40(1): 83-88.
- [16] 谭晓凤, 蔡海丽, 袁德义, 等. 重金属在油茶林地及树体中的富集特性研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31(3): 8-11.
- [17] 解懿妮, 叶龙华, 李小川, 等. 云浮市油茶适生地区土壤重金属含量变异分析及污染评价[J]. 林业与环境科学, 2017, 33(6): 84-90.
- [18] 邱智敏, 尚素微, 林雪锋. 浙江省台州市油茶基地土壤重金属含量水平及其评价[J]. 防护林科技, 2013(8): 1-2.
- [19] 彭德乾, 闫超, 吴友根, 等. 海南油茶对土壤重金属的富集作用研究[J]. 现代农业科技, 2018(21): 1-2.
- [20] 丁晓纲, 张应中, 刘喻娟, 等. 广东省油茶幼林大田平衡施肥技术[J]. 经济林研究, 2013, 31(3): 21-28.
- [21] 丁晓纲, 张应中, 刘喻娟, 等. 广宁红花油茶叶片营养DRIS诊断[J]. 经济林研究, 2012, 30(4): 148-150; 148.
- [22] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [23] 国家标准局. 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行): GB 15618-2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [24] 中华人民共和国商务部. 依据药用植物及制剂外经贸绿色行业标准: WM/T2-2004[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [25] 岳庆玲. 湖南典型矿区土壤和植物重金属污染研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2004: 16.
- [26] 曹志洪, 周健民, 等. 中国土壤质量[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [27] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [28] 汪雅谷, 章国强. 蔬菜区土壤福污染及蔬菜种类选择[J]. 农业环境保护, 1985(4): 141-143.
- [29] 胡萍, 陈玉花, 周高峰, 等. 高硼胁迫对纽荷尔脐橙幼苗微量元素吸收与分配的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2020(2): 179-183.
- [30] 张福顺, 刘威. 重金属镉对甜菜中几种微量元素吸收的影响特点[J]. 中国农学通报, 2017, 33(19): 29-33.