

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201605015

秦玉燕, 时鹏涛, 於艳萍, 等. 四种金花茶组植物叶片金属元素含量及富集特性研究 [J]. 广西植物, 2016, 36(12):1416-1421  
QIN YY, SHI PT, YU YP, et al. Enrichment characteristics of metal elements in leaves from four species of yellow flower *Camellia* [J]. Guihaia, 2016, 36(12):1416-1421

## 四种金花茶组植物叶片金属元素含量及富集特性研究

秦玉燕<sup>1,2</sup>, 时鹏涛<sup>1,2</sup>, 於艳萍<sup>1</sup>, 王运儒<sup>1,2</sup>, 蒋越华<sup>1,2</sup>, 农耀京<sup>1,2\*</sup>

(1. 广西壮族自治区亚热带作物研究所, 南宁 530001; 2. 农业部亚热带果蔬菜质量监督检验测试中心, 南宁 530001)

**摘要:**以四种金花茶组植物为研究对象,采用原子吸收光谱法和原子荧光法,测定其嫩叶、老叶及对应土壤中 Mg、Ca、Mn、Fe、Zn、Ni、Se、Pb、Cd、Hg、As 共 11 种元素的含量,并分别计算嫩叶和老叶对土壤金属元素的富集系数。结果表明:(1)4 种金花茶组植物叶片富含 Mg、Ca、Mn、Fe、Zn、Ni 等营养元素,各元素在叶片中含量为 Ca>Mg>Mn>Fe>Zn>Ni>Se;Pb、Cd、As、Hg 等重金属元素含量较低,均达到无公害茶叶标准。(2)老叶和嫩叶中各金属元素含量差异较大,老叶中的 Ca、Mn、Fe、Zn、Pb、Cd、Hg、As、Se 元素含量均大于嫩叶,尤以 Ca、Mn、Fe 差异显著;嫩叶中的 Mg 和 Ni 含量大于老叶。(3)金花茶组植物对不同金属元素的富集能力不同,对各元素富集能力强弱为 Ca、Mn、Mg>Zn、Ni、Hg>Pb、Se>Fe、As,老叶和嫩叶的富集规律存在差异。(4)不同金花茶组植物对金属元素的富集能力有较大差异,龙州金花茶(*Camellia longzhouensis*)和黄花抱茎茶(*C. murauchii*)对 Mg、Ca、Mn、Zn、Ni、Se、Pb 的富集能力均大于金花茶(*C. nitidissima*)和毛籽金花茶(*C. pilosperma*)。其中,龙州金花茶对 Mg、Mn、Se 的富集能力最强,黄花抱茎茶对 Ca、Pb、Hg 富集能力最强,金花茶对 Hg 的富集能力较强,对其它元素的富集能力均较弱;毛籽金花茶对 Ca、Mn、Ni、Zn 的富集能力均最弱。该研究结果为金花茶组植物的进一步开发和利用提供了理论依据。

**关键词:**金花茶组,嫩叶,老叶,元素分析,富集系数

中图分类号: Q945.12 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2016)12-1416-07

## Enrichment characteristics of metal elements in leaves from four species of yellow flower *Camellia*

QIN Yu-Yan<sup>1,2</sup>, SHI Peng-Tao<sup>1,2</sup>, YU Yan-Ping<sup>1</sup>, WANG Yun-Ru<sup>1,2</sup>,  
JIANG Yue-Hua<sup>1,2</sup>, NONG Yao-Jing<sup>1,2\*</sup>

(1. Subtropical Crops Research Institute of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530001, China; 2. Quality Supervision and Testing Center for Subtropical Fruits and Vegetables, Ministry of Agriculture, Nanning 530001, China)

**Abstract:** Yellow flower *Camellia* is one of the world treasure plant resources. In this paper, eleven elements including Mg, Ca, Mn, Fe, Zn, Ni, Se, Pb, Cd, Hg and As were determined in leaves and corresponding soils of four yellow flower *Camellia* by atomic absorption spectrometry and atomic fluorescence spectrometry, and then the enrichment factors of these metal elements were calculated. The results were as follows: (1) The leaves of four yellow flower *Camellia* were rich in Mg, Ca, Mn, Fe, Zn, Ni and element contents were Ca > Mg > Mn > Fe > Zn > Ni > Se, while the toxic heavy elements such

收稿日期: 2016-05-10 修回日期: 2016-09-09

基金项目: 广西自然科学基金(2015GXSFBA139046);广西公益性科研院所基本科研业务费专项(桂热研 201604,桂热研 201511) [Supported by Natural Science Foundation of Guangxi (2015GXSFBA139046); Fundamental Research Fund for the Public Welfare Scientific Research Institute of Guangxi(201604,201511)].

作者简介: 秦玉燕(1987-),女,广西桂林人,硕士,主要从事重金属检测工作,(E-mail)956346090@qq.com。

\*通讯作者: 农耀京,高级农艺师,主要从事农产品安全检测工作,(E-mail)2455889112@qq.com。

as Pb, Cd, As and Hg were low, which reached the standards of non-polluted tea. (2) There were obvious differences in metal element contents between young and old leaves. The concentrations of Ca, Mn, Fe, Zn, Pb, Cd, Hg, As and Se in old leaves were higher than those in young leaves, especially in Ca, Mn and Fe, while concentrations of Mg and Ni in young leaves were higher than those in old leaves. (3) Yellow flower *Camellia* showed different enrichment abilities to different metal elements. The enrichment factors were Ca, Mn, Mg > Zn, Ni, Hg > Pb, Se > Fe, As. Also, the enrichment characteristics were different in young and old leaves. (4) The enrichment abilities of four yellow flower *Camellias* were different. Overall, *C. longzhouensis* and *C. murauchii* had higher enrichment factors of Mg, Ca, Mn, Zn, Ni, Se and Pb than that of *C. nitidissima* and *C. pilosperma*. In detail, *C. longzhouensis* and *C. murauchii* showed the highest enrichment of Mg, Mn, Se and Ca, Pb and Hg, respectively. *C. nitidissima* showed higher enrichment of Hg and lower enrichment of other elements, while *C. pilosperma* had the lowest enrichment factors of Ca, Mn, Ni and Zn. The above results showed that plant species, parts and element type had a comprehensive effect on the enrichment factors. The results provide the information for reasonable development and utilization of yellow flower *Camellia*.

**Key words:** yellow flower *Camellia*, young leaves, old leaves, elemental analysis, enrichment factor

金花茶组植物(*Camellia* sect. *Chrysantha*)是山茶科山茶属常绿灌木或小乔木,主要分布于广西南部或越南北部(覃小玲等,2012),是世界珍稀的植物资源;其中的金花茶(*C. nitidissima*)是国家一级保护植物,被誉为“茶族皇后”和植物界的“大熊猫”(韦霄等,2006)。金花茶组植物不仅具有较高的观赏价值,现在还逐渐应用于医药、饮料行业;其叶片富含氨基酸、多糖、茶多酚、黄酮等生物活性成分以及多种对人体具有重要保健作用的天然有机锗(Ge)、硒(Se)、钼(Mo)、锌(Zn)、钒(V)等微量元素,具有降血脂,降血压,抗衰老,保护心脏和细胞膜,增强免疫力以及抑制肿瘤等多种功效(彭亮等,2011;曹芬和樊兰兰,2013)。目前已研究出金花茶口服液、金花茶精和金花茶芽尖茶等一系列高级保健品饮料,市场前景广阔(韦记青等,2008)。

有关金花茶组植物的研究多集中在分类学、种质资源、化学成分及药理作用等方面(唐前等,2009)。李翠云等(2007)研究了金花茶茶花浸泡液对肝癌细胞株 BEL-7404 的抑制作用;林华娟等(2010)研究了金花茶茶花的化学成分及生理活性成分;彭晓等(2011)研究了金花茶花的化学成分,并从乙醇提取物中分离得到 13 种化合物。对金花茶药理活性成分的研究,有利于进一步开发金花茶的药用价值;但近年来有关茶叶富集重金属的报道屡见不鲜,而金花茶具有与茶叶相似的特性,因此有必要对金花茶中的重金属含量进行研究。目前对金花茶中金属元素的研究较少,彭靖茹和甘志勇(2009)研究了金花茶花朵不同部位微量元素的含量,但还未见有关金花茶叶片中金属元素含量分析及富集特性的相关报道。本研究以四种金花茶组植

物为材料,对金花茶组植物叶片中金属元素含量及富集特性进行研究,为合理开发和利用金花茶组植物资源提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品来源

供试的四种金花茶组植物来自广西亚热带作物研究所种质资源圃。四种金花茶组植物分别为龙州金花茶(*Camellia longzhouensis*)、黄花抱茎茶(*C. murauchii*)、金花茶(*C. nitidissima*)和毛籽金花茶(*C. pilosperma*)。2016年2月,采集植株当年新生的嫩叶和一年生老叶,每种植物采3份平行样,每份样品采集植株在10株以上,重量约200g,共4×2×3份样品。采集好的叶片先用自来水洗净,再用去离子水冲洗,晾干,置于烘箱中105℃杀青30min后,80℃烘至恒重,粉碎,过40目筛装袋备用。土壤取自对应四种金花茶组植物根部附近0~20cm深的土壤,每种取3份平行样,每份重约500g,共4×3份样品,自然风干,按四分法取样,研磨过100目筛备用。

### 1.2 主要仪器及试剂

Spectr AA 220 FS 原子吸收分光光度计和 Varian AA 240 Z 石墨炉原子吸收光谱仪(美国,Varian 公司), AFS-933 双道原子荧光光度计(北京吉天), MARS 6 微波消解仪(美国,CEM 公司)。

所用各元素标准储备液均购买于国家标准物质研究中心,逐级稀释配成相应浓度的标准溶液上机。所用试剂均为分析纯及以上,玻璃仪器均洗涤干净后在 HNO<sub>3</sub>(3+1)中浸泡 24 h,去离子水洗净,晾干,

备用。试验用水为去离子水。

### 1.3 样品消解及检测

植物样品称取 0.5 g (精确到 0.000 1 g), 加 8 mL  $\text{HNO}_3$  和 2.5 mL  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 浸泡过夜, 然后微波消解。微波消解程序: 15 min 升温至 135  $^\circ\text{C}$ , 保持 30 min; 之后 10 min 升温至 200  $^\circ\text{C}$ , 保持 30 min。消解完全后转移至 50 mL 容量瓶定容, 同时做空白试验。消解液经适当稀释后可以直接用火焰原子吸收测 Mg、Ca、Mn、Fe、Zn 含量, 石墨炉原子吸收光谱仪测 Ni、Pb、Cd 含量, 双道原子荧光光度计测 Hg 含量。取 10 mL 消解溶液, 赶酸至约 1 mL, 冷却后加入 2 mL  $\text{HCl}(1+1)$ 、2 mL 5% 硫脲-抗坏血酸混合溶液, 定容至 10 mL, 双道原子荧光光度计测 As 含量。取 10 mL 消解溶液, 赶酸至约 1 mL, 加入 2 mL  $\text{HCl}(1+1)$ , 加热 5 min, 然后冷却, 定容至 10 mL, 双道原子荧光光度计测 Se 含量。

土壤样品用王水+HF 消解完全, 火焰原子吸收分析 Mg、Ca、Mn、Fe、Zn, 石墨炉原子吸收光谱仪分析 Pb、Cd, 双道原子荧光光度计分析 Hg、As、Se。

用国家标准物质茶叶 GBW10016、土壤 ESS-3 和 GSS-4 作为质控样, 对样品处理及检测全过程进行质量监控, 标准物质的各元素测定值均在推荐值范围内, 符合质控要求。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤金属元素总量水平

四种金花茶组植物的栽培土壤均为酸性红土壤 ( $\text{pH}<7.0$ ), 龙州金花茶、黄花抱茎茶、金花茶、毛籽金花茶栽培土壤的 pH 值依次为 4.42、4.55、4.59、4.84, 有机质含量依次为 13.9、11.1、12.9、19.3  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。土壤各金属元素含量见表 1。与方凤满等 (2015) 报道对比, 并结合表 1 的数据可知, 各土壤中 Fe、Zn、Ni 3 种营养元素含量为一般水平, 但 Mg、Ca 和 Mn 元素含量偏低。土壤中重金属含量较低, 根据 GB 15618-1995 土壤环境质量标准, 除了毛籽金花茶土壤中的 Cd, 其余土壤 Pb、Cd、Hg 都达到一级标准, As 达到二级标准; 四种栽培土壤 Se 含量较高, 均达到富硒标准 ( $>0.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )。

### 2.2 叶片金属元素含量水平

由表 2 可知, 金花茶组植物叶片富含 Mg、Ca、Mn、Fe、Zn、Ni 等营养元素, 比文献 (彭靖茹和甘志勇, 2009; 李辛雷等, 2010) 报道的金花茶和同属山

表 1 四种金花茶组植物土壤金属元素含量

Table 1 Contents of metal elements in soil of four yellow flower *Camellia*

元素含量 Element content	龙州金花茶 <i>C. longzhouensis</i>	黄花抱茎茶 <i>C. murauchii</i>	金花茶 <i>C. nitidissima</i>	毛籽金花茶 <i>C. pilosperma</i>
Mg ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	1.70	1.53	3.10	2.41
Ca ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	0.60	0.35	1.15	11.51
Mn ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	0.12	0.13	0.11	0.51
Fe ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	27.53	29.27	26.27	32.66
Zn ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	50.71	39.14	121.83	162.40
Ni ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	16.12	9.97	22.25	18.86
Se ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	0.54	0.53	1.05	2.09
Pb ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	8.83	8.97	12.35	14.40
Cd ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	ND	ND	0.06	1.29
Hg ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	0.04	0.04	0.14	0.15
As ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	20.94	20.98	19.44	19.47

注: ND 表示未检出。下同。

Note: ND means undetected. The same below.

茶花朵中的元素含量高, 各元素含量依次为  $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Se}$ ; 重金属元素 Pb、Cd、Hg、As 含量远低于无公害茶叶金属元素限值 (Pb、Cd、Hg、As 分别为 5、1、0.3、2  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), 处于无污染状态, 其中嫩叶中的 Pb 和 Cr 均未检出。

金花茶组植物老叶和嫩叶中金属元素含量差异显著。老叶中的 Ca、Mn、Fe、Zn、Pb、Cd、Hg、As、Se 元素含量均大于嫩叶, 其中, 老叶中的 Ca 是嫩叶的 3~5 倍, Mn 是嫩叶的 3~7 倍, Fe 是嫩叶的 2~6 倍; 嫩叶中的 Mg 和 Ni 含量大于老叶。这说明不同金属元素在叶片不同部位的转移和富集规律不同, 除了 Mg、Ni 倾向于在嫩叶富集之外, 其他金属元素更倾向于在老叶富集, 与方凤满等 (2015) 报道的茶叶中金属元素的富集规律基本一致。

不同金花茶组植物叶片中的金属元素含量有较大差异, 且在嫩叶和老叶表现出不同的规律。金花茶嫩叶和老叶中的 Ca、Zn 含量均最高, 嫩叶和老叶 Ca 含量分别为 8.33、24.36  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; Zn 含量分别为 24.16、29.73  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 其次为龙州金花茶。龙州金花茶嫩叶和老叶中的 Mn 含量均最高, 分别为 1.47、3.92  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 其次为黄花抱茎茶、毛籽金花茶, 金花茶的含量最低。龙州金花茶叶片中的 Se 含量也明显高于其他种类, 老叶中硒含量为 0.317  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,

表 2 四种金花茶组植物叶片金属元素含量  
Table 2 Contents of metal elements in leaves of four yellow flower *Camellia*

元素含量 Element	叶片 Leaves	龙州金花茶 <i>C. longzhouensis</i>		黄花抱茎茶 <i>C. murauchii</i>		金花茶 <i>C. nitidissima</i>		毛籽金花茶 <i>C. pilosperma</i>	
		平均值 ± 标准差 $\bar{x} \pm s$	RSD (%)	平均值 ± 标准差 $\bar{x} \pm s$	RSD (%)	平均值 ± 标准差 $\bar{x} \pm s$	RSD (%)	平均值 ± 标准差 $\bar{x} \pm s$	RSD (%)
Mg (g · kg <sup>-1</sup> )	嫩叶 Young leaves	2.96 ± 0.01	0.2	2.15 ± 0.04	1.6	2.80 ± 0.07	2.6	3.47 ± 0.14	3.9
	老叶 Old leaves	2.41 ± 0.07	2.7	2.04 ± 0.04	1.7	2.23 ± 0.02	0.9	0.80 ± 0.03	3.3
Ca (g · kg <sup>-1</sup> )	嫩叶 Young leaves	3.77 ± 0.10	2.6	4.22 ± 0.10	2.3	8.33 ± 0.02	0.2	4.29 ± 0.08	1.7
	老叶 Old leaves	18.11 ± 0.11	0.6	14.17 ± 0.16	1.1	24.36 ± 0.49	2.0	10.75 ± 0.13	1.2
Mn (g · kg <sup>-1</sup> )	嫩叶 Young leaves	1.47 ± 0.02	1.0	0.75 ± 0.01	0.8	0.21 ± 0.01	2.8	0.49 ± 0.01	1.2
	老叶 Old leaves	3.92 ± 0.04	0.9	2.94 ± 0.02	0.5	1.39 ± 0.01	0.8	2.06 ± 0.04	2.0
Fe (mg · kg <sup>-1</sup> )	嫩叶 Young leaves	38.56 ± 0.64	1.7	76.96 ± 4.51	5.9	119.49 ± 1.61	1.4	58.11 ± 2.60	4.5
	老叶 Old leaves	176.27 ± 15.31	8.7	470.11 ± 13.26	2.8	348.10 ± 7.30	2.1	101.40 ± 0.15	0.1
Zn (mg · kg <sup>-1</sup> )	嫩叶 Young leaves	21.24 ± 0.47	2.2	15.58 ± 0.15	1.0	24.16 ± 0.38	1.6	16.70 ± 0.27	1.7
	老叶 Old leaves	24.29 ± 1.74	7.2	22.91 ± 0.43	1.9	29.73 ± 0.39	1.3	21.43 ± 0.85	3.9
Ni (mg · kg <sup>-1</sup> )	嫩叶 Young leaves	3.78 ± 0.02	0.6	1.97 ± 0.09	10.3	8.81 ± 0.43	4.9	2.23 ± 0.10	4.4
	老叶 Old leaves	3.04 ± 0.25	8.1	1.76 ± 0.20	5.2	0.83 ± 0.08	9.8	0.35 ± 0.04	10.1
Se (mg · kg <sup>-1</sup> )	嫩叶 Young leaves	0.105 ± 0.003	2.4	ND	—	ND	—	ND	—
	老叶 Old leaves	0.317 ± 0.014	4.3	0.054 ± 0.004	8.1	0.019 ± 0.003	13.0	0.041 ± 0.004	10.2
Pb (mg · kg <sup>-1</sup> )	嫩叶 Young leaves	ND	—	ND	—	ND	—	ND	—
	老叶 Old leaves	0.98 ± 0.07	7.4	2.52 ± 0.14	5.5	0.96 ± 0.09	8.9	1.17 ± 0.05	4.2
Cd (mg · kg <sup>-1</sup> )	嫩叶 Young leaves	ND	—	ND	—	ND	—	ND	—
	老叶 Old leaves	0.018 ± 0.001	6.3	0.027 ± 0.003	9.8	0.018 ± 0.001	3.3	0.024 ± 0.002	6.3
Hg (mg · kg <sup>-1</sup> )	嫩叶 Young leaves	0.011 ± 0.005	10.2	0.018 ± 0.001	9.5	0.055 ± 0.005	5.5	0.031 ± 0.007	10.2
	老叶 Old leaves	0.015 ± 0.002	8.4	0.032 ± 0.008	7.2	0.070 ± 0.004	4.5	0.062 ± 0.003	7.4
As (mg · kg <sup>-1</sup> )	嫩叶 Young leaves	0.016 ± 0.002	12.5	0.016 ± 0.002	9.4	0.023 ± 0.003	13.0	0.013 ± 0.002	12.1
	老叶 Old leaves	0.049 ± 0.004	8.9	0.104 ± 0.007	6.4	0.082 ± 0.011	12.8	0.082 ± 0.003	3.2

达到富硒茶的标准(0.25~4 mg · kg<sup>-1</sup>)。Fe、Mg、Ni 元素含量在不同金花茶组植物老叶和嫩叶中表现出完全不同的规律,例如在嫩叶中,金花茶的 Fe 含量

最高,其次为黄花抱茎茶、毛籽金花茶、龙州金花茶;而老叶中,黄花抱茎茶的 Fe 含量最高,其次为金花茶、龙州金花茶、毛籽金花茶。不同金花茶组植物叶

表 3 四种金花茶组植物叶片对金属元素的富集系数  
Table 3 Enrichment factors of four yellow flower *Camellias* in leaves

种类 Species	叶片 Leaves	Mg	Ca	Mn	Fe	Zn	Ni	Se	Pb	Hg	As
龙州金花茶 <i>C. longzhouensis</i>	嫩叶 Young leaves	1.741	6.283	12.250	0.001	0.419	0.234	0.194	—	0.275	0.001
	老叶 Old leaves	1.418	30.183	32.667	0.006	0.479	0.189	0.587	0.111	0.375	0.002
黄花抱茎茶 <i>C. murauchii</i>	嫩叶 Young leaves	1.405	12.057	5.769	0.003	0.398	0.198	—	—	0.450	0.001
	老叶 Old leaves	1.333	40.486	22.615	0.016	0.585	0.177	0.102	0.281	0.800	0.005
金花茶 <i>C. nitidissima</i>	嫩叶 Young leaves	0.903	7.243	1.909	0.005	0.198	0.396	—	—	0.393	0.001
	老叶 Old leaves	0.719	21.183	12.636	0.013	0.244	0.037	0.018	0.078	0.500	0.004
毛籽金花茶 <i>C. pilosperma</i>	嫩叶 Young leaves	1.440	0.373	0.961	0.002	0.103	0.118	—	—	0.207	0.001
	老叶 Old leaves	0.332	0.934	4.039	0.003	0.132	0.019	0.020	0.081	0.413	0.004

片中的金属元素含量的差异与自身的遗传特性相关。可根据产品的不同需求选择合适的金花茶组植物作为原料,如本研究中的龙州金花茶叶片可作为生产富硒产品的上好原料。

### 2.3 金花茶组植物对金属元素的富集特性

叶片中的金属元素主要来源于土壤,通常用富集系数(叶片中金属元素的含量与土壤金属元素含量比值)来反应植物对元素富集程度的高低或富集能力的强弱,富集系数在一定程度上反映着土壤-植物系统中元素迁移的难易程度,富集系数越大表明植物对该元素的富集能力越强,越容易从土壤中吸收该元素。四种金花茶组植物叶片对金属元素的富集系数见表 3。

由表 3 可知,金花茶组植物对土壤中不同金属元素的富集能力不同,富集系数表现出  $Ca, Mn, Mg > Zn, Ni, Hg > Pb, Se > Fe, As$  的规律。四种金花茶组植物对  $Ca, Mn, Mg$  的富集能力表现较强,富集系数在 0.3~41 之间;对  $Zn, Ni, Hg, Se, Pb$  的富集能力一般,富集系数在 0.01~0.8 之间;对  $Fe, As$  的富集能力较弱,富集系数均  $< 0.02$ 。重金属元素中,金花茶组植物对  $As, Pb$  的富集系数较小,对  $Hg$  的富集系数较大,因此在栽培过程中要特别注意防控  $Hg$  污染。金花茶组植物不同部位间的富集能力存在差异,嫩叶对  $Ca, Mn, Fe, Zn, Pb, Hg, As, Se$  元素的富集能力均小于老叶,对  $Mg$  和  $Ni$  元素的富集能力大于老

叶。同种金花茶组植物嫩叶和老叶对不同金属元素的富集规律不完全相同,以龙州金花茶为例,嫩叶中各金属元素富集系数大小为  $Mn > Ca > Mg > Zn > Hg > Ni > Se > Fe, As$ ;而老叶中各金属元素富集系数大小为  $Mn > Ca > Mg > Se > Zn > Hg > Ni > Pb > Fe > As$ ,可能与金花茶组植物不同部位生物学特性的差异和不同元素在不同部位的转移规律不同有关。

不同种类金花茶组植物对金属元素的富集能力表现出较大差异,且在老叶和嫩叶中表现出不同的规律。整体上,龙州金花茶和黄花抱茎茶对  $Mg, Ca, Mn, Zn, Ni, Se, Pb$  的富集能力大于金花茶和毛籽金花茶。具体表现为,龙州金花茶嫩叶和老叶均对  $Mn, Mg, Se$  的富集能力最大,对  $Ca$  的富集能力较大,仅次于黄花抱茎茶;嫩叶对  $Zn$  的富集能力最大,对  $Ni$  的富集能力仅次于金花茶;老叶对  $Ni$  的富集能力最大,对  $Zn, Pb$  的富集能力仅次于黄花抱茎茶。黄花抱茎茶嫩叶和老叶均对  $Ca, Pb, Hg$  富集能力最大,对  $Mn$  的富集能力较大,仅次于龙州金花茶;老叶对  $Zn$  的富集能力最大,对  $Mg$  的富集能力仅次于龙州金花茶;嫩叶对  $Zn$  的富集能力仅次于龙州金花茶。金花茶嫩叶和老叶均对  $Hg$  的富集能力较大,仅次于黄花抱茎茶;除嫩叶对  $Ni$  的富集能力最大外,金花茶对其它元素的富集能力均较弱。毛籽金花茶嫩叶对  $Mg$  的富集能力较大,仅次于龙州

金花茶;嫩叶和老叶对 Ca、Mn、Ni、Zn 等元素的富集能力均最小。不同种类金花茶组植物富集能力的差异可能与其自身的遗传特性有关,可在此基础上对其相关基因型差异进行进一步研究。此外,龙州金花茶、黄花抱茎茶、金花茶老叶对 Ca 的富集系数过大,均大于 20,而毛籽金花茶老叶对 Ca 的富集系数只有 0.934,可能与不同土壤中全 Ca 含量差异较大有关,毛籽金花茶土壤中 Ca 含量比其他三种土壤高 10 倍以上,而叶片中 Ca 的含量不仅受到土壤中全 Ca 含量的影响,还与 Ca 在土壤中的存在形态、大气状况、降水、施肥及茶树不同部位之间的转运作用等相关,过高的富集系数表明叶片中 Ca 的含量除土壤外可能还有其他来源(例如施肥、浇水),这一点有待于进一步研究。

### 3 讨论与结论

(1) 四种金花茶组植物叶片均富含 Mg、Ca、Mn、Fe、Zn、Ni 等营养元素,Pb、Cd、As、Hg 等有害重金属元素含量低,可作为生产金花茶茶叶、饮料、保健品等的上好原料。其中,龙州金花茶富硒能力较强,可用于生产富硒金花茶类产品。

(2) 与一般茶树相似,金花茶组植物老叶和嫩叶金属元素含量差异显著,老叶中 Ca、Mn、Fe、Zn、Pb、Cd、Hg、As、Se 元素含量均大于嫩叶,嫩叶中 Mg 和 Ni 含量大于老叶,说明不同金属元素在金花茶组植物不同部位的富集规律不同,可能是由于不同部位的生物学特性不同引起的;也可能与金属元素在金花茶组植物不同部位的转移特性有关,如 Mg 和 Ni 元素在植物体内易移动、易向生长代谢旺盛的嫩叶集聚;而 Ca、Mn、Fe 等元素在植物体内运输较慢,因而在生长周期较长的老叶中含量较高。

(3) 从富集系数可知,四种金花茶组植物对 Ca、Mn、Mg 的富集能力较强,对 Zn、Ni、Se、Pb、Hg 的富集能力一般,对 Fe、As 的富集能力较弱,其原因除与土壤母质中各元素总量有关外,还可能与土壤中元素可吸收态含量的高低及金花茶组植物自身对元素的吸收能力有关。土壤中的元素大多可分为交换态、碳酸盐态、铁锰氧化物态、有机结合态和残渣态等多种形态,每种形态被植物吸收利用的难易程度不同,交换态是较容易被植物吸收的形态,而残渣态则很难被植物吸收。例如,土壤中全 Fe 含量较高,为 26.27~32.66 g·kg<sup>-1</sup>,远高于其它元素,但可被植

物直接吸收利用的 Fe 并不多,这可能是造成植物对 Fe 的富集系数较低的原因之一。四种金花茶组植物对 Ca 和 Mn 的富集系数过大,可能是由于土壤中 Ca、Mn 含量偏低,使得计算结果较大;同时也说明叶片中的 Ca 和 Mn 除土壤外可能还存在其他来源,如化肥农药、浇灌水等。

(4) 金花茶组植物不同部位和不同种类对金属元素的富集能力差异较大,可能与不同部位生物学特性的差异和不同种类金花茶本身遗传特性的差异有关。可见,富集系数与植物种类、部位和元素类别等都有关,同时还受土壤中元素总量及存在形态、大气沉降、降水、施肥以及不同部位间的转运作用等影响,是各因素综合作用的体现,只能在一定程度上反映植物对元素的富集能力。有研究报道,空气干沉降是导致茶叶重金属污染的重要原因之一。土壤 PH 值、有机质含量等因素可能会通过提高土壤中金属元素的生物有效性来影响植物对元素的吸收。有关金花茶组植物对金属元素的富集机理较为复杂,有待于进一步研究。

### 参考文献:

- CAO F, FAN LL, et al, 2013. Research progress of *Camellia chrysantha* [J]. *China Pharm*, 22(4): 95-96. [曹芬, 樊兰兰, 2013. 金花茶研究进展 [J]. *中国药业*, 22(4): 95-96.]
- FANG FM, WANG X, LIN YS, 2015. Study on enrichment patterns and health risk of metal elements of tea in typical mountainous tea garden in south Anhui [J]. *J Soil Wat Conserv*, 29(4): 229-235. [方凤满, 王翔, 林跃胜, 2015. 皖南典型茶园茶叶中金属元素富集规律及其健康风险研究 [J]. *水土保持学报*, 29(4): 229-235.]
- LI CY, DUAN XX, SU JJ, et al, 2007. Impact of leaves and flowers of *Camellia chrysantha* (Hu) Tuyama of different concentrations on diethylnitrosamine-induced precancerous lesion to liver of rat and hepatoma cells BRL-7404 [J]. *J Guangxi Med Univ*, 24(5): 660-663. [李翠云, 段小娴, 苏建家, 等, 2007. 金花茶对二乙基亚硝胺致大鼠肝癌前病变及肝癌细胞株作用的影响 [J]. *广西医科大学学报*, 24(5): 660-663.]
- LI XL, LI JY, FAN ZQ, et al, 2010. Analysis of nutritional components and poisonous elements in flowers of four *Camellia* species [J]. *For Res*, 23(2): 298-301. [李辛雷, 李纪元, 范正琪, 等, 2010. 4 种山茶花营养成分及有害元素含量分析 [J]. *林业科学研究*, 23(2): 298-301.]
- LIN HJ, QIN XM, ZENG QW, et al, 2010. Analysis on chemical and bioactive components in flower of *Camellia chrysantha* (Hu) Tuyama [J]. *Food Sci Technol*, 35(10): 88-91. [林华娟, 秦小明, 曾秋文, 等, 2010. 金花茶茶花的化学成分及生理活性成分分析 [J]. *食品科技*, 35(10): 88-91.]
- PENG JR, GAN ZY, 2009. Study on trace elements of yellow flower *Camellia* flowers [J]. *J Anal Sci*, 25(4): 484-486. [彭靖茹, (下转第 1444 页 Continue on page 1444 )