

## 2 种茶果不同组织中矿质元素含量的分布特征

崔世展<sup>1</sup>, 陶亚飞<sup>2</sup>, 缪德仁<sup>2\*</sup>

(1. 昆明学院 农学与生命科学学院, 云南 昆明 650214; 2. 昆明学院 化学化工学院, 云南 昆明 650214)

**摘要:** 对小叶种茶果和大叶种茶果的不同组织 (果皮、种皮和种仁) 中 10 种矿质元素的含量进行了分析. 结果表明, 茶果各组织中 Cr 和 Cu 的含量均远低于 GB 2762—2017 所规定的最高含量限定值; 不同元素在茶果不同组织中的含量略有差异, 具体表现为  $w(\text{Al}) > w(\text{Mn}) > w(\text{Fe}) > w(\text{Zn}) \approx w(\text{B}) > w(\text{Ba}) > w(\text{Cu}) > w(\text{Ti}) \approx w(\text{Cr}) > w(\text{Co})$ ; 不同矿质元素在不同茶树品种茶果组织中的转运机制不一, Al、B、Ba、Fe、Mn、Ti 和 Zn 在不同茶果相同组织中的含量分布比例基本一致, 而 Cr、Cu 和 Co 在不同茶果的相同组织中的含量分布比例则呈现出显著的差异. 相关性分析结果表明, 在 2 种茶果中, Mn 与 B、Fe 与 Ba、Zn 与 Co、Ti 与 Co 均呈现出极显著的正相关 ( $R^2 > 0.938$ ,  $p < 0.01$ ), 而 Al 与 Cu 则呈现出负相关 (小叶种茶果中的  $R^2 = -0.960$ ,  $p < 0.01$ ; 大叶种茶果中的  $R^2 = -0.48$ ,  $p < 0.05$ ), 总体而言, 在茶果中 Al 与 Cu 之间呈现出一定的拮抗现象.

**关键词:** 茶果; 矿质元素; 含量分布特征; 相关性分析

**中图分类号:** S663.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674 - 5639 (2022) 06 - 0031 - 06

**DOI:** 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2022.06.006

### Content Distribution Characteristics of Mineral Elements in Different Tissues of Two Tea Fruits

CUI Shizhan<sup>1</sup>, TAO Yafei<sup>2</sup>, MIAO Deren<sup>2\*</sup>

(1. School of Agriculture and Life Sciences, Kunming University, Kunming, Yunnan, China 650214;

2. School of Chemistry and Chemical Engineering, Kunming University, Kunming, Yunnan, China 650214)

**Abstract:** The contents of mineral elements (Al, B, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ti and Zn) in different tissues (seed kernel, seed coat and pericarp) of small leaf and large leaf tea fruits were analyzed. The results showed that the contents of Cr and Cu in various tissues of tea fruits are far lower the maximum content limit values of GB 2762-2017. The contents of different elements in different tissues of tea fruits are slightly different, specifically,  $w(\text{Al}) > w(\text{Mn}) > w(\text{Fe}) > w(\text{Zn}) \approx w(\text{B}) > w(\text{Ba}) > w(\text{Cu}) > w(\text{Ti}) \approx w(\text{Cr}) > w(\text{Co})$  indicating the transport mechanism of different mineral elements in different tea fruit tissues of different tea varieties is different. The content distribution proportions of Al, B, Ba, Fe, Mn, Ti and Zn in the same tissues of different tea fruits are essentially the same, while the content distribution proportions of Cr, Cu and Co in the same tissues of different tea fruits show significant differences. The results of correlation analysis showed that Mn and B, Fe and Ba, Zn and Co, Ti and Co are significantly positively correlated ( $R^2 > 0.938$ ,  $p < 0.01$ ), while Al and Cu are negatively correlated ( $R^2 = -0.960$ ,  $p < 0.01$ ;  $R^2 = -0.48$ ,  $p < 0.05$ ). In general, there is a certain antagonism between Al and Cu in tea fruits.

**Key words:** tea fruits; mineral elements content; content distribution characteristics; correlation analysis

茶果由果皮、种皮和种仁组成<sup>[1,2]</sup>. 其中果皮 减少内部水分的蒸发, 控制植物与环境之间的气体  
占 23% ~ 27%, 主要作用是保护茶果的内部组织, 交换, 防止虫害以及外部损伤等<sup>[3]</sup>; 种皮占 23%

收稿日期: 2022 - 10 - 14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31960057); 云南省高校食品安全检测技术重点实验室建设项目 (Yunnan key laboratory of food-safety testing technology).

作者简介: 崔世展 (1997—), 男, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要从事资源利用与植物保护研究.

\* 通信作者: 缪德仁 (1969—), 男, 云南丽江人, 教授, 博士, 主要从事分析化学方面的研究, E-mail: mdr31882@126.com.

~27%，主要作用是保护种胚，有助于种子萌芽吸收水分<sup>[4,5]</sup>；种仁占43%~47%，是植物的原始体，储存了丰富的营养物质<sup>[6]</sup>，对植物萌发起决定性作用。通常，茶果的用途主要是作为种子培育茶树，然而，在茶树种植和茶园管理中，绝大部分茶果成熟脱落后常自然腐烂于地表，造成了资源浪费。随着经济的发展和人们生活水平的提高，茶果的抗氧化、抗衰老<sup>[7]</sup>、降血压、降血脂<sup>[8]</sup>等活性作用已引起了人们的关注，因此，茶果的综合利用开发行业，如压榨茶油，制造木寡糖、活性炭，用于新型食品的加工等也逐渐兴起。

茶果含有大量的维生素和茶单宁等活性物质，不仅具有较好的抗衰老、抗氧化、抑菌作用<sup>[9-11]</sup>，还可一定程度上降低人体血脂，具有一定的减肥效果。由于血脂的降低有助于延缓动脉硬化，所以食用茶果也有助于中老年人心脑血管疾病的预防和改善<sup>[12]</sup>。此外，茶果富含的有益矿质元素，如Mn、

Fe、Zn、Cu、Co等，能促进人体的新陈代谢，并对慢性胃炎、更年期综合症、神经衰弱等病症有一定的治疗或辅助治疗作用<sup>[13]</sup>。目前，对小叶种茶树茶果的开发已颇具规模，而对大叶种茶树茶果的开发却相对滞后。为推动大叶种茶树茶果的综合开发利用，有必要探明其不同组织中矿质元素含量的分布特征，厘清各元素之间的相关性。本研究不仅能为茶果产品的开发提供理论依据，而且可为茶果资源的开发和利用提供基础数据支持。

## 1 方法与材料

### 1.1 样品的采集与制备

小叶种茶果样品取自福建三明市（以市场采购方式获取），大叶种茶果样品采自云南临沧市（茶叶实验基地采摘获取）。2种茶果样品经干燥（40℃环境下干燥12h）、脱壳后，将果皮、种皮和种仁分别称重后，装入密封袋中编号保存备用（表1）。

表1 茶果样品及编号

产地	茶果组织及编号		
	种仁	种皮	果皮
福建三明(小叶种茶果)	SM-ZR	SM-GP	SM-ZP
云南临沧(大叶种茶果)	DTH-ZR	DTH-GP	DTH-GP

### 1.2 样品的消解及分析

分别准确称取制备好的各茶果样品0.1000g于微波消解罐中，加入5mL浓硝酸（优级纯）和1mL过氧化氢（优级纯）加热完全消解后定容至10mL，采用ICP-MS对Al、B、Ba、Co、Cr、Cu、Fe、Mn、Ti和Zn的含量进行分析，每一样品重复3次，分析结果表示为3次测定的平均值，同时加做空白试验。

## 2 结果与讨论

### 2.1 茶果各组织的质量分数分布

对福建三明小叶种茶果和云南临沧大叶种茶果分离的各组织分别称重，各部分质量分数分布结果汇总见表2。结果表明，2种茶果各组织的质量分数分布略有差异，但差异不显著。总体而言，在大叶种和小叶种茶果中，种仁质量约占50%，而种皮质量占比不足20%。这与曾晓怡等<sup>[4]</sup>的研究结论基本一致。

表2 茶果各组织的质量分数分布 %

产地	种仁	种皮	果皮
福建三明(小叶种茶果)	50.51	15.94	33.46
云南临沧(大叶种茶果)	47.62	17.54	34.84

### 2.2 茶果各组织中矿质元素的含量

采用ICP-MS对各组织消解液中矿质元素含量进行测定，结果见表3。分析结果表明，在大叶种茶果和小叶种茶果中，Cr和Cu的含量均未超过我国《食品中污染物限量》（GB 2762—2017）标准中所规定的限定值（ $w(\text{Cr}) \leq 5.0 \text{ mg/kg}$ 、 $w(\text{Cu}) \leq 30.0 \text{ mg/kg}$ ）<sup>[14]</sup>。

在大叶种茶果中，Al的含量最高，且主要累积于果皮之中，约为种仁、种皮的2~4倍，这可能与茶果采摘成熟度有关。而在小叶种茶果中，Mn的含量最高，且并未呈现出在种皮中累积的现象。至于引起Mn在大叶种茶果中含量较高的原因是由于茶树树种所致还是由于云南临沧土壤背景值中Mn含量较高<sup>[15,16]</sup>所致，有待进一步深入研究。

Zn 和 Cu 是植物生长的主要矿质营养元素, 对植物体的新陈代谢起关键作用<sup>[17]</sup>. 分析结果表明, Zn 和 Cu 在 2 种茶果种仁中的含量均高于果皮和种皮 (1~3 倍), 这可能与茶果种仁新陈代谢较为旺盛有关. 然而, 与 Zn 和 Cu 不同, Fe 在 2 种茶果

的果皮中含量较高, 是其他 2 个部位含量的 1.5~3 倍, 这可能是茶果不同组织对 Fe 的富集能力不同所致. 此外, B 和 Ba 在 2 种茶果的种仁和果皮中含量较高, 而 Ti、Cr 和 Co 在 2 种茶果的不同组织中均含量较少.

表3 茶果各组织中的矿质元素及其含量

mg/kg

元素	茶果组织					
	SM-ZR	SM-GP	SM-ZP	DTH-ZR	DTH-GP	DTH-ZP
Al	191.000	726.000	222.000	182.000	678.000	246.000
B	16.200	13.400	5.300	16.200	18.000	5.190
Ba	10.200	17.100	3.590	8.970	12.400	1.570
Co	0.141	0.051	0.042	0.143	0.118	0.095
Cr	0.322	0.336	0.103	0.500	1.940	0.054
Cu	7.450	3.430	6.110	6.740	6.480	6.430
Fe	13.700	27.000	9.400	26.900	34.500	10.200
Mn	225.00	184.000	50.300	176.000	238.000	69.000
Ti	0.791	0.489	0.267	1.180	0.744	0.270
Zn	23.700	6.560	4.790	22.600	7.700	3.090

对 2 种茶果各组织中矿质元素含量进行加权平均, 并对各矿质元素在茶果中的总含量进行计算, 结果见表 4. 计算结果表明, 茶果中不同元素含量的高低次序略有差异. 2 种茶果中均表现为 Al 元素含量为最高, Co 含量为最低, 除 B、Zn、Cr 和 Ti 元素含量高低次序略有差异外, 其余元素含量高低次序一致. 在小叶种茶果中, 各元素含量的高低次序为:  $w(\text{Al}) > w(\text{Mn}) > w(\text{Fe}) > w(\text{Zn}) > w(\text{B}) > w(\text{Ba}) > w(\text{Cu}) > w(\text{Ti}) > w(\text{Cr}) > w(\text{Co})$ ; 而在大叶种茶果中, 各元素含量的高低次序为:  $w(\text{Al}) > w(\text{Mn}) > w(\text{Fe}) > w(\text{B}) > w(\text{Zn}) > w(\text{Ba}) > w(\text{Cu}) > w(\text{Cr}) > w(\text{Ti}) > w(\text{Co})$ .

表4 茶果中各矿质元素的总含量

mg/kg

元素	SM(小叶种茶果)样品	DTH(大叶种茶果)样品
Al	375.000	366.000
B	13.500	14.900
Ba	11.500	8.870
Co	0.095	0.126
Cr	0.292	0.922
Cu	5.880	6.590
Fe	17.470	26.600
Mn	183.000	179.000
Ti	0.606	0.870
Zn	14.900	13.900

比较而言, 除 Cr 外, 其他元素在不同茶果中的含量差异较小. 大叶种茶果中 Cr 含量超过小叶种茶果的 3 倍, 这可能与茶树品种或茶园土壤背景值有关. 同时, Mn、Zn、Fe、Cu 作为人体不可或缺的矿质元素, 在 2 种茶果中的含量均较为丰富, 说明食用茶果制成的食品有助于补充人体所需的矿质元素.

2.3 不同茶果各组织中矿质元素含量的分布特征

采用雷达图对小叶种茶果和大叶种茶果中各矿质元素的含量分布特征进行分析 (图 1). 结果可见, 同种矿质元素在同一茶果不同组织中的含量不同. 小叶种茶果和大叶种茶果中 Al 的含量大小顺序均为:  $w(\text{果皮}) > w(\text{种皮}) > w(\text{种仁})$ ; 小叶种茶果中 Mn、Zn、B、Co 和大叶种茶果中 Zn、Cu、Ti、Co 的含量大小顺序均为:  $w(\text{种仁}) > w(\text{果皮}) > w(\text{种皮})$ ; 小叶种茶果中 Fe、Ba、Cr 和大叶种茶果中 Mn、Fe、B、Ba、Cr 的含量大小顺序均为:  $w(\text{果皮}) > w(\text{种仁}) > w(\text{种皮})$ . 各元素在种皮中的含量基本均低于果皮和种仁, 说明种皮对各元素的富集能力较弱.

此外, 同种矿质元素在不同茶果的相同组织中的含量也有所不同. 在小叶种茶果中, 果皮中 Al 含量和种仁中 Zn 含量均为最高, 而对大叶种茶果而言, 果皮中 Fe 和 Mn 的含量则均为最高. 在小叶种茶果种仁中, Al、B、Ba、Cu、Mn、Ti 和 Zn

的含量, 果皮中 Al 和 Ba 的含量, 和种皮中 B、Ba、Cr 和 Zn 的含量均高于大叶种茶果。

此外, 2 种茶果果皮中 Al 含量均较高 (>650 mg/kg), 但小叶种茶果果皮中 Al 含量比大叶种茶果高出 1.07 倍。虽然 2 种茶果的种皮中 Al、Mn 和 Fe 的含量均较高, 但总体而言, 大叶种茶果中 Al、Mn 和 Fe 的含量高于小叶种茶果。

总体而言, Al、B、Ba、Fe、Mn、Ti 和 Zn 等 7 种元素在 2 种茶果不同组织中含量分布比例相似, 雷达图具有一定的对称性, 说明大叶种茶果和小叶种茶果对这 7 种元素的吸收转运基本一致。与之相对的, Cr、Cu 和 Co 在 2 种茶果不同组织中含量分布比例差异较大, 雷达图无对称性, 说明 2 种茶果对这 3 种元素的吸收、代谢、积累等能力有较大差异。

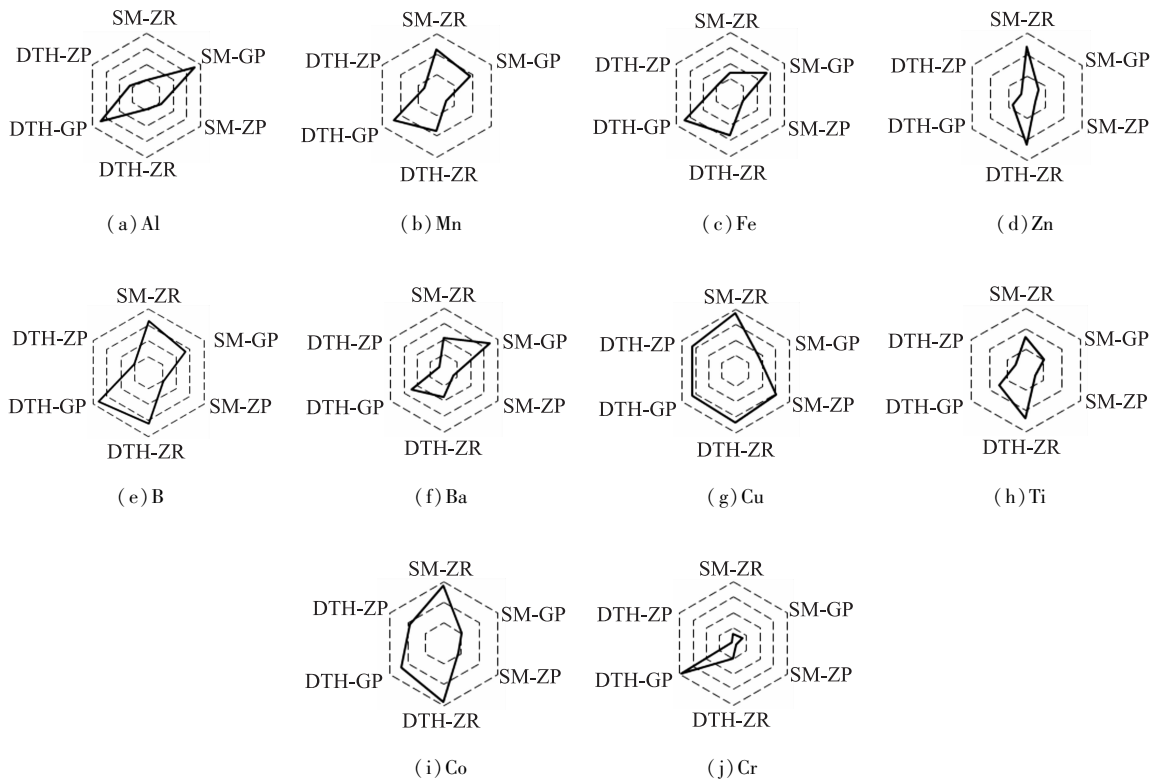


图 1 大叶种茶果和小叶种茶果中各矿质元素的含量分布特征

2.4 不同茶果中矿质元素含量的相关性

采用 SPSS 对小叶种茶果和大叶种茶果中矿质

元素含量之间的相关性进行分析, 结果见表 5 和表 6。

表 5 小叶种茶果中矿质元素含量之间相关性

元素	Al	Mn	Fe	Zn	B	Ba	Cu	Co	Cr	Ti
Al	1.000									
Mn	0.238	1.000								
Fe	0.959**	0.504	1.000							
Zn	-0.471	0.744	-0.201	1.000						
B	0.220	1.000**	0.488	0.757	1.000					
Ba	0.847	0.719	0.963**	0.071	0.706	1.000				
Cu	-0.960**	0.042	-0.842	0.698	0.061	-0.665	1.000			
Co	-0.473	0.743	-0.203	1.000**	0.755	0.069	0.700	1.000		
Cr	0.502	0.960**	0.727	0.527	0.954**	0.885	-0.241	0.525	1.000	
Ti	-0.139	0.929**	0.148	0.939**	0.935**	0.410	0.410	0.938**	0.787	1.000

注: \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$

结果表明: 在小叶种茶果中, Al 和 Fe 含量之间有极显著正相关; Al 和 Cu 含量之间有极显著负相关. Mn 和 B、Cr、Ti 之间; Fe 与 Ba 之间; Zn 与 Co、Ti, Co 和 Ti 之间都有极显著正相关. 说明小叶种茶果中 Al 和 Fe、Cu; Mn 和 B、Cr、Ti; Fe 和 Ba; Zn 和 Co、Ti 之间存在一定的协同作用.

表6 大叶种茶果中矿质元素含量之间相关性

元素	Al	Mn	Fe	Zn	B	Ba	Cu	Ti	Co	Cr
Al	1.000									
Mn	0.703	1.000								
Fe	0.656	0.998 **	1.000							
Zn	-0.403	0.368	0.426	1.000						
B	0.514	0.971 **	0.985 **	0.578	1.000					
Ba	0.659	0.998 **	1.000 **	0.423	0.984 **	1.000				
Cu	-0.480	0.287	0.347	0.996 **	0.506	0.344	1.000			
Ti	-0.097	0.640	0.687	0.950	0.804	0.685	0.920 **	1.000		
Co	-0.143	0.604	0.653	0.963 **	0.776	0.651	0.937 **	0.999 **	1.000	
Cr	0.940 **	0.903 **	0.874	-0.067	0.775	0.876	-0.152	0.248	0.203	1.000

注: \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$

由表6可知, 在大叶种茶果中, Al 与 Cr 之间; Mn 与 Fe、B、Ba 和 Cr 之间; Fe 与 B、Ba; Zn 与 Cu 和 Co 之间, B 与 Ba 之间, Cu 与 Ti 和 Co 之间, Ti 与 Co 之间均呈现出显著正相关, 表明, 在大叶种茶果中, Al 和 Cr; Mn 和 Fe、Ba、B、Cr; Fe 和 B、Ba; Zn 和 Cu、Co; B 和 Ba; Cu 和 Ti、Co; Ti 和 Co 之间有一定的协同作用.

总体而言, 在大叶种茶果和小叶种茶果不同组织中, 矿质元素间的相关性具有一定的差别, 但 Mn 与 B 和 Cr 之间; Fe 与 Ba 之间; Co 与 Zn 和 Ti 之间都具有显著极强正相关, 说明以上3组元素在茶果的吸收代谢中具有一定的协同促进作用. 而 Al 与 Cu 具有显著极强负相关, 说明该些元素在茶果的吸收代谢中存在着一定的拮抗作用.

### 3 结论

通过以上研究, 可以得出如下结论:

1) 茶果各组织中 Cr 和 Cu 含量均远低于 GB 2762—2017 所规定的最高含量限定值.

2) 茶果中各元素含量差异明显, 平均含量高低次序为:  $w(\text{Al}) > w(\text{Mn}) > w(\text{Fe}) > w(\text{Zn}) \approx w(\text{B}) > w(\text{Ba}) > w(\text{Cu}) > w(\text{Ti}) \approx w(\text{Cr}) > w(\text{Co})$ .

3) 茶果不同组织中元素含量差异较大, 但 Al、B、Ba、Fe、Mn、Ti 和 Zn 这7种元素在不同组织中含量分布比例相似, Cr、Cu 和 Co 这3种元

素含量分布比例差异较大, 说明2种茶果对这3种元素的吸收、代谢、积累等能力存在着差异.

4) 小叶种茶果和大叶种茶果不同组织中矿质元素间呈现出一定的相关性, 2种茶果中 Mn 与 B、Cr 之间, Fe 与 Ba 之间, Co 与 Zn、Ti 之间具有显著极强正相关, 说明以上3组元素在茶果的吸收代谢中具有一定的协同促进作用, 而 Al 与 Cu 呈现出显著负相关, 说明该种元素在茶果的吸收代谢中存在着一定的拮抗作用.

### [参考文献]

- [1] 叶乃头, 常玉玺, 郑德勇, 等. 茶树果实的特性、功能成分与利用 [J]. 茶叶科学技术, 2011 (2): 1-6.
- [2] LI G H, LI M, YAN Z P, et al. Extraction of oils and phytochemicals from camellia oleifera seeds: trends, challenges, and innovations [J]. Processes, 2022, 10 (8): 1489.
- [3] 周思勇. 小实验验证果皮的保护作用 [C] // 第五届中国教育技术装备论坛获奖论文集: 中. 《中国教育技术装备》杂志社, 2014: 342-344.
- [4] 曾晓怡, 吴结莹, 陈学梅. 几个探究种皮作用的小实验 [J]. 科教导刊, 2018 (11): 34-35.
- [5] 陈志欣, 郑丽, 兰芹英, 等. ‘勐海大叶茶’种子萌发特性 [J]. 植物分类与资源学报, 2012, 34 (1): 63-68.
- [6] YU J, YAN H, WU Y, et al. Quality Evaluation of the

- Oil of *Camellia* spp [J]. *Foods*, 2022, 11 (15): 2221.
- [7] MUANGRAT R, JIRARATTANARANGSRI W. Physico-chemical properties and antioxidant activity of oil extracted from Assam tea seeds (*Camellia sinensis* var. *assamica*) by supercritical CO<sub>2</sub> extraction [EB/OL]. (2020-01-05) [2022-08-05]. <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfpp.14364>.
- [8] 李云, 米长忠, 吴大州, 等. 湘西茶果降血脂作用的实验研究 [J]. *中国民族医药杂志*, 2017, 23 (3): 47-49.
- [9] 张时馨, 刘亚娜, 耿阳阳, 等. 基于 UPLC-Q-Orbitrap-MS 分析油茶果不同部位化学成分 [EB/OL]. (2022-09-07) [2022-10-12]. [https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=ZLYX20220905005&uniplatform=NZKPT&v=Hbsm0s1p3NxQneaoL8gQjEn2dkfMgIH\\_-V6x7hTeuH74FMFwTISoN3p-CFSRG47](https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=ZLYX20220905005&uniplatform=NZKPT&v=Hbsm0s1p3NxQneaoL8gQjEn2dkfMgIH_-V6x7hTeuH74FMFwTISoN3p-CFSRG47).
- [10] 顾俊荣, 张丽, 刘腾飞, 等. 不同茶果间作下洞庭碧螺春茶叶中矿质元素与茶多酚等有效成分的分析 [J]. *江苏农业科学*, 2015 (12): 325-328.
- [11] 李刚, 吴清韩, 刘志聪, 等. 凤凰单丛茶果皮与种皮提取液的体外抑菌作用研究 [J]. *韩山师范学院学报*, 2022, 43 (3): 44-48.
- [12] 刘学铭, 梁世中. 茶多酚的保健和药理作用及应用前景 [J]. *食品与发酵工业*, 1998, 24 (5): 47-51.
- [13] 禹正玲, 朱鸿. 沈氏保健茶中矿质元素成分及临床应用分析 [J]. *矿质元素与健康研究*, 1997, 14 (3): 35-36.
- [14] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品中污染物限量: GB 2762—2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [15] 朱芬德, 高思楠, 杨婉秋. 云南临沧茶产区茶叶中金属元素含量调查分析 [J]. *昆明学院学报*, 2018, 40 (3): 28-31.
- [16] 方凤满, 王翔, 林跃胜. 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*, 2015, 29 (4): 229-235.
- [17] 韩文炎, 许允文, 伍炳华. 铜与锌对茶树生育特性及生理代谢的影响 II: 锌对茶树的生长和生理效应 [J]. *茶叶科学*, 1994, 14 (1): 23-29.

(上接第 19 页)

- [18] 汪代斌, 杨超, 王红锋, 等. 施氮量, 种植密度及留叶数对重庆烟区云烟 116 生长和产质量的影响 [J]. *西南农业学报*, 2019, 32 (12): 2769-2775.
- [19] 宗胜杰, 崔光周, 王建刚, 等. 豫南烤烟不同成熟度烟叶烘烤工艺优化研究 [J]. *湖南农业科学*, 2022 (2): 91-95.
- [20] 高相彬, 宗胜杰, 孟智勇, 等. 变黄期温湿度对豫烟 10 号碳代谢及烤后品质的影响 [J]. *西南农业学报*, 2019, 32 (10): 2454-2458.
- [21] 王传义. 不同烤烟品种烘烤特性研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2008.
- [22] 肖志君, 裴晓东, 邓小华, 等. 南方稻作烟区不同品种上部烟叶烘烤特性差异 [J]. *核农学报*, 2017, 31 (11): 2213-2220.
- [23] 王爱华, 王松峰, 韩志忠, 等. 烤烟新品种中烟 203 密集烘烤过程中的生理生化特性研究 [J]. *中国烟草科学*, 2013, 34 (2): 74-80.
- [24] 武圣江, 詹军, 莫静静, 等. 不同烤烟品种 (系) 烘烤特性研究 [J]. *云南农业大学学报 (自然科学)*, 2019, 34 (5): 793-801.
- [25] 王松峰, 王爱华, 程森, 等. 引进烤烟新品种 NC55 的烘烤特性研究 [J]. *华北农学报*, 2012, 27 (1): 158-163.
- [26] 刘卉, 周清明, 邵岩, 等. 延长变黄时间对烤烟品质的影响 [J]. *作物研究*, 2014 (4): 395-397.
- [27] 王涛, 毛岚, 范宁波, 等. 密集烘烤变黄期和定色期关键温度点延长对上部烟叶质量的影响 [J]. *天津农业科学*, 2021, 27 (2): 6-10.
- [28] 刘山. 不同烘烤工艺密集烘烤过程中烟叶主要化学成分的动态变化研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2008.