

云南 4 个产区咖啡豆的主要风味成分及感官品质分析

陈云兰¹, 李积华², 陈文进¹, 桂 花¹, 李学玲^{3*}

1. 云南农业大学热带作物学院, 云南普洱 665000; 2. 中国热带农业科学院农产品加工研究所/农业农村部热带作物产品加工重点实验室, 广东湛江 524001; 3. 普洱学院, 云南普洱 665000

摘 要: 本研究以云南 4 个产区即西双版纳 (A、B、C)、普洱 (D、E、F)、临沧 (G、H、I)、保山 (J、K、L) 的 12 个咖啡生豆样品为原料, 分析咖啡主要风味前体物质成分含量及感官品质的差异。采用理化分析法测定蛋白质、脂肪、还原糖的含量, 采用全自动氨基酸分析仪测定氨基酸组成及含量, 采用高效液相色谱法测定咖啡因、绿原酸含量, 对 12 种咖啡生豆样品进行烘焙, 对咖啡熟豆采用色度学系统分析色差, 采用杯品的方式测定感官品质。结果表明: 12 个咖啡样品的蛋白质含量在 11.73~14.72 g/100 g 之间, 脂肪含量为 9.1%~15.9%, 还原糖含量为 5.83~6.26 g/100 g; 12 个样品中均检测出 16 种氨基酸, 而蛋氨酸均未检出, 总氨基酸含量在 10.18~17.25 g/100 g 之间, 孟连县勐马镇帕亮村 (E) 咖啡豆样品的总氨基酸含量最高, 保山市隆阳区白花岭村 (K) 咖啡豆样品的总氨基酸含量最低; 咖啡因含量在 13.73~15.74 mg/g 之间, 绿原酸含量为 20.97~32.51 mg/g。景洪市普文镇南岛河村 (B) 的咖啡熟豆色泽最明亮, 色调度和色调角较好; 保山市高黎贡山 (J) 的咖啡熟豆较其他咖啡更红润, 色调角相对较差; E 咖啡熟豆和临沧市永德县大雪山乡 (I) 的咖啡熟豆偏蓝, E 咖啡豆色调度和色调角偏好。感官评价总分在 42.79~46.09 之间, 保山市昌宁县老地基咖啡种植园 (L) 的咖啡豆感官评分最高, 景洪市勐旺乡老黄寨村 (A) 的咖啡豆感官评分最低。综上, 不同产区咖啡生豆的主要风味成分含量存在一定差异, 不同产区咖啡熟豆的感官品质也存在一定差异。研究结果可为云南咖啡风味品质提升及对优质产品的筛选和鉴别具有重要意义。

关键词: 咖啡豆; 云南; 风味成分; 感官品质

中图分类号: TS273 文献标志码: A

Analysis of Main Flavor Components and Sensory Quality of Coffee Beans from Four Production Areas in Yunnan

CHEN Yunlan¹, LI Jihua², CHEN Wenjin¹, GUI Hua¹, LI Xueling^{3*}

1. College of Tropical Crops, Yunnan Agricultural University, Pu'er, Yunnan 665000, China; 2. Agricultural Products Processing Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences / Key Laboratory of Tropical Crop Products Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhanjiang, Guangdong 524001, China; 3. Pu'er University, Pu'er, Yunnan 665000, China

Abstract: In this study, 12 coffee beans from Xishuangbanna (A, B, C), Pu'er (D, E, F), Lincang (G, H, I) and Baoshan (J, K, L) were used as the raw materials to analyze the contents of main flavor precursors and the differences of sensory products. The contents of protein, fat and reducing sugar were determined by the physicochemical analysis. The composition and content of amino acids in samples were determined by an automatic amino acid analyzer. The contents of caffeine and chlorogenic acid were determined by HPLC. 12 green coffee beans were roasted and the sensory quality was measured by cup. The color difference of coffee beans was analyzed by the Colorimetry system. The protein content ranging from 11.73 g/100 g to 14.72 g/100 g, the fat content ranging from 9.1% to 15.9%, the reducing sugar content ranging from 5.83 g/100 g to 6.26 g/100 g. 16 kinds of amino acids were detected in all the 12 samples, and methionine

收稿日期 2023-11-30; 修回日期 2023-12-23

基金项目 云南省教育厅科学研究基金项目 (No. 2019J0129); 云南农业大学热带作物学院自然科学基金项目 (No. 2020RYYB014); 云南农业大学自然科学基金青年科研基金项目 (No. 2016ZC08)。

作者简介 陈云兰 (1984-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 咖啡加工及品质分析。*通信作者 (Corresponding author): 李学玲 (LI Xueling), E-mail: 297461658@qq.com。

was not detected. The total amino acid content ranging from 10.18 g/100 g to 17.25 g/100 g. The total amino acid content of E coffee beans was the highest, and that of K coffee beans was the lowest. The caffeine content ranging from 13.73 mg/g to 15.74 mg/g, and the chlorogenic acid content ranging from 20.97 mg/g and 32.51 mg/g. B coffee beans had the brightest color, better color scheduling and tone angle. J coffee beans were rudder than other coffees, and the hue angle was relatively poor. E coffee ripe beans and I coffee ripe beans tended to be blue. E coffee bean had better color scheduling and hue angle preference. The total score of sensory evaluation ranged from 42.79 to 46.09, the sensory score of L coffee bean was the highest, and the sensory score of A coffee bean was the lowest. Therefore, the content of main flavor components of raw coffee beans in different producing areas is different, and the sensory quality of cooked coffee beans in different producing areas is also different. The results are of great significance for the improvement of Yunnan coffee flavor quality and the screening and identification of high-quality products.

Keywords: coffee beans; Yunnan; flavor components; sensory quality

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.07.017

云南省是我国最大的咖啡种植和出口地,具有种植小粒种咖啡的优势自然条件,各地的自然地理位置、气候条件差异显著,大多数区域的海拔均在 800~2000 m 之间^[1-2],地势连绵起伏,地理气候特征显著,昼夜温差较大,有利于产出品质优越的咖啡^[3]。目前,云南省咖啡种植面积和产量均占全国的 99%左右^[4],主要分布在普洱、西双版纳、临沧、德宏及保山等地,在国内外市场上具有较强的市场竞争力。

咖啡的风味成分受到品种、种植管理、初制加工等多种因素影响,进而影响咖啡的风味。黄家雄等^[5]对小粒种咖啡风味品质的形成与不同纬度等因素进行了分析研究。云南保山和普洱所产的咖啡豆均为优质咖啡豆,品质有差异但各具特色^[6]。FARHA 等^[7]研究得出,葫芦巴碱含量会随咖啡品质的改变而逐渐变化,并且通过对各种咖啡豆的蛋白质成分进行综合分析表明,品质好的咖啡豆中蛋白质含量更高。胡双芳等^[8]研究了不同产区咖啡豆的各种化学物质组分含量与人为感官品质之间的关系,结果表明,种植环境不同,咖啡化学组分具有一定差异。脂质、蛋白质、绿原酸、咖啡因和葫芦巴碱是成熟咖啡豆的主要化合物,这些物质在烘焙过程中通过美拉德反应、Strecker 降解、焦糖化反应产生咖啡的香气^[9]。

系统研究云南产区咖啡营养成分和感官品质的文献较少,董文江等^[10]研究了云南不同产区咖啡前体物质,结果表明普洱咖啡中的脂肪酸含量相对较高,且其脂肪酸总量与保山、临沧、德宏样品均呈显著差异,表明脂肪酸可作为鉴别普洱咖啡的判断指标;保山咖啡中的氨基酸和蛋白质含量最低,且与其他地区样品呈显著差异,可作

为区分保山咖啡的判断指标。本研究对云南省 4 个产区咖啡豆的风味成分及感官品质进行分析,了解不同种植区咖啡的主要风味成分情况,能够为云南省不同产区的合理种植、加工及销售提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试材料 采自云南省西双版纳自治州、普洱市、临沧市、保山市 4 个产区的 12 个咖啡豆样品。西双版纳自治州产区的 3 个咖啡豆样品分别产自景洪市勐旺乡老黄寨村(A)、景洪市普文镇南岛河村(B)、景洪市普文镇三棵庄村(C);普洱产区的 3 个咖啡豆样品分别产自普洱市孟连县富岩乡芒冒村(D)、孟连县勐马镇帕亮村(E)、普洱市澜沧县麻卡村(F);临沧产区的 3 个咖啡豆样品分别产自临沧市云县幸福镇(G)、临沧市双江县大文镇(H)、临沧市永德县大雪山乡(I);保山产区的 3 个咖啡豆样品分别产自保山市高黎贡山(J)、保山市隆阳区白花岭村(K)、保山市昌宁县老地基咖啡种植园(L)。

1.1.2 试剂 硫酸铜($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)、硫酸钾(K_2SO_4)、硫酸(H_2SO_4 , 98%)、氢氧化钠(NaOH)、对硝基苯酚($\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_3$)、乙酸钠($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)、无水乙酸钠(CH_3COONa)、乙酸(CH_3COOH)、甲醛(37% HCHO)、乙酰丙酮($\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$)、石油醚($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$, 沸程为 30~60 °C)、盐酸(HCl)、亚甲蓝($\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{ClN}_3\text{S} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)、酒石酸钾钠($\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{KNa} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)、乙酸锌 $[\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ 、亚铁氰化钾 $[\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$ 、氧化镁(MgO),以上均为分析纯;

甲醇(CH_3OH)、乙腈($\text{C}_2\text{H}_5\text{N}$)为色谱纯。试剂均由云南志博科技有限公司提供。

1.1.3 仪器与设备 手动色差仪(东莞市鹏测电子科技有限公司, NH310), ME204E 电子分析天平(0~200 g, 梅特勒-托利多仪器上海有限公司), DL-1 万能电炉(北京中兴伟业世纪仪器有限公司), HH-6 数显恒温水浴锅(常州智博瑞仪器有限公司), DHG-9145A 电热恒温鼓风(上海齐欣科学仪器有限公司), 氨基酸分析仪, 茚三酮柱后衍生离子交换色谱仪(苏州华美辰仪器有限公司), UV-5500 鼓风干燥箱(苏州江东精密仪器有限公司), SK-18TC 超声波清洗器(郑州南北仪器设备有限公司), LC1206 紫外可见分光光度计(上海元析仪器有限公司), Agilent1260 高效液相色谱仪(美国安捷伦公司)。

1.2 方法

1.2.1 咖啡生豆的理化指标检测 参照国家标准 GB/T 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定 分光光度法》测定蛋白质含量; 参照国家标准 GB/T 5009.6—2016《食品中脂肪的测定 选择索氏提取法》测定脂肪含量; 参照国家标准 GB/T 5009.7—2016《食品中还原糖的测定 直接滴定法》测定还原糖含量; 参照国家标准 GB 5009.124—2016《食品中氨基酸的测定》测定氨基酸含量。

1.2.2 咖啡生豆的 HPLC 分析 (1) 咖啡因含量测定。标准溶液的配制: 准确称取 0.005 g 咖啡因标准品, 甲醇定容至 5.00 mL, 得到浓度为 0.10 mg/mL 的咖啡因标准溶液, 取 1 mL 咖啡因标准溶液于高效液相色谱仪进行分析。

供试液的制备: 称取 1.000 g 粉碎均匀(过 45 目筛)的咖啡样品置于 250 mL 锥形瓶中, 加入 200 mL 超纯水, 沸水浴中加热 30 min, 振摇, 流水冷却 1 min, 加入 5.000 g 氧化镁, 振摇, 再放入沸水浴中加热 20 min, 取出锥形瓶, 冷却至室温, 转移至 250 mL 容量瓶中, 加超纯水定容至刻度线, 摇匀, 静置 30 min, 取上清液经 0.45 μm 微孔滤膜过滤于进样瓶中, 供高效液相色谱分析。

色谱条件: 色谱柱 ZORBAX SB-C₁₈(4.6 mm×250 mm, 5 μm); 流动相 A 为 80% 甲醇, B 为纯水; 流速为 0.8 mL/min; 进样量为 10 μL ; 检测波长为 273 nm; 柱温箱为左 30 $^{\circ}\text{C}$, 右 30 $^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 绿原酸含量测定。标准溶液的配制: 准确称取 0.005 g 绿原酸标准品, 溶于 5.00 mL 纯甲醇(色谱纯), 得到浓度为 0.1 mg/mL 的标准品溶

液, 取 1 mL 标准品溶液于高效液相色谱仪进行分析。

供试液的制备: 称取 0.500 g 粉碎均匀(过 45 目筛)的咖啡试样于 25.0 mL 容量瓶中, 加入 20 mL 70% 甲醇, 超声波提取 30 min, 用 70% 甲醇定容至刻度, 混匀, 静置 30 min, 取上清液经 0.45 μm 微孔滤膜过滤于进样瓶中, 供高效液相色谱分析。

色谱条件: 色谱柱 ZORBAX SB-C₁₈(4.6 mm×250 mm, 5 μm); 流动相 A 为 0.5% 乙酸水溶液, B 为乙腈(色谱纯); 流速为 1.0 mL/min; 进样量为 20 μL ; 检测波长为 327 nm; 柱温箱为左 35 $^{\circ}\text{C}$, 右 35 $^{\circ}\text{C}$ 。

1.2.3 咖啡熟豆的色差测定 准确称取 5.00 g 咖啡粉末于玻璃碟中均匀擀平, 用手动色差分析仪测定样品的色度值, 包括 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^* 、 h^0 值。

1.2.4 烘焙咖啡的感官评价 (1) 烘焙咖啡豆的制备。使用 TC-300 G 台式烘焙机制备咖啡样品, 将 100.00 g 生咖啡豆倒入烘焙机中, 火力设定为 5, 入锅时的烘焙温度为 160 $^{\circ}\text{C}$, 将样品烘焙 9~10 min 得到中度烘焙咖啡熟豆, 取出置于通风口快速降温至室温。将烘焙好的咖啡熟豆盛放于咖啡包装自封袋中, 封口备用。

(2) 烘焙咖啡的感官分析。根据精品咖啡协会(Specialty Coffee Association, SCA)的咖啡杯品体系^[11-12], 精确称取 11.00 g 咖啡粉末样品置于 200 mL 玻璃杯中, 加入 200 mL 的 92 $^{\circ}\text{C}$ 热水, 浸泡 4 min, 捞出表面的咖啡渣, 待温度降至 70 $^{\circ}\text{C}$ 时进行啜吸品饮。优选 7 名咖啡品鉴师对 12 个烘焙咖啡熟豆的芳香、风味、回甘、酸度、醇厚度、平衡等 6 个方面进行感官评分, 评分标度和评分指标参考精品咖啡协会杯测体系和陈云兰等^[1]的方法, 共分为差(<6 分)、中(6~6.75 分)、良(7~7.75 分)、优秀(8~8.75 分)、卓越(9~10 分) 5 个等级, 最小给分单位为 0.25, 评价标准见表 1。

1.3 数据处理

所有试验平行测定 3 次, 利用 SPSS 26.0 和 Excel 2016 软件进行数据分析与处理。

2 结果与分析

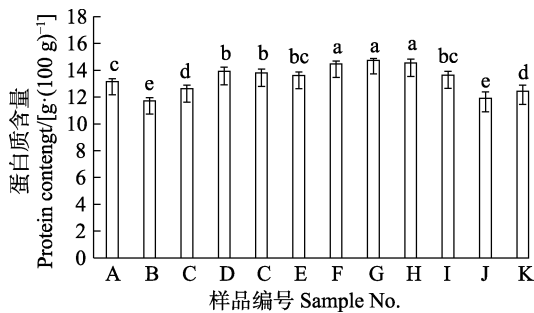
2.1 不同地区咖啡生豆的前体物质组成分析

2.1.1 蛋白质含量 蛋白质作为重要风味前体物质分解后会产生氨基酸, 能与单糖发生美拉德反应对食品风味有一定的影响^[13]。咖啡中的蛋白质在烘焙过程中会发生美拉德反应, 从而影响咖啡

表 1 感官评价标准
Tab. 1 Score sheet of sensory evaluation criteria

评价标准 Standard for evaluation	差 (<6 分) Poor (<6 points)	中 (6~6.75 分) Good (6~6.75 points)	良 (7~7.75 分) Very good (7~7.75 points)	优秀 (8~8.75 分) Excellent (8~8.75 points)	卓越 (9~10 分) Outstanding (9~10 points)
芳香	木质、粉尘、异味	中等强度的坚果类香气	中等强度的坚果、 奶油、巧克力香气	浓郁、强烈的焦糖 类、水果类蜜香	浓郁、强烈、丰富的花 果香
风味	杂味，土腥，霉味， 发酵味等	谷物、核桃、爆米花类	坚果、焦糖、黑巧 克茶类	莓果类，核果类， 奶油、白巧力类	热带水果、葡萄酒类， 风味复杂，层次分明
回甘	不舒爽，烟感	回甘平淡，短	回甘较短，单一	持久，口鼻留香	优质风味持久不衰
酸度	粗糙的，尖锐的酸	青涩的未成熟果酸	柔和的，清爽的酸	生津的，活泼的成 熟水果酸	精致的，明亮的果酸
醇厚度	非常淡薄，粗糙	淡薄，水感	顺滑，牛奶般	圆润顺滑，奶油感	密实，丝绒感
平衡	强酸或强苦，味道 单一	有涩酸，微微甜度	酸甜苦基本平衡	酸甜苦协调，甜度较 好，圆润	酸甜苦非常平衡舒适， 甜美

的感官品质。采用分光光度法测定了咖啡豆的蛋白质含量,如图 1 所示,临沧市双江县大文镇(H)的咖啡豆蛋白质含量最高,为 14.72 g/100 g;景洪市普文镇南岛河村(B)的咖啡豆蛋白质含量最低,为 11.73 g/100 g(试验中的标准曲线为 $y=0.0101x-0.0017$, $r=0.9999$)。

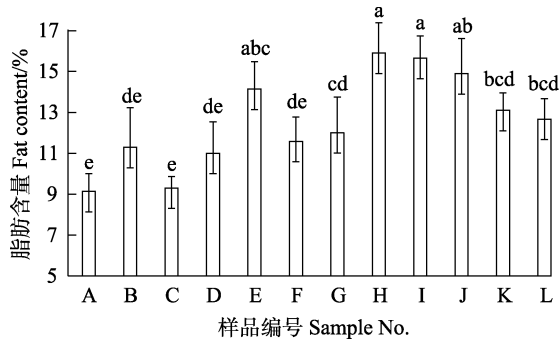


不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$).
图 1 不同地区咖啡豆的蛋白质含量
Fig. 1 Protein content of coffee beans from different regions

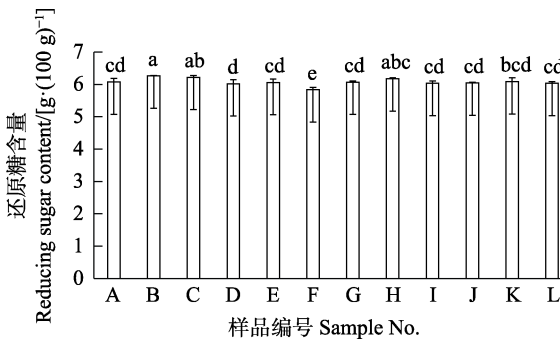
2.1.2 脂肪含量 脂肪是人们日常生活中重要的能量来源之一,咖啡豆的各种脂肪酸含量可能会对烘焙过程中的美拉德反应产生一定影响,从而影响咖啡的口感和风味^[10, 14]。如图 2 所示,12 个咖啡豆样品中临沧市双江县大文镇(H)的生咖啡豆脂肪含量最高,为 15.9%;景洪市勐旺乡老黄寨村(A)的生咖啡豆脂肪含量最低,为 9.1%。

2.1.3 还原糖含量 还原糖属于咖啡中的碳水化合物类,会影响咖啡饮品的口感^[15]。LUDWIG 等^[16]研究表明,咖啡的单糖种类和含量的差异会影响

咖啡烘焙过程中的美拉德反应,进而影响风味。如图 3 所示,12 个咖啡豆样品中,景洪市普文镇南岛河村(B)的生咖啡豆还原糖含量最高,为 6.26 g/100 g,普洱市澜沧县麻卡村(F)的咖啡豆还原糖含量最低,为 5.83 g/100 g。



不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$).
图 2 不同地区咖啡豆的脂肪含量
Fig. 2 Fat content of coffee beans from different regions



不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$).
图 3 不同地区咖啡豆的还原糖含量
Fig. 3 Reducing sugar content of coffee beans from different regions

2.1.4 氨基酸含量 氨基酸是人体不可缺少的元素，除直接与糖发生美拉德反应产生醇类、醛类、酸类等风味物质外^[17]，自身对食品风味也有重要影响，氨基酸可分为鲜味、甜味、苦味和无味氨基酸，天冬氨酸及谷氨酸为鲜味氨基酸，呈鲜甜口感；异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、酪氨酸和缬氨酸则为苦味氨基酸，呈现苦味；丝氨酸、苏氨酸、甘氨酸以及丙氨酸呈甜味。12 个咖啡豆样品中均检出 16 种氨基酸（amino acid, AA），分别是天冬氨酸（aspartic acid, Asp）、苏氨酸（threonine, Thr）、丝氨酸（serine, Ser）、谷氨酸（glutamic acid, Glu）、甘氨酸（glycine, Gly）、

丙氨酸（alanine, Ala）、胱氨酸（cysteine, Cys）、缬氨酸（valine, Val）、异亮氨酸（isoleucine, Iso）、亮氨酸（leucine, Leu）、酪氨酸（tyrosine, Tyr）、苯丙氨酸（phenylalanine, Phe）、组氨酸（histidine, His）、赖氨酸（lysine, Lys）、精氨酸（arginine, Arg）、脯氨酸（proline, Pro），而蛋氨酸（methionine, Met）未检出（表 2）。氨基酸总含量由高到低为：E>D>C>B>J>A>F>L>H>I>G>K。其中，孟连县勐马镇帕亮村（E）的咖啡豆氨基酸总含量最高，为 17.25 g/100 g；保山市隆阳区白花岭村（K）的氨基酸总含量最低，为 10.18 g/100 g。

表 2 不同地区咖啡豆的氨基酸含量
Tab. 2 Amino acid content of coffee beans in different areas

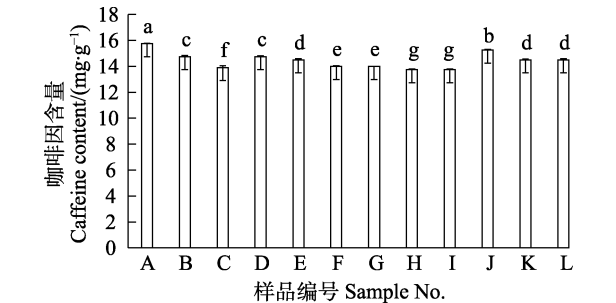
氨基酸 AA	氨基酸含量 AA content/[g·(100 g) ⁻¹]											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Asp	1.08±0.07 ^d	1.15±0.04 ^c	1.15±0.03 ^c	1.36±0.02 ^b	1.63±0.02 ^a	1.07±0.03 ^d	1.00±0.01 ^e	1.01±0.02 ^e	1.01±0.02 ^e	1.08±0.02 ^d	0.99±0.03 ^e	1.03±0.02 ^{de}
Thr	0.45±0.04 ^{de}	0.47±0.03 ^{cd}	0.47±0.02 ^{cd}	0.58±0.00 ^b	0.69±0.01 ^a	0.43±0.01 ^e	0.43±0.01 ^e	0.45±0.01 ^{de}	0.42±0.00 ^e	0.48±0.01 ^c	0.42±0.02 ^e	0.43±0.02 ^e
Ser	0.60±0.04 ^{de}	0.63±0.03 ^{cd}	0.64±0.02 ^c	0.76±0.00 ^b	0.93±0.00 ^a	0.59±0.01 ^{ef}	0.58±0.02 ^{ef}	0.59±0.03 ^{ef}	0.57±0.01 ^{ef}	0.64±0.01 ^c	0.56±0.02 ^f	0.60±0.02 ^{def}
Glu	1.94±0.13 ^{de}	2.17±0.07 ^c	2.14±0.07 ^c	2.41±0.01 ^b	3.22±0.04 ^a	1.94±0.05 ^{de}	1.82±0.04 ^f	1.91±0.04 ^{def}	1.86±0.03 ^{ef}	2.09±0.03 ^c	1.86±0.08 ^{ef}	1.97±0.03 ^d
Gly	0.65±0.04 ^d	0.70±0.02 ^c	0.70±0.03 ^c	0.81±0.00 ^b	1.02±0.02 ^a	0.62±0.01 ^{de}	0.61±0.01 ^e	0.63±0.02 ^{de}	0.62±0.01 ^{de}	0.68±0.01 ^c	0.61±0.02 ^e	0.63±0.01 ^{de}
Ala	0.58±0.05 ^{cde}	0.60±0.01 ^c	0.59±0.02 ^{cd}	0.73±0.01 ^b	0.87±0.02 ^a	0.57±0.01 ^{cd}	0.57±0.03 ^{cd}	0.57±0.02 ^{cd}	0.55±0.00 ^{de}	0.60±0.01 ^c	0.54±0.03 ^e	0.57±0.01 ^{cd}
Cys	0.34±0.01 ^{bcd}	0.35±0.01 ^{bcd}	0.36±0.03 ^{abc}	0.36±0.01 ^{abc}	0.38±0.00 ^a	0.33±0.00 ^{bcd}	0.32±0.01 ^d	0.26±0.03 ^e	0.32±0.00 ^d	0.33±0.01 ^{bcd}	0.36±0.03 ^{ab}	0.33±0.02 ^{cd}
Val	0.69±0.04 ^{de}	0.73±0.02 ^{cd}	0.75±0.04 ^c	0.88±0.00 ^b	1.09±0.04 ^a	0.70±0.02 ^{def}	0.67±0.03 ^{de}	0.69±0.00 ^{ef}	0.65±0.01 ^e	0.73±0.01 ^{abc}	0.66±0.01 ^{de}	0.68±0.02 ^{de}
Met	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Iso	0.50±0.02 ^{cd}	0.50±0.03 ^{cd}	0.52±0.02 ^c	0.63±0.00 ^b	0.76±0.02 ^a	0.49±0.02 ^{cd}	0.49±0.02 ^{def}	0.46±0.01 ^{de}	0.46±0.01 ^{de}	0.49±0.02 ^{abc}	0.45±0.02 ^{de}	0.48±0.01 ^{def}
Leu	0.91±0.05 ^e	0.97±0.04 ^{cd}	0.98±0.03 ^c	1.15±0.00 ^b	1.42±0.03 ^a	0.90±0.05 ^{ef}	0.86±0.03 ^{de}	0.86±0.02 ^{de}	0.88±0.01 ^{ef}	0.93±0.02 ^{de}	0.82±0.02 ^{de}	0.89±0.03 ^{def}
Tyr	0.38±0.03 ^e	0.41±0.02 ^{cd}	0.41±0.01 ^{cd}	0.55±0.00 ^b	0.66±0.01 ^a	0.39±0.01 ^{de}	0.39±0.03 ^{de}	0.40±0.01 ^{de}	0.37±0.01 ^e	0.44±0.01 ^c	0.39±0.01 ^{de}	0.38±0.02 ^e
Phe	0.61±0.05 ^d	0.65±0.02 ^c	0.66±0.03 ^c	0.80±0.01 ^b	0.96±0.01 ^a	0.60±0.02 ^d	0.56±0.01 ^e	0.60±0.01 ^d	0.58±0.01 ^{de}	0.64±0.00 ^c	0.56±0.02 ^e	0.59±0.02 ^{de}
His	0.20±0.03 ^{cde}	0.21±0.02 ^{cd}	0.21±0.01 ^c	0.28±0.01 ^b	0.38±0.01 ^a	0.19±0.01 ^{def}	0.18±0.02 ^{ef}	0.19±0.00 ^{de}	0.19±0.01 ^{cd}	0.21±0.01 ^{cd}	0.17±0.01 ^f	0.19±0.01 ^{def}
Lys	0.64±0.05 ^d	0.72±0.03 ^c	0.71±0.02 ^c	0.87±0.01 ^b	1.12±0.01 ^a	0.65±0.03 ^d	0.62±0.03 ^{de}	0.64±0.02 ^d	0.62±0.01 ^{de}	0.71±0.00 ^c	0.60±0.02 ^e	0.66±0.01 ^d
Arg	0.71±0.03 ^{de}	0.75±0.04 ^c	0.73±0.02 ^{cd}	0.89±0.01 ^b	1.13±0.02 ^a	0.67±0.00 ^f	0.71±0.00 ^{de}	0.66±0.00 ^f	0.68±0.02 ^{ef}	0.75±0.00 ^c	0.69±0.03 ^{ef}	0.68±0.01 ^{ef}
Pro	0.45±0.06 ^{de}	0.49±0.03 ^{cd}	0.53±0.00 ^{bc}	0.57±0.03 ^b	0.81±0.03 ^a	0.46±0.04 ^d	0.41±0.01 ^{ef}	0.41±0.01 ^{ef}	0.52±0.00 ^{bc}	0.41±0.01 ^{ef}	0.41±0.03 ^{ef}	0.40±0.03 ^f
总计	10.70±0.68 ^{de}	11.47±0.36 ^c	11.52±0.36 ^c	13.78±0.06 ^b	17.25±0.11 ^a	10.58±0.21 ^{ef}	10.19±0.24 ^{ef}	10.30±0.20 ^{ef}	10.29±0.12 ^{ef}	11.19±0.10 ^{cd}	10.18±0.36 ^f	10.56±0.23 ^{ef}

注：—表示未检出。同行不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05）。
Note: — indicates no detected. Different lowercase letters in the same row indicate significant difference (*P*<0.05).

2.2 不同地区咖啡生豆的活性物质组成分析

2.2.1 咖啡因含量 咖啡因属于咖啡豆中的生物碱类化合物，是咖啡中重要的风味物质^[18-19]。如图 4 所示，云南省 12 个咖啡豆样品中的咖啡因含量均在 13.00 mg/g 以上。景洪市勐旺乡老黄寨村（A）的咖啡豆的咖啡因含量最高，为 15.74 mg/g；临沧市永德县大雪山乡（I）的咖啡因含量最低，为 13.73 mg/g。张绍龙等^[20]研究也表明不同产区间的咖啡因含量存在差异。

2.2.2 绿原酸含量 绿原酸是一种缩酚类物质，是咖啡中含量比较高的风味物质^[21-22]，影响咖啡

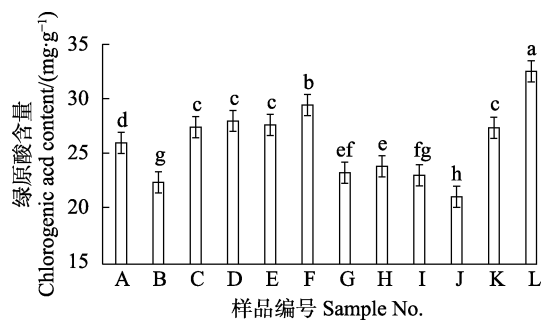


不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05）。
Different lowercase letters indicate significant difference (*P*<0.05).

图 4 不同地区咖啡豆的咖啡因含量

Fig. 4 Caffeine content of coffee beans from different regions

的酸度，并且赋予咖啡收敛性和苦味^[23-24]。在咖啡豆中，绿原酸随着咖啡果实的成熟在种子中积累，不仅有利于提升果实的抗生物及机械胁迫能力，并且提高了咖啡品质^[25]。12 个咖啡样品中的绿原酸含量如图 5 所示，其中，保山市昌宁县老地基咖啡种植园（L）咖啡豆的绿原酸含量最高，为 32.51 mg/g；保山市高黎贡山（J）的绿原酸含量最低，为 20.97 mg/g。



不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$).
图 5 不同地区咖啡豆的绿原酸含量
Fig. 5 Chlorogenic acid of coffee beans from different regions

2.3 咖啡熟豆的色差分析

咖啡豆变色的主要原因是由于咖啡豆在烘焙过程中发生一系列物理和化学变化，源自低聚糖、氨基酸、绿原酸等物质产生的褐色色素^[26-27]，从而改变了咖啡的色泽。描述咖啡色泽的指标有 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^* 和 h^0 值，用于分析和比较不同种类咖啡豆色泽之间的差异性，利用 L^* 、 a^* 、 b^* 3 个互相垂直的坐标轴表示一个色彩空间， L^* 值表示明暗， $+L^*$ 表示样品偏亮， $-L^*$ 表示样品偏暗； a^* 值表示红绿， $+a^*$ 表示样品偏红， $-a^*$ 表示样品偏绿； b^* 值表示黄蓝， $+b^*$ 表示样品偏黄， $-b^*$ 表示样品偏蓝； C^* 值指色调度； h^0 值表示色调角， a^* 、 b^* 、 C^* 、 h^0 共同表达 L^* 。云南省 12 个咖啡豆样品的色差检测结果见表 3，通过数据分析得出，景洪市普文镇南岛河村（B）的咖啡豆色泽最明亮，色调度和色调角较好；保山市高黎贡山（J）的咖啡豆较其他咖啡更红润，色调角相对较差；孟连县勐马镇帕亮村（E）和临沧市永德县大雪山乡（I）的咖啡豆偏蓝，并且 E 地的咖啡豆色调度和色调角偏好。

表 3 咖啡熟豆的颜色指标参数
Tab. 3 Color index parameters of mature coffee beans

样品编号 Sample No.	色泽参数 Color parameter				
	L^*	a^*	b^*	C^*	h^0
A	37.23±0.36 ^{bc}	29.06±0.45 ^{ab}	9.56±1.78 ^{cde}	30.62±0.88 ^{ab}	18.15±3.04 ^{de}
B	40.00±0.59 ^a	24.64±3.38 ^{bc}	20.61±3.40 ^a	32.38±0.99 ^{ab}	35.36±2.79 ^b
C	38.41±1.27 ^{ab}	28.45±1.64 ^{ab}	16.05±1.06 ^{ab}	31.35±4.16 ^{ab}	26.18±5.56 ^c
D	38.24±0.90 ^{ab}	29.03±1.41 ^{ab}	13.95±3.64 ^{bc}	32.36±1.12 ^{ab}	25.58±6.70 ^c
E	38.63±0.99 ^{ab}	28.09±1.04 ^{ab}	-0.04±1.45 ^{fg}	28.12±1.03 ^b	5.23±1.61 ^g
F	38.35±1.16 ^{ab}	33.05±5.34 ^a	10.26±5.17 ^{cde}	34.98±4.02 ^a	17.19±1.62 ^{ef}
G	35.43±2.03 ^{cd}	16.43±2.02 ^d	16.16±0.04 ^{ab}	23.08±1.41 ^c	44.69±3.61 ^a
H	37.10±1.74 ^{bc}	31.78±1.14 ^a	7.37±2.76 ^{de}	32.66±1.47 ^{ab}	11.82±1.16 ^f
I	34.50±0.93 ^d	20.09±4.44 ^{cd}	-2.22±0.19 ^g	22.31±0.92 ^c	23.50±1.85 ^{cd}
J	37.63±1.12 ^b	32.80±1.39 ^a	4.80±5.79 ^{ef}	30.16±6.62 ^{ab}	1.83±2.25 ^g
K	39.88±0.57 ^a	28.92±4.60 ^{ab}	17.86±2.47 ^{ab}	33.10±0.96 ^{ab}	35.13±3.53 ^b
L	34.56±0.95 ^a	17.14±1.92 ^d	12.22±2.71 ^{bcd}	22.76±2.31 ^c	27.55±1.76 ^c

注：同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$).

2.4 烘焙咖啡的感官评价

杯品质质量是小粒种咖啡品质的评价指标之一^[28]，而咖啡杯测是衡量感官品质的重要手段之一^[29]，本研究选 7 位经验丰富的咖啡品鉴师对云南 12 个咖啡样品的芳香、风味、回甘、酸度、醇厚、平衡等 6 指标根据表 1 的评价标准进行感

官评分，每个指标满分为 10 分，6 个指标总分为 60 分，每个咖啡样品的各指标评分结果见表 4，根据总评分分为 4 个等级。保山市昌宁县老地基咖啡种植园（L）的咖啡豆各项评分最高，感官品质最好，为第一级；孟连县勐马镇帕亮村（E）、保山市高黎贡山（J）、保山市隆阳区白花岭村（K）、

景洪市普洱市澜沧县麻卡村 (F) 的品质次之, 为第二级; 景洪市普文镇南岛河村 (B)、景洪市普文镇三棵庄村 (C)、普洱市孟连县富岩乡芒冒村 (D)、临沧市云县幸福镇 (G)、临沧市双江县大文镇 (H)、临沧市永德县大雪山乡 (I) 为第三级, 仅次于第二级, 但差异不显著 ($P<0.05$); 景洪市勐旺乡老黄寨村 (A) 的咖啡评分最低, 感官品质最差, 为第四级。

表 4 感官评分结果
Tab. 4 Sensory evaluation results

样品编号 Sample No.	芳香 Aroma	风味 Flavor	回甘 Aftertaste	酸度 Acidity	醇厚度 Body	平衡 Balance	总分 Total points
A	7.32±0.28 ^{ab}	6.96±0.34 ^b	7.11±0.13 ^b	7.00±0.29 ^c	7.11±0.38 ^b	7.29±0.51 ^{ab}	42.79±1.35 ^c
B	7.29±0.22 ^{ab}	7.14±0.28 ^b	7.29±0.34 ^{ab}	7.25±0.46 ^{abc}	7.25±0.35 ^{ab}	7.32±0.35 ^{ab}	43.54±1.31 ^{bc}
C	7.04±0.42 ^b	7.14±0.52 ^b	7.11±0.32 ^b	7.36±0.61 ^{abc}	7.29±0.39 ^{ab}	7.14±0.40 ^b	43.08±1.41 ^{bc}
D	7.39±0.48 ^{ab}	7.36±0.32 ^{ab}	7.21±0.22 ^{ab}	7.43±0.31 ^{abc}	7.21±0.17 ^{ab}	7.39±0.40 ^{ab}	43.99±0.88 ^{bc}
E	7.43±0.35 ^{ab}	7.39±0.35 ^{ab}	7.21±0.27 ^{ab}	7.50±0.41 ^{abc}	7.39±0.38 ^{ab}	7.32±0.37 ^{ab}	44.24±1.55 ^b
F	7.32±0.35 ^{ab}	7.39±0.48 ^{ab}	7.39±0.43 ^{ab}	7.54±0.39 ^{ab}	7.43±0.43 ^{ab}	7.39±0.43 ^{ab}	44.46±1.18 ^b
G	7.39±0.13 ^{ab}	7.25±0.25 ^{ab}	7.29±0.44 ^{ab}	7.18±0.28 ^{abc}	7.29±0.27 ^{ab}	7.46±0.42 ^{ab}	43.86±0.97 ^{bc}
H	7.54±0.17 ^a	7.32±0.35 ^{ab}	7.21±0.44 ^{ab}	7.11±0.43 ^{bc}	7.14±0.20 ^b	7.25±0.20 ^b	43.57±1.29 ^{bc}
I	7.18±0.35 ^{ab}	7.32±0.47 ^{ab}	7.21±0.51 ^{ab}	7.25±0.46 ^{abc}	7.25±0.46 ^{ab}	7.25±0.35 ^b	43.46±1.29 ^{bc}
J	7.46±0.39 ^a	7.43±0.55 ^{ab}	7.32±0.37 ^{ab}	7.61±0.45 ^{ab}	7.32±0.35 ^{ab}	7.39±0.35 ^{ab}	44.53±0.95 ^b
K	7.29±0.22 ^{ab}	7.36±0.57 ^{ab}	7.39±0.50 ^{ab}	7.39±0.38 ^{abc}	7.54±0.47 ^{ab}	7.57±0.43 ^{ab}	44.54±1.23 ^b
L	7.57±0.43 ^a	7.75±0.58 ^a	7.66±0.54 ^a	7.67±0.32 ^a	7.69±0.43 ^a	7.75±0.38 ^a	46.09±1.01 ^a

注：同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$).

3 讨论

咖啡含有丰富的内含物质, 这些内含物质的种类和含量决定了咖啡的感官品质。咖啡品种、种植环境、农艺栽培措施和咖啡加工方式等因素均会对咖啡内含物的种类及含量产生影响, 是咖啡品质形成的重要构成因素^[30-33]。本研究分析了云南 4 个产区 12 个庄园的咖啡豆, 品种为卡蒂姆, 加工方式为水洗加工。

风味成分分析结果表明, 12 个咖啡样品的蛋白质含量在 11.73~14.72 g/100 g 之间, 脂肪含量为 9.1%~15.9%, 还原糖含量为 5.83~6.26 g/100 g; 12 个样品中均检测出 16 种氨基酸, 而蛋氨酸均未检出, 总氨基酸含量在 10.18~17.25 g/100 g 之间, 各地区的主要风味物质含量存在差异。董文江等^[10]研究表明, 云南不同地区咖啡豆中的蛋白质含量、氨基酸含量、单糖总量和脂肪含量存在差异, 与本研究结果一致。本研究中的咖啡因含量在 13.73~15.74 mg/g 之间, 而郑慧芳等^[3]研究表明, 云南咖啡生豆中的咖啡因含量存在一定差异, 与本研究结果一致。12 个样品中的绿原酸含量在 20.97~32.51 mg/g 之间, 保山市昌宁县老地基咖啡种植园 (L) 样品的绿原酸含量最高, 为

32.51 mg/g, 与其他 11 个样品之间均呈显著差异; 普洱市澜沧县麻卡村 (F) 样品的绿原酸含量次之, 为 29.04 mg/g, 与其他 10 个样品之间存在显著差异; 保山市高黎贡山 (J) 样品的绿原酸含量最低, 为 20.97 mg/g, 与其他 11 个样品之间存在显著差异; 绿原酸是咖啡的重要风味成分之一, 目前尚无系统比较分析云南不同产区咖啡豆绿原酸含量差异的研究。但咖啡中的绿原酸含量除了与种植环境、品种有关外, 还与果实成熟度有关, 这也将是今后研究的方向。

经过感官评价分析可知, 12 个咖啡样品的 6 个风味属性指标的得分在 7.04~7.75 之间, 在质量量表 7.00~7.75 区间内, 均达到良好等级, 总评分在 42.79~46.09 之间。说明云南是比较适宜种植优质咖啡的产区, 这与陈保等^[34]的研究结果一致。其中保山市昌宁县老地基咖啡种植园 (L) 咖啡豆的感官评分最高, 这可能与该地区独特的小气候环境有关, 今后的研究将结合各地区独特的环境及感官品质之间的相关性开展系统研究。本研究通过对云南不同地区生咖啡豆风味和感官品质的测定分析, 探索云南不同地区生咖啡豆的品质特性, 为云南咖啡的品质提升提供理论参考。

参考文献

- [1] 陈云兰, 陈治华, 蒋快乐, 刀斌, 李学玲. 不同初加工工艺对云南阿拉比卡咖啡品质的影响[J]. 现代食品科技, 2019, 35(2): 149-156, 192.
CHEN Y L, CHEN Z H, JIANG K L, DAO B, LI X L. Influence of different primary process on the quality of arabica coffee in Yunnan province[J]. Modern Food Science Technoogy, 2019, 35(2): 149-156, 192. (in Chinese)
- [2] 周斌, 任洪涛. 不同产地咖啡豆香气成分分析[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(2): 128-132.
ZHOU B, REN H T. Analysis of aroma components of coffee from different habitats[J]. Food Research and Development, 2016, 37(2): 128-132. (in Chinese)
- [3] 郑慧芳, 陈若馨, 周剑, 祁正有, 陆颖. 云南省咖啡生豆主要成分含量调研检测[J]. 食品安全导刊, 2019(14): 76-80.
ZHENG H F, CHEN R X, ZHOU J, QI Z Y, LU Y. Investigation and detection of main components in raw coffee beans in Yunnan province[J]. China Food Safety, 2019(14): 76-80. (in Chinese)
- [4] 李维锐, 周仕峥. 我国咖啡产业发展现状及前景[J]. 热带农业科学, 2011, 31(10): 105-108.
LI W R, ZHOU S Z. Development status and prospects of coffee industry in China[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2011, 31(10): 105-108. (in Chinese)
- [5] 黄家雄, 吕玉兰, 程金焕, 李树维, 杨蓓, 李亚男. 不同海拔对小粒种咖啡品质影响的研究[J]. 热带农业科学, 2012, 32(8): 4-7.
HUANG J X, LYU Y L, CHENG J H, LI S W, YANG B, LI Y N. Preliminary study on the influence of different altitudes on the quality of coffee Arabica[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2012, 32(8): 4-7. (in Chinese)
- [6] 孙彩梅, 罗吉, 王琨, 高佳琪, 郝淑美, 谭静. 云南不同产地及品种小粒种咖啡豆化学及卫生指标比较[J]. 西南农业学报, 2019, 11(32): 2550-1556.
SUN C M, LUO J, WANG K, GAO J Q, HAO S M, TAN J. Comparison of chemical and health indexes of coffea Arabica bean from different producing areas and varieties in Yunna[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2019, 11(32): 2550-1556. (in Chinese)
- [7] FARHA A, MONTEIROA M C, CALADOB V, FRANCA A S, TRUGO L C. Correlation between cup quality and chemical ttributes of Brazilian coffee[J]. Food Chemistry, 2006, 98(2): 373-380.
- [8] 胡双芳, 卫亚西, 邢精精, 佟世生, 牛银雪, 刘萍. 咖啡豆的化学组分差异与感官品质的相关性分析[J]. 食品工业科技, 2014, 34(24): 125-128.
HU S F, WEI Y X, XING J J, TONG S S, NIU Y X, LIU P. Correlation analysis between chemical component sand sensory quality of coffee[J]. Science and Technology Food Industry, 2014, 34(24): 125-128. (in Chinese)
- [9] 沈晓静, 字成庭, 辉绍良, 杨俊滔, 王青, 曹梦婷, 范江平. 咖啡化学成分及其生物活性研究进展[J]. 热带亚热带植物学报, 2021, 29(1): 112-122.
SHEN X J, ZI C T, HUI S L, YANG J T, WANG Q, CAO M T, FAN J P. Advances on chemical components and biological activities of coffee[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2021, 29(1): 112-122. (in Chinese)
- [10] 董文江, 张丰, 赵建平, 胡荣锁, 陆敏泉. 云南不同地区生咖啡豆的风味前体物质研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(1): 290-295.
DONG W J, ZHANG F, ZHAO J P, HU R S, LU M Q. Flavor precursor compounds of green coffee beans from different geographical origins in Yunnan province[J]. Modern Food Science Technoogy, 2016, 32(1): 290-295. (in Chinese)
- [11] 张洪波, 郭铁英, 匡钰, 李锦红, 白学慧, 肖兵, 夏红云, 周华, 林兴文, 萧自位. 影响云南卡蒂姆咖啡杯品质量的因素及对策[J]. 热带农业科技, 2018(1): 36-42.
ZHANG H B, GUO T Y, KUAN Y, LI J H, BAI X H, XIAO B, XIA H Y, ZHOU H, LIN X W, XIAO Z W. Factors affecting quality of Yunnan Katim coffee cup and counter measures[J]. Tropical Agricultural Science & Technology, 2018(1): 36-42. (in Chinese)
- [12] WORKU M, MEULENAER B D, DUCHATEAU L, BOECKX P. Effect of altitude on biochemical composition and quality of green arabica coffee beans can be affected by shade and postharvest processing method[J]. Food Research Internationa, 2018, 105: 278-285.
- [13] 程可, 董文江, 胡荣锁, 初众, 宗迎, 赵建平. 微波真空干燥对咖啡豆风味成分的影响研究[J]. 热带作物学报, 2018, 39(2): 380-391.
CHENG K, DONG W J, HU R S, CHU Z, ZONG Y, ZHAO J P. Effect of microwave vacuum drying on flavor components of coffee beans[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2018, 39(2): 380-391. (in Chinese)
- [14] 吕文佳, 翟晓娜, 杨凯舟, 冷小京. 不同烘焙强度对云南咖啡主要挥发香气成分的影响[J]. 食品科学技术学报, 2015, 33(3): 13-21.
LYU W J, ZHAI X N, YANG K Z, LENG X J. Effect of different roasting strength on main volatile aroma compounds in Yunnan coffee beans[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 33(3): 13-21. (in Chinese)
- [15] 吕文佳, 刘云, 杨凯舟, 翟晓娜, 刘飞, 张春月, 冷小京. 咖啡主要风味物质的形成及变化规律[J]. 食品工业科技, 2015, 36(3): 349-400.
LYU W J, LIU Y, YANG K Z, ZHAI X N, LIU F, ZHANG

- C Y, LENG X J. Formation and characteristics of the main roasted coffee flavour compounds[J]. ScienceE Technoogy Food Industry, 2015, 36(3): 349-400. (in Chinese)
- [16] LUDWIG I A, BRAVO J, PAZ DE PENA M, CONCEPCIÓN C. Effect of sugar addition (torrefacto) during roasting process on antioxidant capacity and phenolics of coffee[J]. LWT-Food Science Technology, 2013, 51(2): 553-559.
- [17] 林兴文, 郭铁英, 张丽萍, 张德福. 咖啡焙炒与风味品质的形成[J]. 中国热带农业, 2014, 58(3): 25-27.
- LIN X W, GUO T Y, ZHANG L P, ZHANG D F. Coffee roasting and the formation of flavor quality[J]. China Tropical Agriculture, 2014, 58(3): 25-27. (in Chinese)
- [18] 陈魏, 李旻, 黄雯, 陈良华, 林河通, 明艳林. 绿咖啡豆中低咖啡因绿原酸的提取分离研究[J]. 亚热带植物科学, 2018, 47(4): 317-321.
- CHEN W, LI N, HUANG W, CHEN L H, LIN H T, MING Y L. Separation of chlorogenic acid from green coffee beans and the extract antioxidant activity *in vitro*[J]. Subtropical Plant Science, 2018, 47(4): 317-321. (in Chinese)
- [19] 杨清山, 蔡荣华, 徐猛, 王磊, 高伟. UPLC 法测定咖啡豆中绿原酸和咖啡因的含量[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(18): 138-140.
- YANG Q S, CAI R H, XU M, WANG L, GAO W. Determination of chlorogenic acid and caffeine in coffee beans by UPLC[J]. Food Research and Development, 2015, 36(18): 138-140. (in Chinese)
- [20] 张绍龙, 邱碧丽, 刘超, 代丽玲, 杨廷彬, 段丽娜. 云南小粒咖啡中咖啡因含量比较分析[J]. 云南化工, 2018, 48(7): 79-81
- ZHANG S L, QIU B L, LIU C, DAI L L, YANG T B, DUAN L N. Comparative analysis on the caffeine of coffeearabica[J]. Yunnan Chemical Technology, 2018, 48(7): 79-81. (in Chinese)
- [21] JAISWAL R, PATRAS M A, ERAVUCHIRA P J, KUHNERT N. Profile and characterization of the chlorogenic acids in green Robusta coffee beans by LC-MSⁿ: identification of seven new classes of compounds[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(15): 8722-8737.
- [22] 智美丽, 徐学万, 吴立涛, 潘华, 黄维兰, 张芳. 不同地域烘焙咖啡豆风味性物质的检测与评价[J]. 农产品质量与安全, 2021(3): 84-90. (in Chinese)
- ZHI M L, XU X W, WU L T, PAN H, HUANG W L, ZHANG F. Detection and evaluation of flavoring compounds in roasted coffee beans from different regions[J]. Quality and Safety of Agro-products, 2021(3): 84-90. (in Chinese)
- [23] RIBEIRO V S, LEITAO A E, RAMMELHO J C, LIDON F C. Chemical characterization and antioxidant properties of a new coffee blend with cocoa, coffee silverskin and green coffee minimally processed[J]. Food Research International, 2014, 61: 39-47.
- [24] UPADHYAY R, RAO L J M. An outlook on chlorogenic acids-occurrence, chemistry, technology, and biological activities[J]. Critical Reviews in Food Science Nutrition, 2013, 53(9): 968-984
- [25] 聂雪凌, 唐鸿志, 许平. 绿原酸的检测及代谢途径研究进展[J]. 广州化工, 2013, 41(1): 3-6.
- NIE X L, TANG H Z, XU P. Recent progress of the detection and metabolism of chlorogenic acid[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2013, 41(1): 3-6. (in Chinese)
- [26] 齐鸣. 爱上咖啡师[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2014.
- QI M. Falling in love with a barista[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 2014. (in Chinese)
- [27] 黄家雄, 李亚男, 杨世贵, 黄健, 杨蓓, 杨旻, 李树维, 郭容琦, 程金焕. 不同产地小粒种咖啡质量比较研究[J]. 热带农业工程, 2010, 34(4): 7-10.
- HUANG J X, LI Y N, YANG S G, HUANG J, YANG B, YANG Y, LI S W, GUO R Q, CHENG J H. Comparative study on quality of small seed coffee from different producing areas[J]. Tropical Agricultural Engineering, 2010, 34(4): 7-10. (in Chinese)
- [28] 郭铁英, 张洪波, 夏红云, 萧自位, 白学慧. 8个咖啡品种在德宏州的品质表现[J]. 热带农业科学, 2019, 3(19): 7-10.
- GUO T Y, ZHANG H B, XIA H Y, XIAO Z W, BAI X H. Qualities of 8 coffee varieties in Dehong prefecture[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2019, 3(19): 7-10. (in Chinese)
- [29] 胡荣锁, 况沁蕊, 王晓阳, WILLIAM S, 龙宇宙, 陈治华, 李学俊, 蒋快乐, 董文江. 普洱产区咖啡干香感官特征解析及杯品质量分析[J]. 热带作物学报, 2021, 42(2): 91-96.
- HU R S, KUANG Q R, WANG X Y, WILLIAM S, LONG Y Z, CHEN Z H, LI X J, JIANG K L, DONG W J. Sensory characteristics of dry aroma and cupping quality of coffee from Pu'er producing area[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(2): 535-545. (in Chinese)
- [30] CHENG B, FURTADO A, SMYTH H E, HENRY R J. Influence of genotype and environment on coffee quality[J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 57: 20-30.
- [31] SITTIPOD S, SCHWARTZ E, PARAVISINI L, PETERSON D G. Identification of flavor modulating compounds that positively impact coffee quality[J]. Food Chemistry, 2019, 301: 125250
- [32] FINOTELLO C, FORZATO C, GASPARINI A, MAMMI S, NAVARINI L, SCHIEVANO E. NMR quantification of 16-O-methylcafesol and kahweol in *Coffea canephora* var. *robusta* beans from different geographical origins[J]. Food

- Control, 2017, 75: 62-69.
- [33] WORKU M, UPADHAYAY H R, LATRUWE K, TAYLOR A, BLAKE W, VANHAECKE F, DUCHATEAU L, BOECKX P. Differentiating the geographical origin of Ethiopian coffee using XRF- and ICP-based multi-element and stable isotope profiling[J]. Food Chemistry, 2019, 290: 295-307.
- [34] 陈保, 王筱楠, 王丽芳, 姜东华, 罗正刚, 李晓娇, 刘海峰. 普洱咖啡品质特征分析[J]. 中国热带农业, 2024(3): 49-56, 69.
- CHEN B, WANG X N, WANG L F, JIANG D H, LUO Z G, LI X J, LIU H F. Analysis on quality characteristics of Pu'er coffee[J]. China Tropical Agriculture, 2024(3): 49-56, 69. (in Chinese)