

不同烘焙度对云南卡蒂姆咖啡挥发性成分的影响

何红艳¹, 程金焕^{1*}, 范雯², 李国鹏³, 王春婷⁴, 聂一夫⁵, 王茜鋆²

(1. 云南省农业工程研究设计院, 昆明 650215; 2. 云南农业大学, 昆明 650201; 3. 广东海洋大学 滨海农业学院, 广东湛江 524088; 4. 云南省热带作物学会, 昆明 650215; 5. 上海应用技术大学, 上海 201418)

[摘要]以云南保山新寨卡蒂姆咖啡豆为材料, 采用顶空固相微萃取技术结合气相色谱-质谱仪(HS-SPME-GC-MS)比较了浅度、中度、深度3种不同烘焙程度对咖啡豆挥发性成分组成及含量的影响。研究结果发现在不同烘焙度咖啡样品中共检出11类108种挥发性化合物, 其中浅度、中度、深度烘焙咖啡豆分别鉴定出81、91、87种, 其中含量最高的挥发物为3-呋喃甲醇(199.55~391.87 $\mu\text{g/g}$)。在类别上以呋喃类、吡嗪类、酮类、酸类、吡咯类为主, 其中吡嗪类、呋喃类相对含量分别在中度烘焙、深度烘焙后明显下降。研究所得结论可为咖啡烘焙工艺的优化完善与风味品质提升提供理论依据与实践参考。

[关键词]咖啡; 烘焙度; 挥发性成分; 气相色谱-质谱联用

中图分类号: S571.2; TS273 文献标识码: A 文章编号: 1672-450X(2026)04-0029-06

Effects of Roasting Degree on Volatile Components of Yunnan Catimor Coffee

HE Hongyan¹, CHENG Jinhuan^{1*}, FAN Wen², LI Guopeng³, WANG Chunting⁴, NIE Yifu⁵, WANG Xiyun²

1. Yunnan Agricultural Engineering Research and Design Institute, Kunming 650215, China;

2. Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

3. College of Coastal Agricultural Sciences, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;

4. The Academy of Tropical Crops of Yunnan, Kunming 650215, China;

5. Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China

Abstract: The effects of different roasting degrees (light, medium and dark roast) on the composition and content of volatile components of Catimor coffee beans collected from Xinzhai of Baoshan, Yunnan Province, and headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) was applied in the present study. The results showed that a total of 108 volatile compounds categorized into 11 classes were detected. 81, 91 and 87 volatile compounds were identified in light-roasted, medium-roasted and dark-roasted coffee beans, respectively. Among these compounds, 3-furanmethanol exhibited the highest content, 199.55-391.87 $\mu\text{g/g}$. Furans, pyrazines, ketones, acids and pyrroles constitute the major classes. The relative contents of pyrazines and furans are markedly reduced following medium-roasting and dark-roasting, respectively. The conclusions obtained in this study can provide theoretical basis and practical reference for the optimization of coffee roasting processes and the improvement of flavor quality.

Key words: coffee; roasting degree; volatile components; gas chromatography-mass spectrometry

咖啡香气的组成及含量受品种、土壤、降雨、海拔等种植环境, 以及初、深加工工艺的影响, 而烘焙是咖啡生产中影响颜色、香气和风味的关键步骤。烘焙程度通常根据颜色进行定性评估, 分为浅度、中度和深度烘焙^[1]。作为咖啡品质重要的核心指标之一, 烘焙阶段所激发的咖啡香气不

仅是评判其优劣的关键依据, 更是主导消费者选择偏好的决定性因素。近年来, 为深入分析和鉴定咖啡的香气组成, 较多研究者采用顶空固相微萃取技术结合气相色谱-质谱(HS-SPME-GC-MS)和顶空气相色谱-离子迁移色谱(HS-GC-IMS)等检测方法进行分析测定, 这些技术的应用为咖啡

收稿日期: 2026-05-09

作者简介: 何红艳(1983—), 女, 副研究员, 主要从事咖啡及热作农产品加工。E-mail: 94165291@qq.com

*通信作者: 程金焕(1981—), 男, 副研究员, 硕士, 主要从事咖啡产业化技术研发与推广。E-mail: 38209843@qq.com

香气的研究提供了高效而精确的手段,有助于更全面地理解咖啡的香气特性^[2-4]。国内外研究已经鉴定出了咖啡中的大多数挥发性成分,并深入分析了咖啡的特征香气^[5-9]。咖啡是云南省特色支柱产业,目前已有相关报道探究了烘焙度对云南小粒种咖啡挥发性组分及香气特征的影响。顾颖等^[10]发现烘焙程度影响保山潞江坝铁皮卡挥发性成分、有机酸含量和感官品质,烘焙丰富了铁皮卡咖啡豆的香气。本研究选取保山卡蒂姆品种为研究对象,探究不同烘焙程度对其香气物质的组分差异的影响,为该咖啡品种烘焙工艺的精准调控与品质优化升级提供理论依据与技术支撑。

1 材料和方法

1.1 材料与仪器

供试材料为云南保山新寨卡蒂姆咖啡生豆,于2024年5月采摘于云南省保山市潞江坝新寨小粒种咖啡种植基地。选择色泽鲜艳红润、果实饱满、无病害的全红咖啡鲜果,采用传统水洗法加工,脱皮干燥脱壳后得到咖啡生豆备用。

试验所用主要仪器设备如下:Z型咖啡豆烘焙机(德国 Probat 公司)、VTA-6S3 型咖啡豆研磨机(德国 MAHLKONIG 公司)、AL204 型电子分析天平(梅特勒-托利多仪器有限公司)、7890A-5975C 气相色谱-质谱联用仪(美国安捷伦科技有限公司),以及 65 μm CAR/PDMS 固相微萃取头(美国 Supelco 公司)。

1.2 方法

1.2.1 烘焙咖啡豆的制备

本试验采用 Probat 咖啡豆烘焙机制备咖啡样品,称取 250 g 咖啡生豆置于烘焙机内,设置火力等级为 7、风门半开,入豆温度 180 $^{\circ}\text{C}$,分别烘焙 8、10、12 min,获得浅度、中度、深度 3 种不同烘焙度样品;烘焙结束前 1 min 开启冷却系统,将咖啡豆迅速冷却至室温。不同烘焙度咖啡豆经粉碎后过孔径 0.425 mm 标准筛,所得咖啡粉密封于专用包装袋中保存备用。

1.2.2 咖啡烘焙豆的香气检测

本研究采用顶空-固相微萃取技术结合气相

色谱-质谱联用仪(HS-SPME-GC-MS),对咖啡样品香气组分进行定性定量分析。选用涂层厚度为 65 μm 的聚二甲基硅氧烷/二乙烯苯(PD-MS/DVB)固相微萃取头,于气相色谱进样口 300 $^{\circ}\text{C}$ 条件下老化 1 h,完成预处理后待用。精确称取 2.00 g 烘焙咖啡粉置于 20 mL 顶空采样瓶中,密封后加入 5 μL 2-辛醇作为内标物。在室温环境下,将萃取头插入采样瓶顶空部位吸附富集 30 min,随后移入 GC-MS 进样口,于 250 $^{\circ}\text{C}$ 下解吸 3 min,完成香气物质的进样检测。

色谱检测条件如下。采用 DB-WAX 毛细管色谱柱(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μm),柱温采用程序升温模式:初始温度 40 $^{\circ}\text{C}$,恒温保持 2 min;以 1.5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 速率升温至 130 $^{\circ}\text{C}$,再以 4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 200 $^{\circ}\text{C}$,恒温维持 5 min。进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$,质谱检测器温度 230 $^{\circ}\text{C}$;以高纯氦气为载气,恒定流速 1.0 mL/min,采用不分流进样方式。

质谱参数设定:传输线温度 250 $^{\circ}\text{C}$,离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$;采用电子轰击电离(EI)模式,电子轰击能量 70 eV,质谱扫描方式为全扫描,质量扫描范围 35 ~ 350 amu。

1.2.3 香气组分的定性与定量分析

定性分析:借助 GC-MS 配套 NIST 14 质谱数据库对烘焙咖啡豆中挥发性物质比对解析,筛选正、反向匹配度均高于 85% 的挥发性成分,同时结合保留指数校正辅助完成化合物精准定性。

定量分析:基于总离子流色谱图通过 NIST 14 谱库检索,明确挥发性香气组分构成;以 2-辛醇为内标,采用内标法计算各香气物质的含量。

1.3 数据处理

采用 Excel 软件进行数据整理与基础运算;利用 SPSS 软件开展差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同烘焙度咖啡豆挥发性成分的 HS-SPME/GC-MS 分析

对浅、中、深 3 种烘焙度咖啡样品的挥发性成分进行检测分析,经 NIST 14 质谱数据库比对并结合现有文献佐证,共鉴定出 108 种挥发性化合

物,主要涵盖呋喃类、吡嗪类、酮类及酯类等。图1为不同烘焙度咖啡豆样品的GC-MS总离子流(TIC)色谱图。由图谱可见,浅、中、深3种烘焙

度咖啡的总离子流轮廓整体相近,但峰形与信号强度存在显著差异,表明烘焙程度能够明显改变咖啡豆挥发性物质的组成与相对含量。

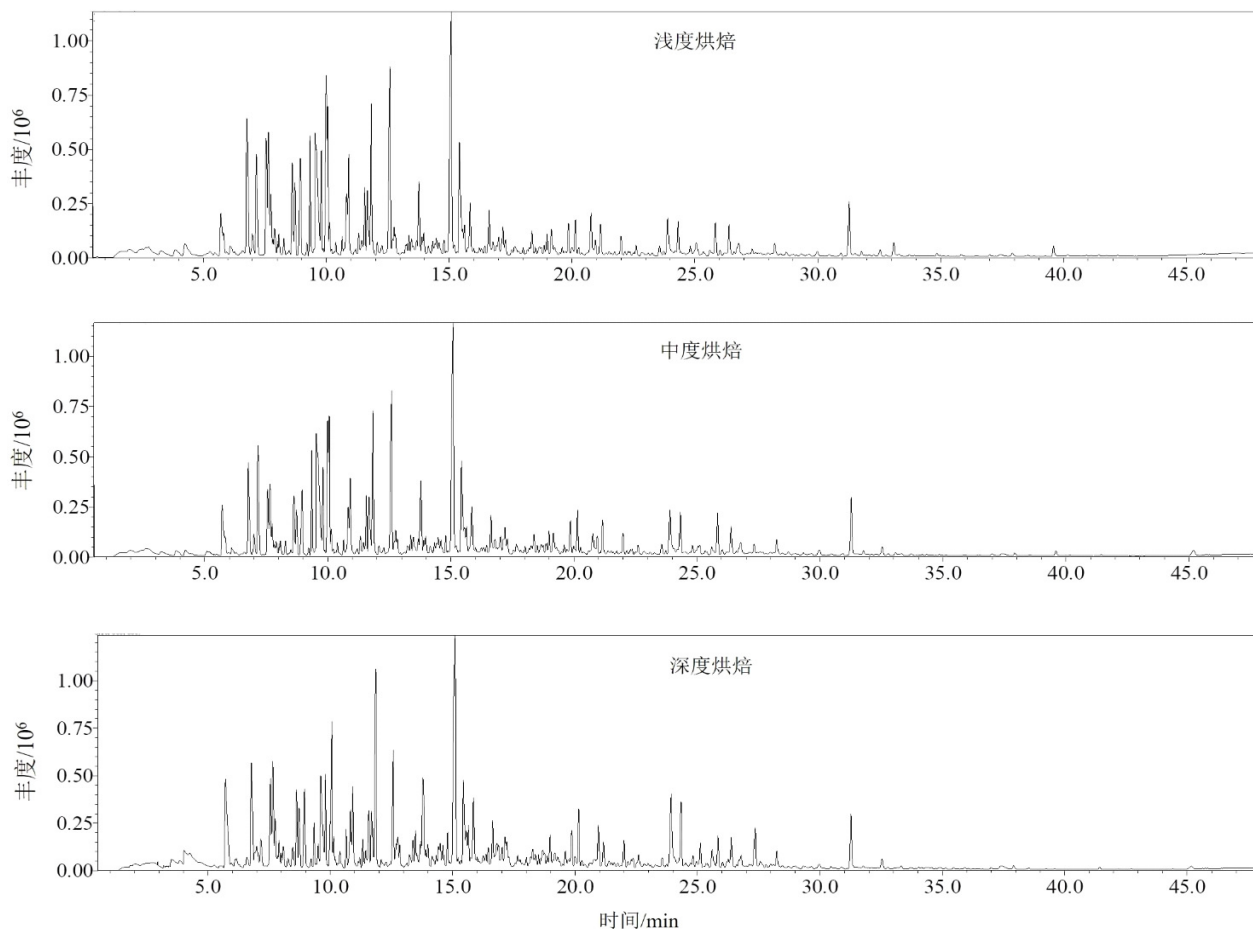


图1 浅、中、深烘焙度咖啡豆香气成分总离子流图

色谱峰对应的挥发性化合物如表1所示,中度烘焙豆的挥发性成分最为丰富,共鉴定出91种,而浅度和深度烘焙豆分别鉴定出81和87种。不同烘焙度咖啡豆中含量较高的香气物质主要包括3-呋喃甲醇、乙酸、乙酸糠酯、5-甲基-2-呋喃甲醛、3-甲基丁酸、甲基吡嗪等。

随着烘焙时间的延长和烘焙程度的加深,3-甲基-1,2-环戊二酮、乙酸糠酯等含量逐步上升。二糠基二硫醚、苯酚、四氢-2H-吡喃-2-酮、3,4-二甲基吡咯-2-甲醛等物质在浅度烘焙样品中未检出。卡拉哈纳酮、烟酸甲酯、2-呋喃甲硫醇、3-乙基吡啶等化合物仅在深度烘焙样品中被

检出。

2.2 不同烘焙度咖啡豆挥发性成分含量与种类

3种咖啡豆挥发性成分中主要以呋喃类、吡嗪类、酮类、酸类、吡咯类为主(表2),其中呋喃类是烘焙豆中的主要挥发物,对咖啡香气中焦糖香、坚果香等香气类型贡献较大^[11]。呋喃类化合物在经重度烘焙后,相对含量明显下降,吡嗪类化合物相对含量则在中度烘焙后下降。随着烘焙程度的升高,酯类、酚类、吡咯类的相对含量从7.73%、4.25%、6.59%上升到9.75%、6.86%、10.30%;醇类、酸类、吡啶类、烷烃类先降低再升高。

表 1 不同烘焙度下卡蒂姆咖啡香气成分

种类	分子式	保留时间/min	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)		
			浅度烘焙	中度烘焙	深度烘焙
1,4-戊二醇	$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_2$	8.088	10.43 ± 0.90	9.25 ± 0.51	21.23 ± 1.85
芳樟醇	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$	12.280	7.06 ± 1.04	—	—
苯乙醇	$\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}$	22.618	6.61 ± 0.31	10.55 ± 2.05	17.68 ± 1.91
2-噻吩甲醇	$\text{C}_7\text{H}_{10}\text{OS}$	23.572	7.00 ± 0.22	10.38 ± 1.90	11.97 ± 0.53
乙酸	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	9.557	138.47 ± 0.26	119.31 ± 35.09	150.30 ± 9.14
3-甲基丁酸	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	15.430	92.83 ± 0.40	89.94 ± 3.47	110.81 ± 5.55
1-环戊烯-1-羧酸	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_2$	17.137	30.88 ± 1.46	—	—
3-甲基-2-丁烯酸	$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$	19.175	18.53 ± 0.21	20.72 ± 2.48	19.67 ± 1.50
2,3-丁二酮	$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$	3.302	7.81 ± 0.40	6.30 ± 1.00	—
2,3-戊二酮	$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$	4.275	18.62 ± 1.47	7.82 ± 1.83	—
3-羟基-2-丁酮	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	7.006	13.52 ± 1.96	14.45 ± 0.74	40.71 ± 2.33
1-羟基-2-丙酮	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	7.172	53.65 ± 5.96	54.72 ± 8.81	42.09 ± 2.04
1-羟基-2-丁酮	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	8.291	8.55 ± 0.91	8.08 ± 0.68	11.69 ± 1.68
1-乙酰氧基-2-丙酮	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_3$	10.068	50.67 ± 1.36	64.81 ± 2.99	128.02 ± 5.07
3-氧杂双环[3.2.0]庚烷-2,4-二酮	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_3$	11.456	8.59 ± 0.97	9.50 ± 0.91	19.01 ± 0.76
1-乙酰氧基-2-丁酮	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_3$	11.687	38.15 ± 1.01	44.49 ± 3.16	69.95 ± 3.17
3-乙基-2-羟基-2-环戊烯-1-酮	$\text{C}_7\text{H}_{10}\text{O}_2$	15.557	—	—	37.21 ± 2.01
卡拉哈纳酮	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$	16.249	—	—	14.15 ± 0.07
螺[3.4]辛烷-5-酮	$\text{C}_8\text{H}_{12}\text{O}$	16.871	—	—	18.30 ± 2.60
3-甲基-2,4-戊二酮	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_2$	17.030	16.58 ± 3.45	19.34 ± 2.37	27.33 ± 2.33
2-乙基环己酮	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}$	18.020	—	7.46 ± 1.13	—
2,6-二甲基环己醇	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}$	19.612	5.47 ± 0.06	8.67 ± 1.58	19.50 ± 1.53
3-甲基-1,2-环戊二酮	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_2$	19.867	18.70 ± 0.51	25.20 ± 3.56	40.86 ± 2.47
4,4-二甲基-2-戊酮	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}$	29.987	4.28 ± 0.23	7.30 ± 1.42	7.02 ± 0.39
4,5-二甲基-4-己烯-3-酮	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}$	22.165	—	4.71 ± 0.97	—
3-乙基-2-羟基-2-环戊烯-1-酮	$\text{C}_7\text{H}_{10}\text{O}_2$	22.001	12.10 ± 0.68	18.80 ± 3.76	28.75 ± 1.50
4-噻唑啉	$\text{C}_4\text{H}_6\text{N}_2$	24.824	8.37 ± 0.57	12.27 ± 2.59	11.98 ± 0.61
丙酸乙烯酯	$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$	11.579	33.25 ± 0.71	36.45 ± 2.53	53.85 ± 2.52
乙酸辛酯	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$	19.307	—	10.10 ± 1.74	—
2-糠酸甲酯	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_3$	25.061	13.74 ± 0.77	—	—
甲酸糠酯	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_3$	10.837	38.37 ± 0.93	38.07 ± 2.45	65.52 ± 3.36
乙酸糠酯	$\text{C}_7\text{H}_8\text{O}_3$	11.847	78.48 ± 1.26	94.60 ± 9.04	224.41 ± 9.44
丙酸糠酯	$\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}_3$	13.484	13.91 ± 1.22	16.29 ± 2.96	35.73 ± 1.54
3-甲基-3-呋喃丁酸甲酯	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_3$	16.364	—	—	18.19 ± 1.14
烟酸甲酯	$\text{C}_7\text{H}_7\text{NO}_2$	18.268	—	—	21.11 ± 1.91
2-吡啶乙酸甲酯	$\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}_2$	31.784	—	5.69 ± 1.23	—
2,5-二甲基呋喃-3,4-(2H,5H)-二酮	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_3$	26.399	20.00 ± 1.41	26.36 ± 5.46	35.14 ± 1.85
2-呋喃甲硫醇	$\text{C}_5\text{H}_6\text{OS}$	9.506	—	—	22.12 ± 1.70
3-呋喃甲醛	$\text{C}_5\text{H}_6\text{OS}$	10.012	95.78 ± 5.06	80.51 ± 4.82	—
反式氧化芳樟醇(呋喃类)	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$	10.401	7.63 ± 1.94	8.42 ± 1.21	15.04 ± 1.14
2-乙酰基呋喃	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2$	10.929	48.48 ± 1.54	—	—
5-甲基-2-呋喃甲醛	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2$	12.606	129.32 ± 1.42	130.33 ± 8.10	121.39 ± 5.11
2-乙酰-5-甲基呋喃	$\text{C}_7\text{H}_8\text{O}_2$	13.690	—	12.76 ± 0.75	—
2,5-二氢-3,5-二甲基呋喃酮	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_2$	14.490	14.50 ± 2.36	15.61 ± 1.59	24.90 ± 1.28
3-呋喃甲醇	$\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2$	15.094	199.55 ± 1.08	225.25 ± 16.50	391.87 ± 17.02
2-(2-呋喃甲基)-5-甲基呋喃	$\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_2$	15.867	36.80 ± 0.90	46.59 ± 6.62	81.77 ± 4.71
3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_3$	16.796	9.54 ± 0.18	18.57 ± 3.16	35.02 ± 4.15
2(5H)-呋喃酮	$\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_2$	17.303	10.05 ± 0.55	11.85 ± 1.50	—
1-(2-呋喃基)乙酮	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_2$	18.378	15.29 ± 0.35	16.44 ± 2.13	16.45 ± 1.64
2-正庚基呋喃	$\text{C}_{11}\text{H}_{18}\text{O}$	18.877	5.96 ± 0.18	8.86 ± 1.66	12.54 ± 1.20
2,5-二氢-3,5-二甲基呋喃酮	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_2$	20.008	—	9.92 ± 1.85	14.59 ± 1.07
呋喃醇	$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_3$	20.787	34.25 ± 0.78	31.24 ± 6.42	—
2- α -甲基-呋喃丙烯醛	$\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2$	21.397	—	5.77 ± 1.22	10.96 ± 0.62
3-(5-甲基-2-呋喃基)丁醛	$\text{C}_9\text{H}_{12}\text{O}_2$	21.747	—	4.51 ± 0.88	—
4-(2-呋喃基)-3-丁烯-2-酮	$\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2$	22.305	—	5.09 ± 1.05	9.34 ± 0.59

续表 1 不同烘焙度下卡蒂姆咖啡香气成分

种类	分子式	保留时间/min	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)		
			浅度烘焙	中度烘焙	深度烘焙
2- α -甲基-呋喃丙烯醛	$\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2$	21.397	—	5.77 ± 1.22	10.96 ± 0.62
3-(5-甲基-2-呋喃基)丁醛	$\text{C}_9\text{H}_{12}\text{O}_2$	21.747	—	4.51 ± 0.88	—
4-(2-呋喃基)-3-丁烯-2-酮	$\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2$	22.305	—	5.09 ± 1.05	9.34 ± 0.59
2,2'-氧双(亚甲基)]双呋喃	$\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_3$	25.119	—	—	26.56 ± 1.31
5-乙酰氧戊环-2-酮	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_3$	26.782	13.73 ± 1.09	19.99 ± 3.95	18.51 ± 4.78
α -糠基- α -呋喃甲胺	$\text{C}_{10}\text{H}_9\text{NO}_2$	32.545	5.11 ± 0.44	8.64 ± 1.53	12.91 ± 0.80
5-羟甲基糠醛	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_3$	39.599	6.05 ± 0.58	3.96 ± 0.75	—
二糠基二硫醚	$\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_2\text{S}_2$	22.376	—	4.35 ± 0.97	9.15 ± 0.27
甲基吡嗪	$\text{C}_5\text{H}_8\text{N}_2$	6.786	85.24 ± 8.13	72.98 ± 3.92	119.47 ± 8.43
2,5-二甲基吡嗪	$\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2$	7.564	65.64 ± 2.88	49.41 ± 5.01	97.07 ± 7.24
2,6-二甲基吡嗪	$\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2$	7.661	66.61 ± 3.79	55.15 ± 5.69	104.93 ± 5.55
2-乙基吡嗪	$\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2$	7.755	28.90 ± 1.86	22.76 ± 2.64	43.35 ± 2.81
2,3-二甲基吡嗪	$\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2$	7.915	13.75 ± 1.12	11.33 ± 1.38	27.27 ± 2.02
2-乙基-6-甲基吡嗪	$\text{C}_7\text{H}_{10}\text{N}_2$	8.635	47.95 ± 1.39	42.60 ± 3.58	76.01 ± 3.26
2-乙基-5-甲基吡嗪	$\text{C}_7\text{H}_{10}\text{N}_2$	8.738	36.67 ± 1.46	32.21 ± 2.90	58.43 ± 2.33
三甲基吡嗪	$\text{C}_7\text{H}_{10}\text{N}_2$	8.962	60.52 ± 2.71	52.44 ± 4.50	86.49 ± 3.80
2-(正丙基)吡嗪	$\text{C}_7\text{H}_{10}\text{N}_2$	9.228	5.64 ± 0.41	4.83 ± 0.46	8.30 ± 0.21
2-乙基-3,6-二甲基吡嗪	$\text{C}_8\text{H}_{12}\text{N}_2$	9.816	44.73 ± 1.53	46.24 ± 3.99	75.39 ± 2.80
2,6-二甲基吡嗪	$\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2$	10.146	14.16 ± 0.60	14.69 ± 1.54	28.27 ± 1.45
(1-甲基乙烯基)-吡嗪	$\text{C}_7\text{H}_8\text{N}_2$	10.660	8.62 ± 0.31	9.69 ± 0.92	31.57 ± 1.26
5H-5-甲基-6,7-二氢环戊吡嗪	$\text{C}_8\text{H}_{10}\text{N}_2$	13.910	9.26 ± 0.23	9.64 ± 1.39	—
乙酰基吡嗪	$\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}$	13.981	16.43 ± 4.83	15.05 ± 1.39	27.05 ± 1.77
1-(6-甲基吡嗪基)乙酮	$\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{NO}$	15.640	16.15 ± 0.92	18.01 ± 2.76	40.91 ± 2.75
2-甲基-5-[(E)-1-丙烯基]吡嗪	$\text{C}_8\text{H}_{10}\text{N}_2$	16.462	—	7.80 ± 0.95	18.26 ± 1.74
2-甲基丙基)-吡嗪	$\text{C}_8\text{H}_{12}\text{N}_2$	18.517	4.92 ± 0.19	7.41 ± 1.44	11.93 ± 1.31
吡啶	$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	5.726	28.71 ± 3.41	41.15 ± 1.40	147.77 ± 18.31
3-乙基吡啶	$\text{C}_7\text{H}_9\text{N}$	8.469	—	—	27.89 ± 1.31
1-甲基-1,2,3,6-四氢吡啶	$\text{C}_6\text{H}_{11}\text{N}$	4.070	—	—	18.90 ± 4.52
1-乙酰基-1,4-二氢吡啶	$\text{C}_7\text{H}_9\text{NO}$	16.635	27.17 ± 0.82	33.05 ± 3.62	51.01 ± 3.53
6-甲基-3,4-吡啶二甲醇	$\text{C}_8\text{H}_{11}\text{NO}_2$	26.034	3.63 ± 0.30	5.94 ± 1.28	—
2-甲氧基苯硫酚	$\text{C}_7\text{H}_9\text{OS}$	17.198	21.10 ± 0.57	29.91 ± 4.73	28.41 ± 2.89
4-甲氧基苯酚	$\text{C}_7\text{H}_9\text{O}_2$	20.957	9.79 ± 0.53	14.76 ± 2.40	45.70 ± 2.41
麦芽酚	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_3$	23.905	31.98 ± 1.70	55.11 ± 10.71	116.52 ± 7.01
苯酚	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	25.614	—	10.65 ± 1.91	27.63 ± 1.26
4-氨基-1-萘酚	$\text{C}_{10}\text{H}_9\text{NO}$	27.565	—	—	12.84 ± 1.88
4-乙烯基愈创木酚	$\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_2$	31.282	34.93 ± 1.83	47.13 ± 8.75	63.69 ± 4.09
环丙基甲醇	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$	27.331	4.81 ± 0.60	10.77 ± 2.01	51.04 ± 2.58
1-甲基双环[4.4.0]癸烷	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}$	14.344	8.55 ± 0.08	9.32 ± 0.83	12.01 ± 0.87
4-乙酰基-1-甲基环己烯	$\text{C}_9\text{H}_{14}\text{O}$	14.550	10.85 ± 0.02	14.59 ± 1.89	27.26 ± 1.70
4H-吡喃-4-酮, 2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_4$	33.095	8.28 ± 1.26	—	—
1,3-二噻	$\text{C}_4\text{H}_4\text{N}_2$	6.110	8.51 ± 1.43	8.37 ± 0.54	7.20 ± 0.08
1-(吡啶-1-基)-2-丙酮	$\text{C}_6\text{H}_7\text{N}_2\text{O}$	11.334	11.23 ± 0.31	12.75 ± 1.10	27.05 ± 1.27
2H-吡喃-2-酮四氢	$\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2$	18.685	—	13.29 ± 1.53	26.77 ± 1.92
3,5-二甲基-1-丁基吡啶	$\text{C}_9\text{H}_{16}\text{N}_2$	21.169	20.08 ± 0.61	28.44 ± 4.86	31.87 ± 1.78
1,6-脱水-2,3-二脱氧- β -D-赤藓吡喃己糖	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_3$	21.612	—	2.94 ± 0.69	—
4'-氨基苯并-15-冠-5	$\text{C}_{14}\text{H}_{21}\text{NO}_5$	23.743	2.70 ± 0.20	3.98 ± 0.89	—
2-乙酰基吡咯	$\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}$	24.328	20.37 ± 0.65	34.69 ± 8.44	81.08 ± 3.60
吡咯	$\text{C}_4\text{H}_5\text{N}$	11.170	—	—	8.60 ± 0.46
1-(2-氨基乙基)-2-吡咯烷酮	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}$	12.770	30.82 ± 1.31	26.03 ± 3.37	27.91 ± 1.75
1-甲基-1H-吡咯-2-甲醛	$\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}$	13.782	48.68 ± 4.29	58.89 ± 2.88	142.57 ± 6.53
1,5-二甲基-2-吡咯甲腈	$\text{C}_7\text{H}_8\text{N}_2$	14.421	—	—	20.06 ± 1.73
1-(1-甲基-1H-吡咯-2-基)乙酮	$\text{C}_7\text{H}_9\text{NO}$	14.799	8.05 ± 0.19	12.38 ± 1.56	33.87 ± 2.19
3,4-二甲基吡咯-2-甲醛	$\text{C}_7\text{H}_9\text{NO}$	18.759	—	6.75 ± 1.13	13.48 ± 1.58
1-(2-呋喃甲基)吡咯	$\text{C}_9\text{H}_9\text{NO}$	20.154	18.81 ± 0.51	30.29 ± 4.66	57.47 ± 2.85
2-甲酰基-1H-吡咯	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}$	25.845	20.32 ± 0.41	31.11 ± 4.14	36.74 ± 1.67
N-甲基吡咯-2-甲醛	$\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}$	28.253	10.57 ± 1.04	15.38 ± 3.04	20.71 ± 1.39

注: “—” 代表未检测出。

表 2 3 种烘焙度下挥发性化合物种类数与含量

化合物 类别	浅度烘焙		中度烘焙		深度烘焙	
	种类数	含量/%	种类数	含量/%	种类数	含量/%
醇类	4	3.80	3	3.08	3	2.21
酸类	4	9.41	3	8.85	3	7.26
酮类	14	11.31	16	12.08	15	12.03
酯类	5	7.73	6	7.74	6	9.75
呋喃类	16	28.36	21	28.63	17	21.75
吡嗪类	16	22.84	17	18.17	16	19.90
吡啶类	3	2.59	3	3.08	4	5.72
酚类	4	4.26	5	6.06	6	6.86
烷烃类	3	0.89	3	1.34	3	2.10
吡咯类	7	6.59	8	8.29	10	10.30
其他	5	2.22	6	2.68	4	2.12
合计	81	100.00	91	100.00	87	100.00

种类数方面,浅度烘焙样品检出的香气成分种类数最少(81种),其中呋喃类与吡嗪类均为16种,酮类14种,与深度烘焙相比,其中呋喃类、酮类均减少了1种化合物。中度烘焙咖啡中共检出91挥发性成分,其中呋喃类21种、吡嗪类17种、酮类16种、吡咯类8种。呋喃类化合物种类数明显高于其他两种烘焙方式。深度烘焙条件下,共检出87种挥发性成分,除呋喃类外,各类别化合物种类数随烘焙程度的变化不大。

3 小结

本研究选用云南保山新寨卡蒂姆咖啡样品,采用HS-SPME/GC-MS技术,共检测出108种挥发性物质,主要成分以呋喃类、吡嗪类和酮类等化合物为主,其中3-呋喃甲醇是咖啡中最为丰富的挥发性香气化合物。呋喃类是咖啡经过热处理后形成的主要香气化合物之一,本试验发现呋喃类是烘焙咖啡中的主要挥发性化合物,这与先前的研究结果一致^[4,12]。张枝润等^[13]在保山的卡蒂姆系列的155和7963两个品种咖啡中分别检测到63种和55种挥发性成分;顾颖等^[10]测定了铁皮卡品种5种烘焙度咖啡豆样品的挥发性成分,共检测出112种成分;本研究从3种烘焙度咖啡豆中检测出108种挥发性成分。通过以上对比,发现烘焙能极大丰富咖啡豆的香气成分。本研究明确了不同烘焙程度对云南卡蒂姆咖啡挥发性香气组成的影响,可为云南卡蒂姆咖啡烘焙工艺的优化,定向调控咖啡风味提供理论依据。

参考文献:

- [1] BUFFO RA, CARDELLI-FREIRE C. Coffee flavour: an overview [J]. Flavour and Fragrance Journal, 2004, 19 (2): 99-104.
- [2] CAPORASO N, WHITWORTH MB, CUI C, et al. Variability of single bean coffee volatile compounds of Arabica and robusta roasted coffees analysed by SPME- GC- MS [J]. Food Research International, 2018, 108: 628-640.
- [3] MAREK G, DOBRZAŃSKI JB, ONISZCZUK T, et al. Detection and differentiation of volatile compound profiles in roasted coffee arabica beans from different countries using an electronic nose and GC-MS [J]. Sensors, 2020, 20 (7): 2124.
- [4] PETISCA C, PÉREZ-PALACIOS T, FARAH A, et al. Furans and other volatile compounds in ground roasted and espresso coffee using headspace solid-phase microextraction: effect of roasting speed [J]. Food and Bioprocess Processing, 2013, 91(3): 233-241.
- [5] SILVA RM, LIMA AS, ELVIRA MMP. HS-SPME-GC-MS combined with metabolomic approach to discriminate volatile compounds of Brazilian coffee from different geographic origins [J]. Food Bioscience, 2023, 56: 103395.
- [6] 周斌,任洪涛. 烘焙时间对云南小粒咖啡挥发性成分影响的研究 [J]. 现代食品科技, 2015, 31(1): 236-244.
- [7] 于菲,董文江,胡荣锁,等. 烘焙速度对兴隆咖啡豆挥发性成分的影响 [J]. 热带作物学报, 2021, 42(11): 3316-3326.
- [8] 王燕华,王晓婷,龚加顺,等. 基于HS-GC-IMS对8种咖啡豆烘焙前后挥发性有机物成分分析 [J]. 食品研究与开发, 2021, 42(23): 124-130.
- [9] GUO X, CAO B. Unraveling the dynamic impact of roasting degree on the evolution of coffee aroma profiles [J]. Food Chemistry, 2026, 517: 149463.
- [10] 顾颖,李建伟,侯英,等. 烘焙程度对云南小粒种咖啡挥发性成分、有机酸和感官品质的影响 [J]. 热带农业科技, 2025, 48(3): 32-39.
- [11] 宋璐琦,石芸琪,陈茂深. 烘焙速度对咖啡理化性质及风味物质的影响 [J]. 食品工业, 2022, 43(1): 210-215.
- [12] AMANPOUR A, SELLI S. Differentiation of volatile profiles and odor activity values of turkish coffee and french press coffee [J]. Journal of Food Processing and Preservation. 2016, 40: 1116-1124.
- [13] 张枝润,马关润,杜萍,等. 不同咖啡品种烘焙豆挥发性成分的HS-SPME/GC-MS分析 [J]. 热带农业科技, 2023, 46(2): 18-24.