

基于分子蒸馏技术的咖啡精制物制备及卷烟加香应用研究

付先波,郑琳,李学杉,黄志强,胡芳舒,吕果,赵丽,吴长伟*

(云南斯莫特生物技术有限公司,昆明 650217)

[摘要]为提升咖啡提取物的香气品质及其在卷烟加香中的应用性能,研究以云南普洱小粒种咖啡为原料,采用减压浓缩工艺制备咖啡粗提物,并利用分子蒸馏技术对其进行纯化,系统考察了纯化工艺、致香成分含量变化及卷烟加香效果。结果显示:分子蒸馏纯化的最佳工艺条件为温度60℃、真空度50 mPa,此条件下所得咖啡精制物得率为9.31%,外观澄清透明,香气浓郁协调;GC/MS分析共鉴定出72种致香成分,主要包括酯类、呋喃类、吡嗪类、酮类和酚类化合物。与咖啡粗提物相比,精制物中大部分香气成分的相对含量显著增加,香气轮廓更丰富。卷烟加香感官评吸显示,咖啡精制物能明显改善卷烟的感官品质,其最适添加量为10 μg/支,可有效提升香气量、烟气浓度并改善香气质,降低刺激性、掩盖杂气,改善余味,过量添加则易产生不协调气息。研究表明,分子蒸馏技术能够高效富集咖啡特征香气成分,显著提升其在卷烟中的加香效果,为咖啡深加工及烟用香精的开发提供了可行路径。

[关键词]咖啡;分子蒸馏;粗提物;精制物;致香化合物;卷烟加香

中图分类号:TS264.3 文献标识码:A 文章编号:1672-450X(2026)03-0001-09

Preparation of Refined Coffee Based on Molecular Distillation Technology and Its Application in Cigarettes Flavoring

FU Xianbo, ZHENG Lin, LI Xueshan, HUANG Zhiqiang, HU Fangshu, LYU Guo, ZHAO Li, WU Changwei*
Yunnan Smart Biotechnology Co., Ltd, Kunming 650217, China

Abstract: To enhance the aroma quality of coffee extracts and their application performance in cigarette flavoring, this study used Yunnan Pu'er small-grain coffee as the raw material. The coffee crude extract was prepared using vacuum concentration technology and purified using molecular distillation technology. The purification process, changes in aroma-inducing component content, and cigarette flavoring effect were systematically investigated. The results showed that the optimal process conditions for molecular distillation purification were temperature of 60 °C and vacuum degree of 50 mPa. Under these conditions, the yield of coffee essence was 9.31%, with a clear and transparent appearance and rich and harmonious aroma. GC/MS analysis identified a total of 72 aroma-inducing components, mainly including esters, furans, pyrazines, ketones, and phenolic compounds. Compared with the coffee crude extract, the relative content of most aroma components in the essence increased significantly, and the aroma profile was richer. Cigarette flavoring smoking tests showed that the coffee essence could significantly improve the sensory quality of cigarettes. The optimal addition amount was 10 μg/stick, which could effectively enhance the aroma volume, smoke concentration, and improve the aroma quality, reduce irritation, mask off-odors, and improve the aftertaste; excessive addition was prone to producing an unharmonious aroma. The research results indicated that molecular distillation technology could efficiently enrich the characteristic aroma components of coffee and significantly enhance its flavoring effect in cigarettes, providing a feasible path for the deep processing of coffee and the development of tobacco flavors.

Key words: coffee; molecular distillation; crude extract; refined substance; aroma-producing compounds; cigarette flavoring

收稿日期:2026-01-15

作者简介:付先波(1998—),男,工程师,研究方向为天然产物提取与应用。E-mail:1098527779@qq.com

*通信作者:吴长伟(1984—),男,高级工程师,硕士,研究方向为烟草化学与香精香料研发。E-mail:258314291@qq.com

咖啡属茜草科植物,原产非洲中北部,现广泛种植于南美、中美洲、非洲及亚洲等地,是全球重要的经济作物之一。我国作为咖啡生产、贸易与消费大国,咖啡种植主要集中于云南,占全国总面积的99%以上^[1-3]。烘焙后的咖啡富含酚类、生物碱及黄酮类等生物活性成分,具有显著的抗氧化能力^[4-5]。同时,其挥发性香气成分(如酯类、呋喃类、吡嗪类等)也为咖啡带来了独特风味^[6-8],使其精制物在食品与卷烟等领域具有应用潜力^[9]。目前咖啡提取多采用两步提取法或旋转蒸发工艺^[10-11],但所得粗提物往往组成复杂、香气分散、溶解度欠佳,且易残留杂质。分子蒸馏技术依据分子运动平均自由程差异实现分离,具有低温、高真空、短时高效等特点^[12-13],已广泛用于热敏性物质如食品、医药及香精香料的纯化^[14]。当前该技术在咖啡提取物纯化中的应用少见报道,为此本研究采用分子蒸馏技术对旋转蒸发获得的咖啡粗提物进行纯化,并制备咖啡香精,通过GC/MS分析方法系统比较两种产物在芳香化合物组成上的差异,结合香气成分的感官评吸及卷烟加香试验以进行客观评价,为区域咖啡资源的高值化利用及特色天然烟用香精的开发提供理论依据和技术参考。

1 材料和方法

1.1 供试材料、试剂

咖啡豆(2024年12月上市的云南普洱孟连一级小粒种咖啡);云烟(紫);去离子水(自制);无水乙醇(云南汕滇药业有限公司);甘油(陶氏化学泰国有限公司);硫酸钠(广东汕头市西院化工厂);二氯甲烷(天津市博迪化工有限公司)。

1.2 仪器

DL-K33-D型电烤箱(广东东菱凯琴集团有限公司);ZT-300型高速万能粉碎机(永康展帆工贸有限公司);JJ1000型精密电子天平(双杰电子天平有限公司);DZTW型调温型加热套(北京永光明医疗仪器有限公司);SHE-D(Ⅲ)循环水式多用真空泵(上海力辰邦西仪器科技有限公司);OSB-2100型旋转蒸发仪(东京理化器械株式会社);KBTL5型分子蒸馏仪(北京康百特科技有限

公司);DF-101S型恒温油浴锅(金坛区西城新瑞仪器厂);UPW-30UV型实验室超纯水机(南京艾普瑞环保科技有限公司);101-00型恒温恒湿平衡箱(绍兴苏珀仪器有限公司);1525型高效液相色谱仪(美国沃特世公司);6890N/5973c型气相色谱/质谱联用仪(美国Agilent公司);微量进样器(上海晖创化学仪器有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 传统旋蒸回流提取

将小粒种咖啡豆置于微波炉中进行中等程度烘焙,取出冷却后使用高速万能粉碎机粉碎,过孔径0.425 mm筛。准确称取500 g咖啡粉末,按料液比1:10(*m/v*)加入0%(去离子水)、25%、50%、75%、95%等不同浓度乙醇溶液,于调温加热套中恒温回流提取2 h。静置冷却后抽滤,分离滤液与滤渣。滤渣按相同方法用10倍体积提取溶剂重复提取一次。合并两次滤液,用旋转蒸发仪于60℃、100 mPa下减压浓缩至无馏分流出,所得产物即为咖啡粗提物。

1.3.2 咖啡粗提物的分子蒸馏纯化

向上述所得咖啡粗提物按其质量添加10%的甘油以润滑样品,充分搅拌均匀,密封醇化1 h。本试验采用多因素梯度设计,对系统真空度与蒸馏温度两个关键参数进行独立调控,以探究其不同水平组合下对试验目标的影响规律。其他参数依据设备推荐值及前期预试验结果设定转子转速为250 r/min,以确保形成均匀液膜进料速度110 mL/h,进而平衡分离效率与处理能力。冷凝板温度通过外部循环冷却系统维持在5℃,以确保蒸出的轻组分能有效冷凝收集。随后在分子蒸馏中除杂,以最初称取的咖啡量为标准计算得率,分子蒸馏得到轻组分与残留的重组分,其中轻组分为目标产物咖啡精制物,重组分为纯化后残留的咖啡杂质。

1.3.3 咖啡提取物的外观评价

对传统旋蒸法制备的咖啡粗提物、分子蒸馏纯化后得到的咖啡精制物以及分离出的咖啡杂质进行外观评价。对比三者的颜色、透明度、光泽度、杂质情况、流动性及气味的差异。

1.3.4 咖啡提取物的GC/MS成分分析

准确称取咖啡粗提物和咖啡精制物各2.00 g,分别加入20 mL二氯甲烷进行萃取。向萃取液中加入适量无水硫酸钠干燥,于4℃冰箱中冷藏过夜。过滤后,取滤液采用气相色谱-质谱联用仪(GC/MS)进行化学成分分析。

色谱条件:色谱柱为HP-5MS(60 m×0.25 mm,0.25 μm),载气为高纯He(99.999%),流速1 mL/min;分流比30:1,进样量0.5 μL,进样口温度280℃。升温程序:初始温度50℃,保持2 min,以10℃/min速率升至180℃,保持20 min。GC/MS传输线温度280℃。

质谱条件:电子轰击离子源(EI)电离能量70 eV,离子源温度230℃,质量扫描范围50~650 amu;扫描速率1.65 scan/s,溶剂延迟时间4 min。

1.3.5 咖啡提取物在卷烟中的感官评价

(1)嗅香评价:准确称取咖啡粗提物和咖啡精制物各1.00 g,分别溶于10 mL 95%乙醇中,密封避光醇化24 h。由专业评吸专家进行嗅香,采用香味轮廓法描述并比较其香气特征。

(2)卷烟加香评吸试验:分别将咖啡粗提物与精制物用95%乙醇配制成10%(g/mL)的储备液。以云烟紫烟丝为基质,将其置于恒温恒湿箱中平衡48 h后,称取50.0 g松散烟丝进行加香处理。使用微量移液器准确移取储备液,借助微型喷雾器将溶液均匀喷洒至烟丝上,同时不断搅拌以确保分布均匀,每支烟(按单支烟丝质量0.709 g计)的咖啡提取物添加量分别为1、5、10、15、20 μg。卷制烟支后,对照组添加等体积的95%乙醇。所有烟支密封后再次于相同恒温恒湿条件下平衡48 h,最后由7名专业评吸员在标准评吸室内进行单盲感官评价。

2 结果与分析

2.1 咖啡粗提物的乙醇浓度梯度的工艺研究

不同提取溶剂对咖啡粗提物的提取得率具有显著影响。如图1所示,以去离子水、不同浓度乙醇为溶剂进行提取,所得咖啡粗提物的得率均高于15%。随着乙醇浓度升高,提取得率相应增

加,在乙醇浓度为75%时达到最高值(18.45%)。而后在95%乙醇浓度时得率下降。这主要是因为适中的乙醇浓度能在极性与非极性之间达到最佳平衡,同时高效溶解咖啡中丰富的亲脂性香气成分。然而,溶剂浓度对提取目标物的影响具有选择性,近期研究指出,乙醇浓度对咖啡提取的影响可能并非关键因素,其提取效率主要受温度与压力调控^[15]。75%乙醇浓度得率最高,表明此比例最适于同时提取咖啡中广泛的极性(如多酚、糖类)与非极性成分,而过高浓度的乙醇会因极性过低而损失部分亲水性物质,导致总得率下降。基于上述结果,本研究后续试验均采用75%乙醇溶液作为提取溶剂。

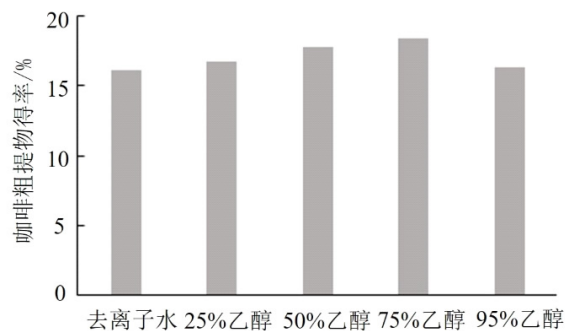


图1 不同浓度溶剂对咖啡粗提物提取得率的影响

2.2 咖啡精制物分子蒸馏工艺研究

将上游提取工艺与分子蒸馏这一下游精制技术相结合,能有效富集香气成分,并脱除杂质、去除溶剂及污染物^[14]。在不同温度与真空度条件下,对咖啡粗提物进行分子蒸馏纯化,所得咖啡精制物的得率如图2所示。

结果显示,随着蒸馏温度与系统真空度的提高,咖啡精制物的得率呈现上升趋势。这是由于在较高的温度和真空度条件下,物料受热更为充分,咖啡粗提物中各组分获得足够的能量与运动自由度,从而有更充分的分离时间,在此过程中,大量轻组分分子蒸发并在冷凝面上被收集,当温度为60℃、真空度为50 mPa时,咖啡精制物得率达到最高值(9.31%)。继续升高温度与真空度,得率反而下降。可能原因是:在优化条件下,目

标香气组分能有效蒸出;超过此条件后,过高的热负荷可能导致部分热敏性香气成分分解或发生美拉德反应等二次反应,同时可能使重组分焦化粘壁,阻碍传质与蒸发,从而导致轻组分收集效率下降,得率降低^[16]。

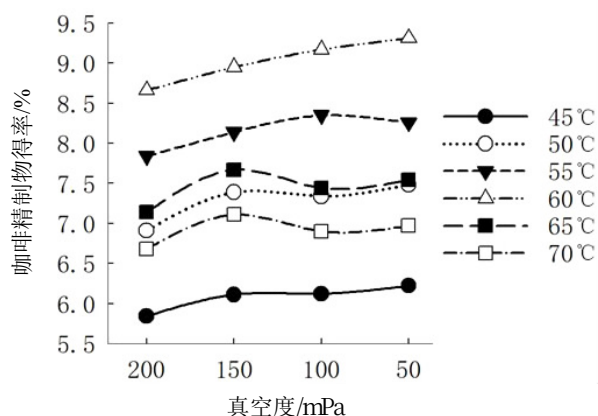


图2 不同温度和真空度对咖啡精制物得率的影响

本研究重点考察了蒸馏温度与系统真空度对纯化效果的影响,而转子转速、进料速度、冷凝板温度等参数根据经验和初步试验固定。这些参数与温度、真空度之间可能存在交互作用。未来的研究可通过响应面法等试验设计,对这些参数进行系统优化,以进一步提升咖啡精制物的得率与品质,并探索其工业化放大的可行性。

2.3 咖啡提取物外观评价

咖啡提取物的外观及香气特征如表1和图3所示。由表1可知,咖啡粗提物与纯化后的咖啡残留物均呈黑色、不透明、膏状,伴有黑色沉淀,具有一定流动性。经分子蒸馏纯化后所得咖啡精制物则呈橘黄色、清亮透明、液态,无可见杂质,且流动性更好。在香气方面,咖啡粗提物与咖啡精制物均具有烘烤香及咖啡特征香气,但咖啡精制物的香气更为浓郁,并呈现更明显的焦甜香韵。这表明经分子蒸馏纯化后,咖啡提取物的感官品质显著提升,该技术能有效分离并除去色素、大分子杂质等^[17],在保留目标香气成分的同时提升产物的纯度和品质。

2.4 咖啡提取物致香成分GC/MS分析

采用GC/MS对咖啡粗提物及经分子蒸馏纯化后的咖啡精制物进行致香成分的定性与定量分

析,主要致香化合物及其相对含量见表2,所得总离子流图见图4。

表1 咖啡提取物外观评价

物料名称	颜色	透明度	光泽度	杂质	流动性	香气
咖啡粗提物	黑色	不透明	膏体	黑色沉淀	流动	烘烤香、咖啡特征香气
咖啡精制物	橘黄色	清亮透明	液体	无杂质	易流动	烘烤香、咖啡特征香气、焦香
蒸馏残留物	黑色	不透明	膏体	黑色浓稠	流动	微弱咖啡特征香气

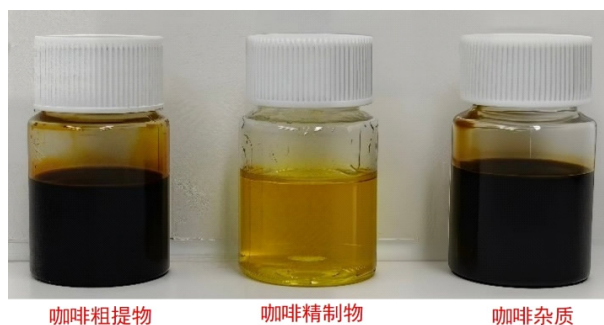


图3 咖啡提取物颜色

由表2可知,从2种提取物中共鉴定出72种挥发性香气成分,包括酯类(14种)、吡嗪类(13种)、呋喃类(12种)、酮类(10种)、酚类(7种)、酸类(6种)、醛类(5种)及其他化合物(5种)。鲁翀等^[18]研究表明,许多化合物如糠醇、亚油酸乙酯、2-甲基吡嗪等成分对咖啡特征香气的形成具有重要贡献。经分子蒸馏纯化后,咖啡精制物中致香化合物的总相对含量为73.33%,略高于咖啡粗提物(70.13%)。

从具体组成变化来看,72种化合物中有67种在精制物中的相对含量有所增加,增幅较为明显;另有5种化合物含量降低,包括1种酸类和4种酯类,主要为棕榈酸、亚油酸等高沸点脂肪酸。这归因于分子蒸馏技术根据分子运动平均自由程的差异进行分离,使得高沸点、大分子量的组分因难以到达冷凝面而更多地残留在重组分中^[16]。以上结果表明,分子蒸馏在基本保留咖啡特征香气轮廓的同时,能够显著富集大部分致香成分,并有效去除高沸点杂质,有助于提升香气品质与产品稳定性。

表2 咖啡提取物致香化合物

序号	类别	化合物名称	保留时间/min	咖啡粗提物含量/%	咖啡精制物含量/%	变化
1	呋喃类	3-甲基呋喃	2.84	0.82	1.66	+
2		糠醛	4.08	0.32	0.41	+
3		糠醇	4.44	9.04	11.75	+
4		5-甲基-2(3H)-呋喃酮	4.65	0.03	0.08	+
5		5-甲基-2(5H)-呋喃酮	5.86	0.06	0.14	+
6		5-甲基糠醛	6.30	0.22	0.31	+
7		3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮	7.73	0.21	0.34	+
8		4-甲基-5H-呋喃-2-酮	7.82	0.04	0.09	+
9		4-(2-呋喃基)-3-丁烯-2-酮	10.49	0.06	0.07	+
10		2,3-二氢苯并呋喃	10.99	0.13	0.23	+
11		2,2-[氧基二(亚甲基)]二-呋喃	12.53	0.09	0.14	+
12		5-(5-甲基-2-亚糠基氧)-呋喃-2(5H)-酮	18.16	0.09	0.19	+
13	酮类	3-甲基-2-丁酮	2.20	0.08	0.22	+
14		3-羟基-2-丁酮	2.58	0.05	0.12	+
15		1-羟基-2-丁酮	3.18	0.04	0.09	+
16		2-羟基-3-甲基-2-环戊烯-1-酮	7.49	0.27	0.36	+
17		2-羟基-3,4-二甲基-2-环戊烯-1-酮	8.02	0.14	0.24	+
18		2-羟基-3-丙基-2-环戊烯-1-酮	10.87	0.07	0.12	+
19		1-(2,4-二羟基苯基)-乙酮	12.13	1.25	2.27	+
20		4-甲基-2(1H)-喹啉酮	13.31	0.16	0.22	+
21		2,5-二羟基苯丙-1-酮	13.84	0.40	0.62	+
22		十七烷酮	22.90	0.01	0.06	+
23	吡嗪类	吡嗪	3.30	0.14	0.23	+
24		甲基吡嗪	3.39	0.04	0.11	+
25		2-甲基吡嗪	5.06	0.21	0.45	+
26		2,3-二甲基吡嗪	5.39	0.25	0.52	+
27		2-乙基吡嗪	5.64	0.04	0.10	+
28		2-乙基-6-甲基吡嗪	6.74	0.03	0.09	+
29		2-乙基-3-甲基吡嗪	6.91	0.05	0.14	+
30		2,5-二甲基吡嗪	8.69	0.14	0.27	+
31		2,3,5-三甲基吡嗪	9.14	0.16	0.20	+
32		6-甲基-2-乙基吡嗪	9.98	1.34	1.81	+
33		2,5-二甲基-3-乙基吡嗪	12.60	0.04	0.17	+
34		2-乙基-6-甲基吡嗪	23.22	0.17	1.06	+
35	酚类	2-乙基-5-甲基吡嗪	24.15	0.76	1.85	+
36		苯酚	6.57	0.32	0.67	+
37		2-甲基苯酚	7.97	0.07	0.16	+
38		4-甲基苯酚	8.36	0.22	0.43	+
39		麦芽酚	9.11	0.51	0.76	+
40		4-乙基苯酚	10.07	0.07	0.15	+
41		2-甲氧基-4-乙烯基苯酚	12.76	0.92	1.93	+
42		2,4-二叔丁基-苯酚	16.06	0.11	0.31	+
43	酯类	乙二醇二乙酸酯	4.60	0.47	0.07	-
44		乙酸糠酯	6.87	0.02	0.17	+
45		烟酸甲酯	9.60	0.05	0.18	+
46		柠檬酸三乙酯	19.06	0.05	0.30	+
47		苯甲酸苄酯	20.93	0.04	0.27	+
48		肉豆蔻酸异丙酯	21.76	0.02	0.07	+
49		棕榈酸	23.86	30.19	26.09	-
50		亚油酸甲酯	25.44	0.58	1.40	+

续表 2 咖啡提取物致香化合物

序号	类别	化合物名称	保留时间/min	咖啡粗提物含量/%	咖啡精制物含量/%	变化
51	酯类	反式-9-十八碳烯酸甲酯	25.51	0.31	0.13	-
52		硬脂酸甲酯	25.81	0.14	0.43	+
53		亚油酸	25.93	14.55	5.56	-
54		亚油酸乙酯	26.25	0.21	1.65	+
55		油酸乙酯	26.31	0.22	1.12	+
56		硬脂酸乙酯	26.59	0.15	0.32	+
57	醛类	1H-吡咯-2-甲醛	7.15	0.45	0.71	+
58		1-甲基-1H-吡咯-2-甲醛	9.34	0.24	0.39	+
59	醇类	2-噻吩甲醇	7.55	0.11	0.16	+
60		苯甲醇	7.62	0.04	0.07	+
61		1-[1-甲基-2-(2-丙烯基氧基)乙氧基]-2-丙醇	9.91	0.37	0.42	+
62	酸类	丙酸	2.37	0.08	0.14	+
63		丁酸	2.96	0.01	0.08	+
64		3-甲基丁酸	4.25	0.81	0.23	-
65		2-甲基丁酸	4.49	0.04	0.15	+
66		4-甲基戊酸	5.96	1.08	0.55	-
67		辛酸	10.12	0.02	0.25	+
68	其他	吡啶	2.94	0.11	0.27	+
69		N-乙酰基-4(H)-吡啶	7.36	0.05	0.07	+
70		吡啶	12.41	0.15	0.31	+
71		3-乙基-1,2-二氢-2-氧喹啉	13.94	0.12	0.20	+
72		新植二烯	21.97	0.28	0.43	+

注：“+”表示咖啡提取物致香成分含量增加，“-”表示咖啡提取物致香成分含量减少。

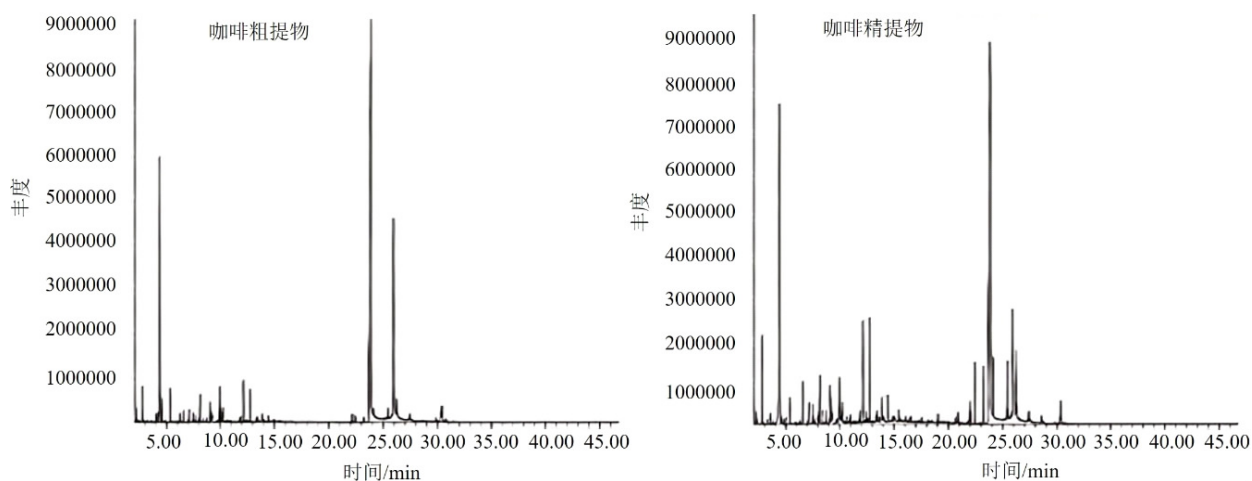


图4 咖啡提取物 GC/MS 总离子流

由图5可知,咖啡提取物中的主要致香成分包括酯类、呋喃类、吡嗪类、酮类及酚类等,这些化合物在香气组成中占主导地位,与杨莉等^[19]的研究结论相符。除酯类与酸类外,咖啡粗提物中其余各类致香成分的相对含量均低于咖啡精制物,表明分子蒸馏过程能够有效富集大部分香气物质。在各类成分中,酯类含量最为丰富。酯类

物质常呈现果香与花香,能够显著增强卷烟的甜香、花香及清香特征^[20]。呋喃类化合物含量次之,这类成分可赋予卷烟突出的甜香气息,常用于烟用香精的调配^[21],其香气能与烟草本香协调,改善抽吸口感。赵蔚等^[22]指出,呋喃类香料对提升烤烟及混合型卷烟的品质具有重要作用,可增强香气、降低杂气并提高烟气浓度。吡嗪类

化合物含量位列第三,其特有的坚果香是构成卷烟主体香韵的关键成分之一^[23],在烟用香料中应用广泛。此外,酮类与酚类化合物也占有一定比例,这两类成分除贡献香气外,还具有一定的抗氧化活性。

从主要单体成分来看(图6),咖啡提取物中的致香物质为糠醇、棕榈酸与亚油酸。经分子蒸馏纯化后,咖啡精制物中糠醇的含量从9.04%

升至11.75%,而棕榈酸与亚油酸的含量分别从30.19%降至26.09%、从14.55%降至5.56%。棕榈酸与亚油酸是高沸点脂肪酸,其含量下降是分子蒸馏选择性分离的结果^[16]。值得注意的是,脂肪酸(特别是多不饱和脂肪酸)在高温下易氧化裂解产生刺激性成分^[24],其含量的显著降低对提升咖啡精制物的品质及改善其在卷烟中的抽吸舒适度具有积极意义。

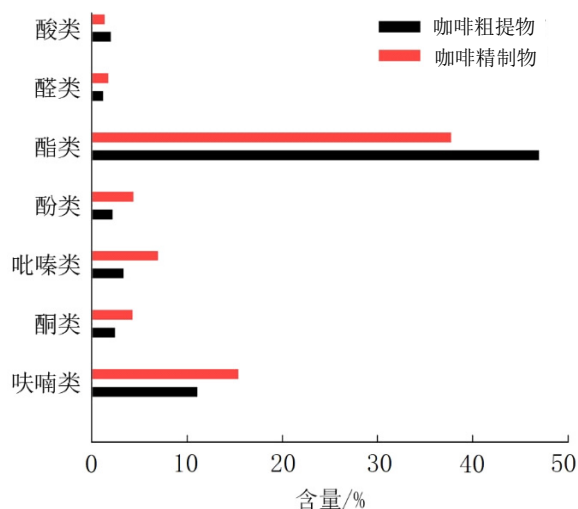


图5 咖啡提取物主要致香化合物分类

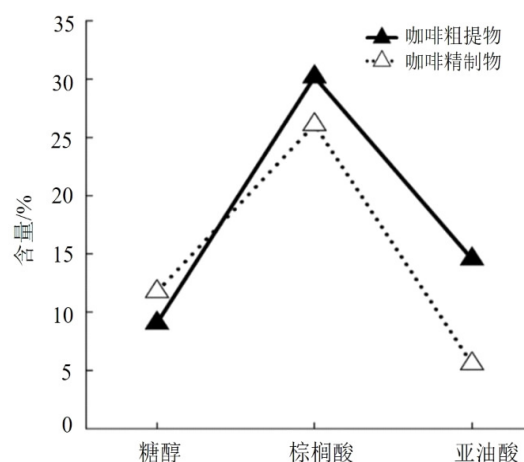


图6 咖啡提取物主要致香化合物含量

2.5 咖啡提取物卷烟感官评吸

对传统旋蒸提取的咖啡粗提物及经分子蒸馏纯化后的咖啡精制物进行感官评价。如图7所示,二者在嗅香特征上存在明显差异。经分子蒸

馏纯化后,咖啡精制物呈现出更丰富的坚果香、豆香烘焙香、果香及杏仁香等复合香韵,刺激气味降低,且在香气质、香气量与透发性方面均有显著提升。

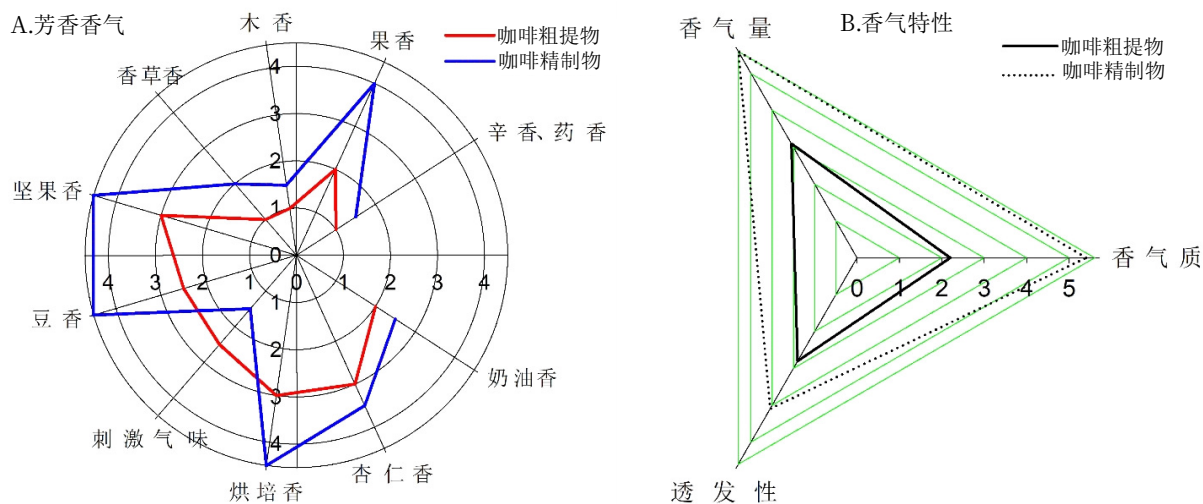


图7 咖啡提取物香气轮廓分析

在卷烟加香应用中,烟用香精香料是重要的风味添加剂^[25]。咖啡提取物能赋予卷烟甜润感,丰富烟香,提升香气品质,因而具备作为烟用香精的潜力。依据行业标准^[26]进行卷烟感官评吸,结果见表3。总体而言,添加咖啡粗提物或咖啡精制物均能改善卷烟感官品质,且在相同添加量下,咖啡精制物的效果更优。以咖啡精制物具体来看,添加量为1 $\mu\text{g}/\text{支}$ 或5 $\mu\text{g}/\text{支}$ 可略微改善卷

烟感官品质,并一定程度上增加透发性和协调性,降低杂气当添加量增至10 $\mu\text{g}/\text{支}$ 时,卷烟感官品质显著提升,表现为香气量与烟气浓度增强,香气质改善,刺激性降低,杂气减少,余味更加舒适,整体口感最为细腻柔和。然而,当添加量进一步提高至15 $\mu\text{g}/\text{支}$ 或20 $\mu\text{g}/\text{支}$ 时,尽管香气量与香气质仍有所改善,但卷烟开始出现不协调气息,烟气杂气与刺激性增加,口感下降。

表3 咖啡提取物卷烟加香结果

样品	添加量/ $(\mu\text{g} \cdot \text{支}^{-1})$	香气质	香气量	透发性	杂气	细腻柔和程度	刺激性	干燥程度	劲头	余味	协调性	丰富度
咖啡粗提物	1	0	0	+	0	+	0	0	0	0	+	0
	5	+	0	++	+	+	0	0	0	0	+	+
	10	++	+	+	0	+	0	0	0	+	+	+
	15	+	+	+	0	+	+	-	+	+	-	-
	20	-	+	+	-	+	0	-	+	-	-	-
咖啡精制物	1	0	0	+	0	+	0	0	0	0	0	+
	5	+	+	++	+	+	0	0	0	+	+	+
	10	++	++	++	+	++	+	0	0	+	+	+
	15	+	++	+	-	+	+	-	+	+	-	-
	20	-	+	+	-	+	0	-	+	-	-	-

注:“0”表示相较对照组无明显变化,“+”表示有改善,“++”表示有明显改善,“-”表示变差。

综上,在相同添加量下,经分子蒸馏纯化后的咖啡精制物在提升卷烟香气量、烟气浓度、香气质,以及降低刺激性、杂气和改善余味方面,均优于咖啡粗提物。此外确定咖啡精制物的最适添加量为10 $\mu\text{g}/\text{支}$ 。

3 结论

本研究以云南普洱小粒种咖啡为原料,采用旋转蒸发结合分子蒸馏技术,成功制备并纯化了咖啡精制物,系统评价了其理化特性及在卷烟加香中的应用效果。结果表明:

1)咖啡粗提物制备的最佳溶剂为75%乙醇溶液,此条件下得率为18.45%。通过分子蒸馏技术对粗提物进行纯化,最优工艺条件为:蒸馏温度60 $^{\circ}\text{C}$,系统真空度50 mPa,此条件下咖啡精制物得率为9.31%。纯化后产品感官品质发生根本性改善,由黑色、不透明的膏状物转变为橘黄色、清亮透明的液体,并呈现出浓郁、协调的焦甜咖啡特征香气。其中,以棕榈酸、亚油酸为代表的高沸点脂肪酸含量显著降低,这不仅使产品澄清透明、稳定性提高,更是有效去除油脂杂气、改善卷

烟抽吸舒适度的关键^[16,24]。

2)咖啡粗提物与精制物中共鉴定出72种致香化合物。分子蒸馏过程改变了香气成分含量,有效富集了其中67种成分,尤其是吡嗪类、呋喃类、酮类及酚类等赋予咖啡烘焙香、坚果香的关键致香物质相对含量显著增加,使得精制物的香气轮廓更为丰富、纯正。

3)咖啡精制物能显著改善卷烟的感官品质。其最适添加量为10 $\mu\text{g}/\text{支}$ (以单支烟丝质量0.709 g计)。此添加量可有效提升卷烟的香气量、烟气浓度和香气质,显著降低刺激性并掩盖杂气,改善余味,使烟气更加细腻柔和。过量添加(≥ 15 $\mu\text{g}/\text{支}$)则易产生不协调气息,导致综合品质下降。在相同添加量下,咖啡精制物的增香提质效果全面优于粗提物。

综上所述,分子蒸馏技术在低温、高真空条件下能够高效纯化咖啡提取物,在富集关键致香成分的同时选择性分离不良杂质,从而显著提升其作为烟用香精的品质与应用性能。本研究结果为咖啡资源的高值化精深加工及特色天然烟用香料的开发提供了可行参考路径。

参考文献:

- [1] 芮丹萍,全伟,罗勇,等. 云南省咖啡产业科技发展现状及对策研究[J]. 中国农村科技,2023(8):49-51.
- [2] 朱颖墨,窦小东,王瑞芳,等. 气候变化对云南省小粒咖啡适生区的影响[J]. 气象学报,2021,79(5):878-887.
- [3] 黄家雄,吕玉兰,李贵平,等. 2020年我国咖啡生产、贸易及消费形势分析[J]. 中国热带农业,2021(5):40-53.
- [4] 王寒怡,胡炜敏,孙杨莹,等. 不同市售品牌咖啡渣中抗氧化成分的提取及活性分析[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版),2023,22(1):45-51.
- [5] 王瑶,王晓娜,张雪辉,等. 云南小粒咖啡类黑精的抗氧化及减肥功能[J]. 食品科学,2019,40(1):183-189.
- [6] 吕文佳,刘云,杨剡舟,等. 咖啡主要烘焙风味物质的形成及变化规律[J]. 食品工业科技,2015,36(3):394-400.
- [7] 翟慧楠. 不同初加工处理云南咖啡风味化学组成及品质研究[D]. 银川:宁夏大学,2023.
- [8] 杨圆慧,徐柠檬,资璐熙,等. 云南小粒咖啡果皮不同溶剂粗提物主成分分析及其抗氧化活性研究[J]. 食品科技,2023,48(2):230-238,245.
- [9] 杨上莺,罗海涛,何力,等. 不同方法制备咖啡提取物及其在卷烟中的应用[J]. 湖北农业科学,2019,58(12):107-111,133.
- [10] 李晓娇,张洁. 咖啡油提取及精炼工艺研究[J]. 食品安全导刊,2018(36):161.
- [11] 杨晓声,陈鹏飞,鲁玉侠. 两步提取法制备水油两溶馥郁咖啡提取物的研究[J]. 广东化工,2021,48(11):31-32.
- [12] 颜东妹,代云云,郭亚菲,等. 分子蒸馏技术及其在多领域中的应用[J]. 中兽医医药杂志,2021,40(5):92-96.
- [13] 孙欣欣. 分子蒸馏技术在多领域应用的研究进展[J]. 化工技术与开发,2018,47(12):35-37,60.
- [14] 王磊,沈银杰,程潮. 分子蒸馏技术及其在香料领域的进展研究[J]. 广东化工,2023,50(11):94-95,117.
- [15] WANG HY, HU WM, SUN YY, et al. Extraction and activity analysis of antioxidant components from different commercial coffee grounds [J]. Journal of Hangzhou Normal University (Natural Science Edition), 2023, 22(1): 45-51.
- [16] 夏于芬,娄华勇. 分子蒸馏技术在天然产物提取分离中的应用[J]. 广州化工,2015,43(6):18-19.
- [17] 李燕,刘军海. 分子蒸馏技术在天然产物分离纯化中应用进展[J]. 粮食与油脂,2011(3):7-11.
- [18] 鲁翀,于鑫欣,胡发广,等. 厌氧发酵对云南小粒咖啡香气特征的影响[J]. 食品工业科技,2025,46(1):1-12,44.
- [19] 杨莉,刘祥江,李孙洋,等. 不同初加工方式云南咖啡精油特征香气成分分析[J]. 中国食品添加剂,2025,36(3):198-206.
- [20] 史清照,李河霖,王超,等. 卷烟烟气内源性花香成分分析及花香特征调控[J]. 烟草科技,2023,56(5):56-67.
- [21] 付培培. 呋喃酯类化合物的合成及其卷烟加香应用研究[D]. 郑州:河南农业大学,2016.
- [22] 赵蔚,天建华,李超,等. 卷烟烟气甜感研究进展[J]. 云南化工,2024,51(4):22-26.
- [23] 韩富根. 烟草化学[M]. 北京:中国农业出版社,2010.
- [24] 史清照,李河霖,王超,等. 卷烟烟气中不良成分及其调控技术研究进展[J]. 烟草科技,2021,54(10):87-96.
- [25] 刘明培. 烟用香精香料咖啡豆料液GC-MS指纹图谱研究[D]. 武汉:华中科技大学,2011.
- [26] 史晓颖,郭书裴,郜海民. 卷烟感官评吸评分准确性与稳定性探讨[J]. 中国新技术新产品,2014(1):91.