

# 不同萃取技术结合 GC-MS 分析 卷烟加香料液的挥发性成分

赫林林<sup>1</sup>, 郑海伟<sup>1</sup>, 杨杰<sup>1</sup>, 唐芳丽<sup>1</sup>, 黄勃<sup>1</sup>, 张晓平<sup>2</sup>, 武云杰<sup>2\*</sup>, 崔升<sup>1\*</sup>

(1. 广西中烟工业有限责任公司柳州卷烟厂, 广西南宁 530001;  
2. 河南农业大学烟草学院, 河南郑州 450046)

**摘要:** 卷烟加香工艺中香精香料挥发性成分的精准分析对产品质量调控与品质稳定性至关重要。以柳州卷烟厂真龙品牌典型卷烟加香料液为对象, 系统对比并优化同时蒸馏萃取(SDE)、液液萃取(LLE)和顶空固相微萃取(HS-SPME)3种前处理方法对挥发性成分的提取效果, 并利用气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)进行成分分析。研究发现, LLE经溶剂极性与工艺参数优化后, 3种料液萃取效率均有所提升; SDE在2 h萃取时长下虽挥发性成分含量略低于1.5 h, 但挥发性物质检出种类增加14.29%, 更适用于特征风味成分的全面解析。综合比较显示, 使用SDE方法料液检出112种成分, 显著高于LLE与HS-SPME方法。以上结果表明, 同时蒸馏萃取有助于高沸点组分的有效释放, 在卷烟加香料液挥发性成分分析中具有显著优势。

**关键词:** 气相色谱-质谱联用仪; 萃取; 挥发性成分; 卷烟加香料液

中图分类号: TS264.3

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2026)S1-0169-06

DOI: 10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2026.S1.029

## Analysis of volatile components in cigarette flavoring liquid by different extraction techniques combined with GC-MS

HE Lin-lin<sup>1</sup>, ZHENG Hai-wei<sup>1</sup>, YANG Jie<sup>1</sup>, TANG Fang-li<sup>1</sup>, HUANG Bo<sup>1</sup>,  
ZHANG Xiao-ping<sup>2</sup>, WU Yun-jie<sup>2\*</sup>, CUI Sheng<sup>1\*</sup>

(1. Liuzhou Cigarette Factory, China Tobacco Guangxi Industrial Co., Ltd., Nanning 530001, China;  
2. College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450046, China)

**Abstract:** Accurate analysis of volatile components of flavors and fragrances in cigarette flavoring process is very important for flavor regulation and quality stability of products. In this study, a typical cigarette flavoring liquid of Zhenlong brand in Liuzhou Cigarette Factory, was taken as the object, and the extraction effects of volatile components by three pretreatment methods, namely simultaneous distillation extraction (SDE), liquid-liquid extraction (LLE) and headspace solid-phase microextraction (HS-SPME), were systematically compared and optimized, and the components were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). It was found that the extraction efficiency of LLE was improved after solvent polarity and process parameters were optimized. Although the content of volatile components in SDE was slightly lower than that in 1.5 h under the extraction time of 2 h, the detected types of volatile components increased by 14.29%, which was more suitable for the comprehensive analysis of characteristic flavor components. It showed that 112 components were detected in flavoring liquid by SDE method, which was significantly higher than that by LLE and HS-SPME methods. The above results show that the simultaneous distillation and extraction method is helpful to the effective release of high-boiling components and has obvious advantages in the analysis of volatile components in cigarette flavoring liquid.

**Key words:** gas chromatography-mass spectrometry; extraction; volatile components; cigarette flavoring liquid

烟用香精香料被广泛运用于烟草制品中, 是提升卷烟香气特征、改善烟气协调性和掩盖不良气味的重要工艺环节, 以确保烟草制品在燃吸时能够展现出良好的香味和口感<sup>[1-2]</sup>。卷烟作为一种特殊的消费品, 其感官品质与消费者的接受度密切相关。加香料液中的挥发性成分不仅是构成卷烟特征香气

的核心物质基础, 更直接影响烟气的柔和度、甜润感和余味舒适性。然而烟用香精香料挥发性成分丰富多样且气味错综复杂, 因此选择合适的方法对挥发性成分进行准确的定性定量分析显得尤为重要。气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)是一种将气相色谱(GC)和质谱(MS)串联起来的双光谱技术, 惠康进

收稿日期: 2026-01-12; 修回日期: 2026-03-21

基金项目: 卷烟烟丝加香稳定性评价技术研究(GXZYCX2023A007)

作者简介: 赫林林(1995-), 女, 助理工程师, 研究方向为烟草化学分析与检测研究, 1834880456@qq.com; 武云杰(1987-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为烟草加工与质量评价研究, 通讯联系人, wuyunjie@henau.edu.cn; 崔升(1978-), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为卷烟工艺质量研究与管理, 通讯联系人, 173637866@qq.com。

等<sup>[3]</sup>采用 GC-MS 法确定烟用香精的代表性香味成分和质量要求。该技术既能保留质谱技术灵敏度高、特异性强的优点,又能弥补气相色谱难以定性识别复杂未知组分的不足<sup>[4]</sup>。但值得注意的是,GC-MS 分析结果的准确性与样品前处理技术密切相关,不同萃取方法对挥发性成分的提取效果和物质种类存在一定差异,直接影响最终组分的完整性。因此,系统比较不同萃取技术在卷烟料液分析中的适用性,对于优化试验方法、提升检测准确性具有重要意义。

传统的对香精样品进行前处理的方法主要包括蒸馏法<sup>[5-6]</sup>、萃取法<sup>[7-8]</sup>、吸附法<sup>[9-10]</sup>等。顶空固相微萃取<sup>[11-12]</sup>和同时蒸馏萃取<sup>[13-14]</sup>是近年来发展起来的处理样品的方法。在本文卷烟料液挥发性成分分析中,使用到的前处理技术有液液萃取、顶空固相微萃取和同时蒸馏萃取。液液萃取通过溶剂的极性选择实现成分分离,具有操作简单、成本低廉的特点,但其对低沸点挥发性成分的提取效率较低,且易引入溶剂干扰。顶空固相微萃取作为一种绿色无溶剂的萃取方法,通过纤维涂层吸附顶空中的挥发性物质,尤其适用于痕量成分的富集,但其对高沸点或极性较强的化合物捕获能力有限。同时蒸馏萃取结合了蒸馏与溶剂提取的优势,常应用于香精香料中挥发性、半挥发性组分分析,是一种提取、分离和富集试样中挥发性、半挥发性成分较为有效的方法,但对热敏性物质可能存在分解风险<sup>[15]</sup>。刘哲等<sup>[16]</sup>采用顶空固相微萃取(HS-SPME)分析了烟草提取物中的酯类成分,杨君等<sup>[17]</sup>采用超声辅助液液萃取法适用于烟用香精香料成分的提取,由于卷烟加香料液中的挥发性成分较为复杂,不同萃取方法对获得的挥发性成分物质种类和相对含量各有差异,故现有的提取方法在检测中都具有可行性,但是各有优缺点<sup>[18]</sup>。

本研究选取真龙某牌号卷烟加香过程中具有代表性的卷烟料液为研究对象,分别采用液液萃取、顶空-固相微萃取和同时蒸馏萃取 3 种前处理技术,结合 GC-MS 进行挥发性成分的定性与定量分析,旨在明确 3 种萃取技术对料液中挥发性成分的提取效果差异,系统解析料液的主要挥发性成分组成。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

真龙品牌卷烟的香料液,由柳州卷烟厂提供。  
试剂:二氯甲烷、正己烷、乙酸乙酯(均为色谱

纯),购自上海麦克林生化科技股份有限公司;氘代萘,购自赛默飞世尔科技(中国)有限公司。

### 1.2 仪器与设备

GCMS-QP2020 NX 型四极杆型气相色谱质谱联用仪:岛津企业管理(中国)有限公司;HZK-FA210 型电子天平:华志(福建)电子科技有限公司;有机相 13  $\mu\text{m}$ ×0.22  $\mu\text{m}$  针型过滤器:江苏翌哲教学仪器有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 料液挥发性成分的液液萃取条件单因素试验

样品的萃取:电子天平称取 1.00 g 料液,根据不同料液比加入内标液(称取 1.00 mg 氘代萘用二氯甲烷/正己烷/乙酸乙酯定容至 100 mL,即为内标工作液),于摇床上振荡萃取不同时间,静置分层。使用注射器将 1.00 mL 萃取液上清液通过 0.22  $\mu\text{m}$  有机相膜过滤到 GC-MS 进样瓶(2 mL)中,进行 GC-MS 分析。

液液萃取条件优化:加香料液中含有多种不同种类的挥发性物质,为了获取更多挥发性成分用于分析,分别考察萃取溶剂(二氯甲烷、正己烷、乙酸乙酯)、萃取时间(3、5、7、9、11 min)、料液比(1:1、1:2、1:3、1:4)对料液挥发性成分种类及萃取峰面积影响。

#### 1.3.2 料液挥发性成分的同时蒸馏萃取条件优化

装置蒸馏端接盛有 5.00 mL 料液及 500 mL 水于 1 000 mL 平底烧瓶,加 2.00 g 柠檬酸,使用电热套加热。装置另一端接盛有 40.00 mL 二氯甲烷的 250 mL 烧瓶,并加入 0.25 mL 内标溶液(准确称取 0.70 g 氘代萘用二氯甲烷定容至 100 mL,后稀释 40 倍即为工作液),水浴 60℃ 加热。蒸馏萃取完成后,二氯甲烷萃取溶液中加入无水硫酸钠干燥,将上清液转入浓缩瓶中于旋转蒸发仪(水浴温度 48℃,不超过 50℃)浓缩至约 1.00 mL,转入色谱瓶中。

同时蒸馏萃取条件优化:采用单因素试验,考虑不同萃取时间(0.5、1、1.5、2、2.5 h)对萃取峰面积及料液挥发性成分种类影响。

#### 1.3.3 料液挥发性成分的顶空固相微萃取条件优化

电子分析天平准确称取料液 1.00 g(精确至 1.000 0 g)于 20 mL 样品瓶中,然后加入 10  $\mu\text{L}$  内标液(0.05 g 氘代萘溶于 5.00 mL 甲醇,后稀释 200 倍即为内标工作液),于 70℃ 的加热箱(岛津企业管理(中国)有限公司)平衡 10 min 后,将聚二甲基硅氧

烷/聚二乙烯基苯(PDMS/DVB)萃取头插入样品瓶中萃取40 min,然后将萃取头拔出并置于260℃进样口中解吸3 min。

色谱柱:DB-5MS型(60 m×250 μm×0.25 μm);进样口温度260℃,载气为高纯度氮气,控制模式:线速;柱流速1.98 mL/min,分流比:无分流。程序升温:初温50℃,保持3 min;以3℃/min的速率升温至210℃;1 min后以10℃/min升至270℃,保持5 min。溶剂延迟3 min,电子轰击离子源(EI),电子电压70 eV,离子源温度230℃,接口温度270℃,扫描质量范围50~550 m/z。

顶空固相微萃取条件优化:考虑稀释变量(料液不稀释/稀释5倍/稀释10倍)对萃取效果的影响。

### 1.3.4 料液挥发性成分的气相色谱质谱联用仪分析

气相色谱条件:DB-5MS色谱柱(60 m×250 μm×0.25 μm);进样口温度:250℃;载气:99.99%高纯度氮气,流速1.0 mL/min;进样方式为分流进样,分流比10:1,进样量为1 μL。升温程序:初始温度为50℃保持2 min,然后以5℃/min的升温速度升至250℃,保留20 min结束。

质谱条件:采用SCAN模式,传输线温度250℃;离子源温度为170℃;离子源为电子轰击电离(EI),电子能量为70 eV;溶剂延迟时间为5 min;扫描范围30~500 amu。

定性分析:采用Nist20标准谱库、Smart Aroma Database香味数据库和本地数据检索定性<sup>[19]</sup>,匹配度>80%。

定量分析:采用内标法半定量。根据内标峰面积和浓度,通过计算样品中的峰面积与内标峰面积的比值,对各挥发性成分的含量进行定量。

### 1.3.5 数据分析

试验进行3次平行试验,峰面积数据以平均值形式表示。采用Office Excel 2016进行数据计算,使用Origin Pro 2021进行图表绘制。

## 2 结果与讨论

### 2.1 液液萃取单因素试验

#### 2.1.1 萃取溶剂的选择

二氯甲烷、正己烷和乙酸乙酯3种不同极性溶剂在液液萃取法(LLE)中对料液中挥发性成分的萃取效果如表1所示。不同溶剂萃取料液的物质总含量由大到小分别为:二氯甲烷>正己烷>乙酸乙酯。

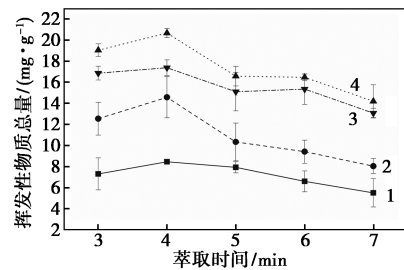
而萃取物质种类由多至少分别为:二氯甲烷>乙酸乙酯>正己烷。非极性溶剂正己烷的萃取总含量虽较极性溶剂乙酸乙酯高,但其萃取的物质种类少于两种极性溶剂。而极性较强的二氯甲烷无论是萃取总含量还是物质总类优于其他两种萃取溶剂。综上,二氯甲烷是液液萃取法萃取料液挥发性成分的最佳溶剂。

表1 不同溶剂对液液萃取料液挥发性成分效果的影响

有机溶剂	提取出的物质总含量/ (mg·g <sup>-1</sup> )	提取出的物质总数/ 种
二氯甲烷	9.41	54
正己烷	0.70	40
乙酸乙酯	0.68	46

#### 2.1.2 萃取时间和料液比的选择

不同萃取时间(3、5、7、9、11 min)和不同料液比(1:1、1:2、1:3、1:4)对料液挥发性成分的影响见图1。



1—料液比1:1;2—料液比1:2;3—料液比1:4;4—料液比1:3

图1 不同萃取时间和料液比对液液萃取料液挥发性成分效果的影响

由图1可知,萃取时间和料液比对料液萃取挥发性物质的量有影响。萃取时间上,3~5 min呈现上升趋势,5 min以后呈下降趋势,萃取时间为5 min时所含挥发性物质的量均大于其他萃取时间。当萃取时间为5 min时,不同料液比萃取料液的挥发性物质的量从大至小分别为:1:3>1:4>1:2>1:1。故料液最佳萃取时间为5 min,最佳料液比为1:3。

### 2.2 同时蒸馏萃取结果单因素试验

对料液进行0.5、1、1.5、2、2.5 h的提取,萃取效果如表2所示。由表2可知,同时蒸馏萃取(SDE)萃取挥发性物质总含量为:2.5 h>1.5 h>2 h>0.5 h>1 h,萃取出挥发性物质总数为:2 h>1.5 h>1 h>0.5 h>2.5 h,萃取1.5 h提取出物质总数较2 h少16种,说明2 h的萃取时间较为合适,挥发性物质与溶剂蒸汽混合时间充分,萃取挥发性成

分较为完全。而时间太长可能造成热敏性物质降解、水解或损失。

表 2 不同萃取时间对同时蒸馏萃取料液挥发性成分效果的影响

萃取时间/ h	提取出的物质总含量/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	提取出的物质总数/ 种
0.5	170.25	88
1.0	152.37	91
1.5	186.30	96
2.0	184.32	112
2.5	223.77	80

### 2.3 顶空固相微萃取单因素试验

顶空固相微萃取控制稀释变量(不稀释、稀释 5 倍、稀释 10 倍)对料液成分进行分析,结果如表 3 所示。顶空固相微萃取料液挥发性物质总含量为:原液>稀释 10 倍>稀释 5 倍,分别为 79.66、54.53、49.31  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,提取出物质总数均为:原液>稀释 5 倍>稀释 10 倍,分别为 82、71、63 种。

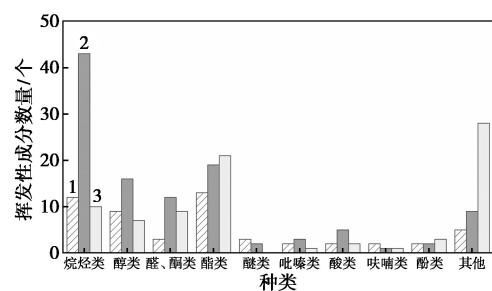
表 3 不同稀释程度对顶空固相微萃取料液挥发性成分效果的影响

稀释程度	提取出的物质总含量/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	提取出的物质总数/ 种
10 倍	54.53	63
5 倍	49.31	71
原液	79.66	82

### 2.4 3 种方法萃取料液的挥发性成分比较

对比 LLE、SDE 和 HS-SPME 分别进行料液中挥发性风味成分种类分析,LLE 提取 54 种,SDE 提取 112 种,HS-SPME 提取 82 种挥发性成分。从数量上来看,SDE 和 HS-SPME 优于 LLE 方法。

如图 2 所示,进一步分析提取料液的挥发性成



1—液液萃取;2—同时蒸馏萃取;3—顶空固相微萃取

图 2 LLE、SDE、HS-SPME 萃取料液挥发性成分种类数量比较

分发现:SDE 萃取烷烃类、吡嗪类、醇类、酸类、酮类和醛类化合物效果较佳;LLE 萃取醚类和咪唑类化合物效果较佳;HS-SPME 萃取酚类和其他(萜类、杂环类化合物等)化合物效果较佳。

综上,无论从挥发性化合物种类、提取出物质总数及萃取效果来看,SDE 及 HS-SPME 均显著优于 LLE。SDE 对烷烃类、醇类、醛类和酮类、酸类物质的提取更有利,HS-SPME 对酚类和其他化合物(烯烃、腈、酰胺等)提取效果更好。SDE 及 HS-SPME 两种前处理方法对加香料液的定性分析有一定的互补性,这两种方法结合提取料液中挥发性成分可以更全面。考虑到 SDE 具有良好的重复性、较高的萃取量、操作简便等特点,SDE 更为符合要求。

### 2.5 SDE 法提取加香料液挥发性成分分析

酯类、醇类、醛类和酮类为主要呈香物质,为了得到加香料液的主要挥发性成分,进而对 SDE 的萃取结果进行更具体的分析。SDE 前处理方法结合 GC-MS 对料液挥发性成分分析可以基本反映出料液样品组成见表 4。

表 4 SDE 法提取料液挥发性成分结果

序号	化合物名称	相对含量/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )
1	2,3,4-三甲基戊烷	0.04
2	环己烷	0.89
3	3-甲基己烷	0.32
4	3,3-二甲基-2-戊醇	0.06
5	顺式-1,2-二甲基环戊烷	0.14
6	甲基环己烷	0.28
7	乙基环戊烷	0.01
8	2-甲基庚烷	0.02
9	丁酸乙酯	1.59
10	醋酸丁酯	0.08
11	2,3,3-三甲基己烷	0.19
12	糠醛	3.47
13	2-甲基丁酸乙酯	1.01
14	异戊酸乙酯	3.40
15	4-甲基辛烷	0.08
16	乙基苯	0.01
17	正戊酸	0.48
18	壬烷	0.01
19	2-乙酰基咪唑	1.03
20	2,3-二甲基吡嗪	3.67
21	2,4,6-三甲基辛烷	0.02

续表		
序号	化合物名称	相对含量/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )
22	3,6-二甲基辛烷	0.01
23	庚醛丙二醇缩醛	0.02
24	异戊醛丙二醇缩醛	0.01
25	4-甲基壬烷	0.02
26	十二烷	1.99
27	2-甲氧基-3-甲基吡嗪	0.14
28	3-甲基十一烷	0.08
29	2,5-二甲基壬烷	0.18
30	己酸	4.30
31	庚酸	6.59
32	2,3,5-三甲基吡嗪	0.30
33	3,3,5-三甲基庚烷	0.31
34	4,6-二甲基十二烷	0.69
35	3-甲基-1,2-环戊二酮	0.45
36	桉树醇	0.60
37	苯甲醇	0.57
38	苯乙酮	0.12
39	2,4-二乙基-1-庚醇	0.03
40	萜品油烯	0.07
41	5-甲基-5-丙基壬烷	0.07
42	2-甲基丁醇 2-甲基丁酸酯	0.00
43	异戊酸异戊酯	0.34
44	2-甲基丁醇异戊酸酯	0.06
45	2,6,10-三甲基十二烷	0.02
46	$\beta$ -苯乙醇	0.06
47	5-(2-甲基丙基)-壬烷	0.03
48	顺式-1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)-环己醇	0.08
49	( $\pm$ )-新异枸杞醇	0.40
50	环己基二甲氧基甲基硅烷	0.59
51	8-甲基十七烷	0.65
52	3,8-二甲基癸烷	0.02
53	2,5-二甲基十一烷	0.48
54	L-薄荷醇	0.27
55	薄荷脑	32.72
56	松油醇	4.53
57	$\gamma$ -萜品醇	1.40
58	4-甲基十二烷	0.28
59	3,4-二甲基苯甲醛	0.20
60	1,5-二甲基环辛烷	0.01
61	正二十一烷	0.46
62	苯乙酸乙酯	4.23
63	正己酸酐	0.14
64	紫苏醛	37.98
65	1,3-对薄荷二烯-7-醛	0.49
66	2-己基-1-癸醇	0.08
67	2,6,11,15-四甲基十六烷	0.04
68	2,6,6-三甲基-1,4-环己二烯-1-甲醛	1.87
69	2-甲氧基-5-(丙-2-烯-1-基)苯酚	0.02
70	二十烷	1.09
71	$\beta$ -突厥酮	0.02
72	十四醇	0.03
73	(E)-1-(2,6,6-三甲基-2-环己烯-1-基)-2-丁烯-1-酮	0.15
74	正二十五烷	0.26
75	$\beta$ -大马士酮	0.62
76	4-甲基十四烷	0.10
77	长叶烯	0.02
78	蓝桉醇	0.02
79	十八烷	0.06
80	乙酸桂酯	6.16
81	2,6,10-三甲基十三烷	0.11
82	紫苏葑	23.23
83	三十二烷	0.67
84	2,4-二特丁基苯酚	0.67
85	4-甲基十五烷	0.02
86	反式-橙花叔醇	0.32
87	13-甲基庚烷	0.06
88	二十四烷	0.34
89	11-甲基-戊二烷	0.03
90	11-甲基三烯	0.04
91	角鲨烷	0.11
92	3-甲基十七烷	0.17
93	2-甲基十六烷	0.19
94	(E)-3-亚丁基-4,5-二氢-1(3H)-异苯并呋喃酮	0.13
95	苯甲酸苄酯	9.26
96	对苯二甲酸二丁酯	0.04
97	苯乙酸苯乙酯	11.26
98	棕榈酸	1.72
99	N-十八环己烷	0.09
100	棕榈酸乙酯	0.37
101	15-甲基壬烷	0.06
102	3-甲基-6-(1-甲基亚乙基)环己-2-烯-1-酮	0.19
103	二十八醇	0.09

续表

序号	化合物名称	相对含量/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )
104	顺式-11,14-二十碳二烯酸甲酯	0.39
105	肉桂酸苄酯	2.86
106	亚油酸乙酯	1.13
107	油酸乙酯	1.07
108	硬脂酸乙酯	0.17
109	芥酸酰胺	2.85
110	7-乙基-1,4a,7-三甲基-3,4,5,6,8,9,10, 10a-八氢-2H-菲-1-羧酸酯	0.32
111	1-菲羧酸	0.04
112	油酰胺	0.44

SDE 法萃取料液,得到的挥发性物质中相对含量最高的为醛类,其次是酯类和醇类。料液中致香成分含量较高的主要有紫苏醛、薄荷脑、紫苏萜、苯乙酸苯乙酯、苯甲酸苄酯等。料液共检测出 112 种挥发性化合物,其中 40 种具有明确香气特征,包括 3 种脂肪族化合物(己酸、庚酸、正戊酸)、10 种萜烯及衍生物(长叶烯、桉树醇、*L*-薄荷醇、薄荷脑、松油醇、 $\gamma$ -萜品醇、反式-橙花叔醇、蓝桉醇、紫苏萜、萜品油烯)、3 种芳香族化合物( $\beta$ -苯乙醇、苯甲醇、2-甲氧基-5-(丙-2-烯-1-基)苯酚)、4 种杂环化合物(2-乙酰基咪唑、2,3-二甲基吡嗪、2-甲氧基-3-甲基吡嗪、2,3,5-三甲基吡嗪)、8 种醛酮类化合物(糠醛、3-甲基-1,2-环戊二酮、苯乙酮、紫苏醛、 $\beta$ -突厥酮、(*E*)- $\beta$ -紫罗兰酮、 $\beta$ -大马士酮、3-甲基-6-(1-甲基亚乙基)环己-2-烯-1-酮)、11 种酯类化合物(丁酸乙酯、醋酸丁酯、2-甲基丁酸乙酯、异戊酸乙酯、苯乙酸乙酯、乙酸桂酯、异戊酸异戊酯、2-甲基丁酸-2-甲基丁酯、肉桂酸苄酯、亚油酸乙酯、油酸乙酯)和 1 种其他重要香气成分[(*E*)-3-亚丁基-4,5-二氢-1(3*H*)-异苯并呋喃酮]。

比较 LLE、SDE、HS-SPME 3 种前处理方法对真龙牌卷烟加香料液挥发性成分的提取效果。SDE 法在经萃取时间条件优化后,得出挥发性成分种类有明显增加,尤其是高沸点组分(如烷烃类、酯类、醇类)的提取更具有优势。而 HS-SPME 法对酸类和酚类等低沸点成分更加敏感,与 SDE 法在化合物种类上呈现出互补。LLE 法经过萃取溶剂等条件优化后萃取效果有所提升,但得出的化合物种类低于 SDE 法与 HS-SPME 法。所以综合来看,SDE 法因为它对高沸点呈香物质(醇类、醛类和酮类)的释放程度较高,所以更加适用于卷烟加香料液的分析,而

HS-SPME 法则可以作为辅助手段来补充料液中酚类等物质的检测。

同时蒸馏萃取法是目前烟草行业内使用较多的一种香味成分提取方法,钟洪祥<sup>[20]</sup>通过 SDE 并且结合 GC-MS 分析烟用浸膏,发现 SDE 法对中性香味成分的定性定量分析具有较高的准确性,尤其适用于复杂基质的样本。这与本研究结果显示的同时蒸馏萃取更能反应料液挥发性成分具有相对一致性。而孙正光等<sup>[21]</sup>在加拿大与云南烟叶中性香味成分分析中使用了同时蒸馏萃取和液液萃取法,两种前处理方法共同鉴定出中性香味成分。在此基础上,曲国福等<sup>[22]</sup>比较 SDE 与 HS-SPME 时指出,SDE 因高温蒸馏特性可有效释放热稳定性较高的萜烯类化合物,这对成分较为复杂的卷烟加香料液使用 SDE 法能更好提取出挥发性成分奠定出理论依据。但同时蒸馏萃取方法操作繁琐,耗时较长,溶剂消耗量大,在提取过程中可能会在糖类、氨基酸之间发生美拉德反应,使副产物增多,不利于组分的定量分析。这些问题也为该香味物质检测技术的标准化带来挑战<sup>[23]</sup>。

### 3 结论

通过对比 LLE、SDE、HS-SPME 这 3 种不同前处理方法,发现 LLE 法处理时间短,萃取物质种类最少;HS-SPME 法萃取物质含量较低,萃取物质种类中等,但其中主要呈香物质(酯类、醇类、醛类和酮类)相对含量仅有  $8.47 \mu\text{g/g}$ ;SDE 法萃取物质含量中等,萃取化合物种类最为丰富(112 种),且其中主要呈香物质(酯类、醇类、醛类和酮类)相对含量高达  $97.96 \mu\text{g/g}$ ,故 SDE 法是萃取卷烟加香料液挥发性成分的最佳前处理方法。

### 参考文献

- [1] 杨雪燕,冯萍,田飞宇,等.烟用香精香料指纹图谱的数据分析方法研究进展[J].香料香精化妆品,2025,(3):38-42.
- [2] 杨鹏飞,张增辉,何春雨,等.基于分子感官科学的烟用香精关键香气活性成分分析[J].轻工学报,2021,36(2):34-42.
- [3] 惠康进,甘学文,陈晶波,等.烟用香精的气相色谱-质谱监控[J].烟草科技,2004,(9):27-28.
- [4] 刘飞.气相色谱-质谱联用技术在食品分析中的应用探讨[J].现代食品,2020,(11):167-168.
- [5] Cai J B, Liu B Z, Ling P, et al. Analysis of free and bound volatiles by gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry in uncased and cased tobaccos[J]. Journal of Chromatography A, 2002,947(2):267-275.

(下转第 183 页)