

气相色谱-质谱联用法测定烟草制品中13种凉味剂

罗彦波¹, 武益乾¹, 陈小静¹, 韦静莹¹, 许蔼飞², 韦入丹², 姜兴益¹,
李翔宇¹, 张洪非¹, 朱风鹏¹, 朱 静^{2*}, 庞永强^{1*}

(1. 国家烟草质量监督检验中心, 河南 郑州 450001; 2. 广西中烟工业有限责任公司, 广西 南宁 530001)

摘要: 该研究通过色谱柱选择、程序升温条件优化和卷烟提取方法考察, 建立了气相色谱-质谱同时检测烟草制品中13种凉味剂的方法, 并实现了凉味剂烟气与烟支含量比的测试。样品(裁剪后的卷烟和捕集有主流烟气粒相物的滤片)经50 mL甲醇振荡提取40 min, 使用HP-INNOWAX色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)分离, 在选择离子监测模式下以内标法定量。结果表明, 13种凉味剂可在14 min内实现良好分离, 检出限和定量下限分别为0.004~0.127 μg/mL和0.013~0.425 μg/mL。胡椒酮和N-(乙氧羰基甲基)-对烷-3-甲酰胺在0.90~90 μg/mL, 其余11种目标物在0.1~20 μg/mL范围内线性关系良好, r^2 为0.993 9~0.999 9。实际样品在不同加标水平下, 13种凉味剂的回收率为90.4%~116%, 日内($n=5$)和日间($n=3$)相对标准偏差分别小于6.6%和7.3%。将该方法用于6种代表性卷烟的检测, 在实际样品中检测到8种凉味剂。凉味剂烟气与烟支含量比为1.01%~18.14%。该方法分析的目标物数量多、简单快捷、灵敏准确, 适合不同品牌烟草制品中凉味剂分析, 可为产品设计研发、配方维护和品质评价提供技术支撑。

关键词: 气相色谱-质谱; 凉味剂; 卷烟; 烟气与烟支含量比

中图分类号: O657.7; TS41.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4957(2026)11-0001-07

Determination of 13 Cooling Agents in Tobacco Products by Gas Chromatography-Mass Spectrometry

LUO Yan-bo¹, WU Yi-qian¹, CHEN Xiao-jing¹, WEI Jing-ying¹, XU Ai-fei², WEI Ru-dan²,
JIANG Xing-yi¹, LI Xiang-yu¹, ZHANG Hong-fei¹, ZHU Feng-peng¹,
ZHU Jing^{2*}, PANG Yong-qiang^{1*}

(1. China National Tobacco Quality Supervision and Test Center, Zhengzhou 450001, China; 2. China Tobacco Guangxi Industrial Co., Ltd., Nanning 530001, China)

Abstract: The gas chromatography-mass spectrometry method was established to quantitatively determine 13 cooling agents in tobacco products by investigating several parameters, including the chromatographic column, oven-programmed temperature, and cigarette-extraction method. Moreover, the ratio of mainstream smoke to cigarette for cooling agents was tested. The samples (cut cigarettes and glass fiber filters containing cigarette mainstream smoke particulate matter) were extracted with 50 mL of methanol for 40 min by shaking. Separation was performed on an HP-INNOWAX column (30 m × 0.25 mm i. d., film thickness 0.25 μm), and quantitative determination was performed in selective ion-monitoring mode using the internal standard method. The results show that 13 cooling agents can be satisfactorily separated within 14 min, and the limits of detection and limits of quantitation ranged from 0.004–0.127 μg/mL and 0.013–0.425 μg/mL, respectively. Piperitone and N-[(ethoxycarbonyl) methyl]-*p*-menthane-3-carboxamide showed good linearity within the range of 0.90–90 μg/mL, and the remaining 11 target analytes had good linearity within the range of 0.1–20 μg/mL, with correlation coefficients (r^2) of 0.993 9–0.999 9. The recoveries of 13 cooling agents were in the range of 90.4%–116% at different spiked levels for real samples, with intra-day ($n=5$) and inter-day ($n=3$) relative standard deviations lower than 6.6% and 7.3%, respectively. The developed method was applied to determine six representative cigarettes, and eight cooling agents were

收稿日期: 2026-05-12; 修回日期: 2026-07-09

基金项目: 河南省科技攻关项目(242102320268)

* 通讯作者: 朱 静, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 烟草化学, E-mail: zhujingqqq@126.com;
庞永强, 硕士, 研究员, 研究方向: 烟草化学, E-mail: pangyq2726@163.com

detected in real samples. The ratio of mainstream smoke to cigarette for cooling agents was 1.01%–18.14%. With the advantages of several targeted analytes, simple operation, high sensitivity, and high accuracy, the proposed method is suitable for the analysis of cooling agents in tobacco products of different brands. This method can provide technical support for product design and development, blend maintenance, and quality evaluation.

Key words: gas chromatography–mass spectrometry; cooling agents; cigarette; ratio of mainstream smoke to cigarette

凉味剂是能产生清凉效果的化学物质的总称,作为功能性添加剂广泛应用于个人护理、食品、医药和烟草等领域^[1]。作为薄荷型卷烟和电子烟的重要添加剂,凉味剂通过带给使用者清凉感来调节产品风味^[2–3],其需求和使用随着薄荷型卷烟和电子烟市场份额的增加日益增大。凉味剂种类繁多,单一凉味剂使用时通常会面临挥发性强和持久性差的问题。为保证凉味剂的使用效果并产品感官品质的稳定性,多种烟用凉味剂通常在烟丝、烟用纸张、滤嘴、烟用爆珠和包装材料中混合掺配使用^[2,4–5]。

为应对日趋复杂的凉味剂使用情况,有必要建立简单快捷、灵敏准确的多种凉味剂分析方法,并对其烟气与烟支含量比进行分析。常用的分析方法主要有气相色谱–火焰离子化法^[6–7]、气相色谱–质谱联用法^[8–11]、液相色谱–质谱联用法^[10]和液相色谱–串联质谱法^[12]。其中,气相色谱–质谱联用法具有抗干扰能力强、灵敏度高、分离能力强等特点,已成为烟草行业分析凉味剂的常用方法^[2–3,5,9,13–16]。目前烟草行业相关报道主要集中在测试卷烟烟丝和再造烟叶^[2,13,15]、烟用纸张^[5,15]、烟支滤嘴和爆珠^[15]等不同卷烟部位或辅材中凉味剂的含量及相关测试。上述不同类型样品中凉味剂的常用提取方法为乙醇超声或振荡提取^[2,5,8,13–16]、异丙醇超声提取^[3]、甲醇超声或振荡提取^[9–10]。文献中目标分析物的数量最多为9种^[13],无法满足多种凉味剂复配使用场景越来越多的测试需求。卷烟在实际燃吸过程中,添加在不同部位的凉味剂不仅相互影响,而且可能同时转移至卷烟主流烟气中^[15],因此在进行多种复配凉味剂烟气与烟支含量比测试时有必要针对整支卷烟建立凉味剂的分析方法。

本研究以整支卷烟为研究对象,在优化的色谱分离和样品前处理条件下,建立了气相色谱–质谱检测13种凉味剂的分析方法,并成功测试了整支卷烟中凉味剂的烟气与烟支含量比,可为烟草相关产品中多种凉味剂含量分析提供借鉴。

1 实验部分

1.1 仪器、试剂与材料

GC8890–MSD5977B型气相色谱–质谱联用仪(配7693A自动进样器,美国Agilent公司),SM450型20通道吸烟机(英国Cerulean公司),BSA224S–CW电子天平(感量:0.0001 g,德国Sartorius公司),SB25–12DTD超声波清洗机(宁波新芝生物科技股份有限公司),VM800多管旋涡混匀仪(群安实验仪器有限公司)。

乳酸薄荷酯、乙酸薄荷酯、异胡薄荷醇、对薄荷烷–3,8-二醇、薄荷酮甘油缩酮、N,2,3-三甲基–2-异丙基丁酰胺(WS–23)、N-乙基–2-异丙基–5-甲基环己烷甲酰胺(WS–3)、N,2-二乙基–2-(异丙基)–3-甲基丁酰胺(WS–27)、N-(乙氧羰基甲基)–对烷–3-甲酰胺(WS–5)标准物质(≥95%,上海安谱实验科技股份有限公司),薄荷醇、异薄荷酮、薄荷酮、胡椒酮、苯乙酮–D₈标准品(≥95.7%,西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司),2,2-联吡啶–D₈标准品(99.2%,加拿大C/D/N ISOTopes公司)。甲醇、乙醇、异丙醇、乙酸乙酯、丙酮、二氯甲烷、环己烷均为色谱纯,购自上海科醚化学科技有限公司。毛细管气相色谱柱DB–5MS(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)和HP–INNOWAX(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)购自安捷伦科技(中国)有限公司。卷烟样品购自线下实体销售网点,剑桥滤片(直径44 mm)由德国Borgwaldt KC公司提供。

1.2 实验条件

1.2.1 标准溶液的配制 分别精密称取13种凉味剂标准品,以甲醇为溶剂配制标准储备液(质量浓度为1 mg/mL)。精密称取苯乙酮–D₈和2,2-联吡啶–D₈,以甲醇为溶剂配制内标溶液(质量浓度为0.2 mg/mL)。准确吸取13种标准储备液和0.1 mL内标溶液,用甲醇配制成胡椒酮和WS–5质量浓度为0.90~

90 $\mu\text{g/mL}$ 、其余 11 种凉味剂质量浓度为 0.1~20 $\mu\text{g/mL}$ 的系列标准工作溶液。以上溶液于 0~4 $^{\circ}\text{C}$ 避光保存。

1.2.2 样品前处理 卷烟样品：将 2 支卷烟(含烟丝、烟用纸张和滤嘴等)裁剪为 1.0 cm 左右的小段(若滤嘴中含爆珠，则捏碎)，置于具塞玻璃锥形瓶中，再加入 0.50 mL 内标溶液和 50 mL 甲醇，用涡旋混匀仪以 2 000 r/min 提取 40 min，用 0.22 μm 有机相滤膜过滤上清液至色谱瓶中，进行气相色谱-质谱分析。当样品溶液中目标化合物浓度大于标准工作溶液的最大浓度时，用含内标的甲醇溶液稀释后重新分析。

卷烟主流烟气粒相物：捏破爆珠(若含有)的卷烟按 GB/T 19609^[17] 规定条件用直线型吸烟机抽吸，将捕集有 5 支卷烟主流烟气总粒相物的剑桥滤片置于具塞玻璃锥形瓶中，加入 0.20 mL 内标溶液和 20 mL 甲醇，以下操作同卷烟样品。

1.2.3 气相色谱-质谱条件 气相色谱条件：色谱柱：HP-INNOWAX(30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μm)；程序升温：60 $^{\circ}\text{C}$ (保持 1.0 min)，以 20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 240 $^{\circ}\text{C}$ (保持 6.0 min)；进样模式：不分流；进样量：1.0 μL ；溶剂延迟时间：5.5 min；载气：高纯 He；流速：1.0 mL/min；进样口温度：250 $^{\circ}\text{C}$ 。

质谱条件：EI 电离源；电离电压：70 eV；离子源温度：230 $^{\circ}\text{C}$ ；传输线温度：250 $^{\circ}\text{C}$ ；选择离子扫描，13 种目标分析物和 2 种内标在上述条件下的保留时间和监测离子质荷比如表 1 所示。

表 1 目标分析物及内标化合物的保留时间、定性离子和定量离子

Table 1 Retention times, qualitative ions, and quantitative ions of targeted analytes and internal standard compounds

Analyte	Retention time/min	Quantitative ion(m/z)	Qualitative ion(m/z)
Menthone(薄荷酮)	5.93	112	69, 154
Isomenthone(异薄荷酮)	5.99	112	139, 55
Menthyl acetate(乙酸薄荷酯)	6.54	95	43, 81
Isopulegol(异胡薄荷醇)	6.48	81	67, 121
Menthol(薄荷醇)	6.94	71	81, 95
Piperitone(胡椒酮)	7.39	82	110, 95
N, 2, 3-Trimethyl-2-isopropylbutamide(WS-23)	8.16	114	129, 57
N, 2-Diethyl-2-(isopropyl)-3-methylbutyramide(WS-27)	8.38	142	156, 157
Menthyl lactate(乳酸薄荷酯)	8.89	83	55, 69
p-Menthane-3, 8-diol(对薄荷烷-3, 8-二醇)	9.38	81	96, 59
N-Ethyl-p-menthane-3-carboxamide(WS-3)	10.18	100	87, 168
Menthone glycerin acetal(薄荷酮甘油缩酮)	10.38	143	171, 69
N-[(Ethoxycarbonyl)methyl]-p-menthane-3-carboxamide(WS-5)	13.91	131	90, 55
Acetophenone- D_8 (苯乙酮- D_8)	6.98	110	82, 128
2'-2-Dipyridyl- D_8 (2'-2-联吡啶- D_8)	10.13	164	162, 134

2 结果与讨论

2.1 色谱条件优化

目前文献报道的分离凉味剂的色谱柱主要有 DB-5MS^[2,13] 和 HP-INNOWAX^[3,16]。为得到理想的分离效果，本文采用混合标准溶液考察了上述色谱柱的分离效果。结果显示，由于异胡薄荷醇和薄荷酮、异薄荷酮和薄荷醇、WS-23 和乙酸薄荷酯的沸点分别为 90 $^{\circ}\text{C}$ 、216 $^{\circ}\text{C}$ 和 230 $^{\circ}\text{C}$ 左右，因此使用 DB-5MS(30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μm) 色谱柱，在 80 $^{\circ}\text{C}$ (保持 1.0 min)，以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 280 $^{\circ}\text{C}$ (保持 3.0 min) 的升温条件下，上述 3 对化合物未能实现基线分离。当使用 HP-INNOWAX(30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μm) 色谱柱，在 80 $^{\circ}\text{C}$ (保持 1.0 min)，以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 240 $^{\circ}\text{C}$ (保持 3.0 min) 的升温条件下，除异胡薄荷醇和乙酸薄荷酯的分离效果稍差外，其余化合物均可在 20 min 内实现较好分离，因此使用上述条件进行后续实验。

进一步考察了色谱柱初始温度和升温速率等参数。结果显示，当初始温度为 100、80、60 $^{\circ}\text{C}$ 时，化合物的峰形变差或无法基线分离的化合物数量依次为 7 个、4 个和 0 个。可能是因为化合物在柱头的低温冷凝减少了扩散。因此选择色谱柱的初始温度为 60 $^{\circ}\text{C}$ 。当升温速率为 10、15、20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 时，凉味剂 WS-5 的保留时间从 22 min 减少为 14 min。乙酸薄荷酯和异胡薄荷醇、2'-2-联吡啶- D_8 和 WS-3 的分离效果随升温速率提高而不断降低，因此未考虑更快的升温速率。因此本文优化的程序升温条件：初

始温度 60 °C(保持 1.0 min), 以 20 °C/min 速率升至 240 °C(保持 6.0 min)。在该条件下, 13 种目标物和 2 种内标物的峰形尖锐, 可以在 14 min 内实现良好分离(如图 1)。

2.2 提取溶剂的选择

分别采用甲醇、乙醇、异丙醇、乙酸乙酯、丙酮、二氯甲烷和环己烷作为提取溶剂, 对空白卷烟样品进行提取效果考察, 结果如图 2 所示。该卷烟中共检出 7 种凉味剂, 不同溶剂对异薄荷酮、薄荷酮、薄荷醇和胡椒酮的提取效果相当, 但甲醇对乙酸薄荷酯、WS-23 和薄荷酮甘油缩酮的提取效果优于其他溶剂。综合考虑, 选择甲醇为提取溶剂。

2.3 提取时间和提取方式的选择

以 50 mL 甲醇为提取溶剂, 考察了超声或振荡 2 种提取方式在不同时间(10、20、30、40、50、60 min)下对 2 支卷烟样品的提取效果。结果显示, 提取时间达到 40 min 时所有化合物的含量最大, 且提取时间继续增加时化合物的含量变化不大, 因此选择提取时间为 40 min。由于超声提取过程能量较高, 为避免长时间超声引起溶剂和目标物损失^[2], 选择振荡提取。

2.4 方法学考察

2.4.1 线性关系、检出限与定量下限 将标准工作溶液按照“1.2”方法测定, 以异薄荷酮、薄荷酮、乙酸薄荷酯、异薄荷醇和薄荷醇 5 种凉味剂的峰面积与苯乙酮-D₈的峰面积之比为纵坐标, 其余 8 种凉味剂以各自的峰面积与 2'-联吡啶-D₈的峰面积之比为纵坐标, 以各组分的质量浓度为横坐标绘制工作曲线, 结果见表 2。结果显示, 胡椒酮和 N-(乙氧羰基甲基)-对烷-3-甲酰胺在 0.90~90 μg/mL、其余 11 种目标物在 0.1~20 μg/mL 范围内线性关系良好, r^2 为 0.993 9~0.999 9。以 3 和 10 倍信噪比分别计算检出限(LOD)和定量下限(LOQ), 各组分的 LOD 和 LOQ 分别为 0.004~0.127 μg/mL 和 0.013~0.425 μg/mL。

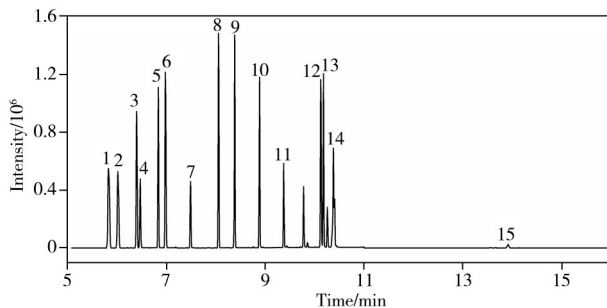


图 1 混合标准溶液的色谱图

Fig. 1 Chromatograms of the mixed standard solution

1. menthone, 2. isomenthone, 3. menthyl acetate, 4. isopulegol, 5. menthol, 6. acetophenone-D₈(IS1), 7. piperitone, 8. WS-23, 9. WS-27, 10. menthyl lactate, 11. p-menthane-3, 8-diol, 12. 2'-dipyridyl-D₈(IS2), 13. WS-3, 14. menthone glycerin acetal, and 15. WS-5

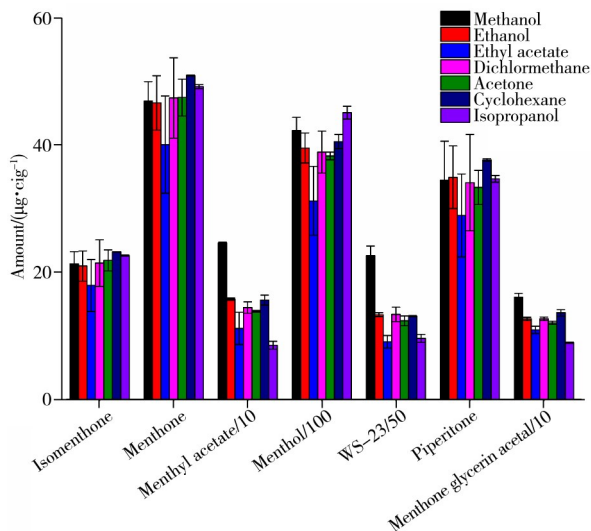


图 2 采用实际卷烟样品得到的提取溶剂优化结果

Fig. 2 Extraction solvent optimization results obtained from real cigarette samples

表 2 目标分析物的线性范围、相关系数、检出限和定量下限

Table 2 Linearity ranges, correlation coefficients, limits of detection, and limits of quantification for the targeted analytes

Analyte	Linear range (μg/mL)	r^2	LOD / (μg·mL ⁻¹)	LOQ / (μg·mL ⁻¹)
Menthone	0.1~20	0.999 5	0.012	0.040
Isomenthone	0.1~20	0.999 5	0.012	0.040
Menthyl acetate	0.1~20	0.999 8	0.006	0.021
Isopulegol	0.1~20	0.999 9	0.014	0.046
Menthol	0.1~20	0.999 9	0.006	0.019
Piperitone	0.90~90	0.999 4	0.110	0.366
WS-23	0.1~20	0.997 7	0.004	0.013
WS-27	0.1~20	0.997 8	0.017	0.057
Menthyl lactate	0.1~20	0.999 2	0.007	0.022
p-Menthane-3, 8-diol	0.1~20	0.998 7	0.014	0.048
WS-3	0.1~20	0.999 1	0.006	0.022
Menthone glycerin acetal	0.1~20	0.998 7	0.012	0.039
WS-5	0.90~90	0.993 9	0.127	0.425

2.4.2 回收率和重复性 为验证所建立方法的准确性，以某国产卷烟E为对象，分别进行卷烟烟支和卷烟烟气加标实验。以目标分析物标准工作溶液最低浓度的2、20和100倍(胡椒酮和WS-5为1、10和50倍)为加标浓度。将实测目标物含量扣除空白样品中含量(烟支和烟气中薄荷醇的含量分别为4.53 μg/cig和0.47 μg/cig，其余化合物未检出)后与添加量相比为回收率。如表3所示，不同加标浓度下卷烟和烟气样品中13种凉味剂的回收率为90.4%~116%，证实了方法的准确性满足实际样品中凉味剂分析要求。

表3 方法的回收率(%)
Table 3 Method recoveries(%)

Analyte	Cigarette spiked concentration			Smoke spiked concentration		
	Low	Medium	High	Low	Medium	High
Menthone	99.0	98.8	97.9	109	104	101
Isomenthone	106	102	99.0	103	110	104
Menthyl acetate	102	101	99.2	114	105	100
Isopulegol	99.8	97.5	96.7	97.2	98.2	99.8
Menthol	94.4	105	96.6	99.6	102	99.7
Piperitone	95.1	100	92.1	95.9	99.2	99.2
WS-23	101	96.9	95.5	110	109	104
WS-27	92.6	93.5	93.7	104	105	103
Menthyl lactate	104	103	104	115	116	113
p-Menthane-3, 8-diol	94.6	90.4	91.4	112	103	104
WS-3	102	103	105	100	104	103
Menthone glycerin acetal	97.6	102	101	112	107	106
WS-5	99.0	99.5	97.7	106	105	103

对3种加标浓度的卷烟烟支和卷烟烟气样品进行连续分析，验证方法的重复性。1天内重复5次样品前处理和气相色谱-质谱分析，得到日内相对标准偏差；连续3天实验得到日间相对标准偏差。结果显示，13种凉味剂的日内及日间相对标准偏差分别小于6.6%和7.3%，说明方法的重复性可以满足凉味剂检测需求。

2.5 实际样品检测

为进一步验证所建方法在实际样品中凉味剂分析的应用效果，对采购的6种卷烟烟支和相应的卷烟主流烟气样品进行分析，有检出化合物的结果如表4所示。实际样品的典型色谱图如图3所示，基质不干扰目标分析物的定量，说明本方法的选择性良好。

表4 实际样品分析结果(μg/cig)
Table 4 Results of real sample analysis(μg/cig)

Analyte	Sample A		Sample B		Sample C		Sample D		Sample E		Sample F	
	Cigarette	Smoke	Cigarette	Smoke	Cigarette	Smoke	Cigarette	Smoke	Cigarette	Smoke	Cigarette	Smoke
Menthone	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	45.02	5.37
Isomenthone	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	20.15	2.59
Menthyl acetate	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	198.64	9.25
Menthol	255.15	7.73	47.67	0.91	3.95	0.52	70.03	1.60	4.53	0.47	3 826.82	383.73
Piperitone	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	35.24	6.39
WS-23	68.87	0.70	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1 998.55	223.96
WS-3	16.51	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Menthone glycerin acetal	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	148.12	21.63

ND; not detected

由表4可见，所有烟支样品中共检出8种凉味剂，分别为异薄荷酮、薄荷酮、乙酸薄荷酯、薄荷醇、WS-23、胡椒酮、薄荷酮甘油缩酮和WS-3。其中F样品是含凉味剂种类和含量最多的样品，薄荷醇是检出率最高的化合物。

2.6 凉味剂烟气与烟支含量比

根据表4结果，可以得到凉味剂烟气与烟支含量比(见表5)。由于烟支设计参数和凉味剂本身理化性质不同，同一样品中不同凉味剂或不同样品中相同凉味剂的烟气与烟支含量比均有差异。其中F样品烟支中所含凉味剂在主流烟气均有检出，所有样品烟支和主流烟气中均能检测到薄荷醇。传统卷烟

薄荷酮、乙酸薄荷酯和薄荷醇的烟气与烟支含量比(11.94%、4.66%和1.91%~13.23%)均低于电加热卷烟中的比值(13.21%~40.00%、15.73%~41.67%和19.30%~42.53%),可能与传统卷烟的滤嘴截留、高温燃烧时目标化合物的热分解等因素有关^[13]。

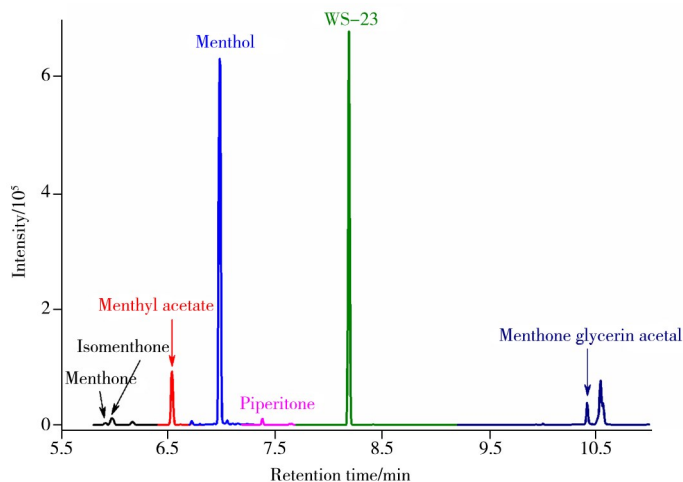


图3 实际样品的典型色谱图

Fig. 3 Typical chromatograms of real samples

表5 凉味剂烟气与烟支含量比(%)

Table 5 Ratio of mainstream smoke to cigarette for cooling agents(%)

Analyte	Sample A	Sample B	Sample C	Sample D	Sample E	Sample F
Menthone	/	/	/	/	/	11.94
Isomenthone	/	/	/	/	/	12.87
Menthyl acetate	/	/	/	/	/	4.66
Menthol	3.03	1.91	13.23	2.29	10.44	10.03
Piperitone	/	/	/	/	/	18.14
WS-23	1.01	/	/	/	/	11.21
WS-3	0	/	/	/	/	/
Menthone glycerin acetal	/	/	/	/	/	14.60

"/" indicates that the cooling agent was not detected in these cigarettes.

3 结 论

本研究在优化色谱分离条件及考察样品前处理参数的基础上,建立了烟草制品中13种凉味剂的气相色谱-质谱分析方法。该方法适用范围广、操作简单,选择性强,灵敏准确。用该方法成功实现了卷烟烟支和烟气中凉味剂的含量检测,并应用于烟气与烟支凉味剂含量比分析。该研究不仅为相关产品的设计研发和配方维护提供技术支持,也对产品的品质评价和安全性评估具有重要意义。

参考文献:

- [1] Leffingwell J, Rowsell D G. *Perfum. Flavor.*, **2014**, 39: 34-43.
- [2] Wang Z Y, Han J M, Yuan D L, Zheng X D, Shang S Z, Li Z Q, Ren D B, Yi L Z, Tang J G. *Tob. Sci. Technol.* (王紫燕, 韩敬美, 袁大林, 郑绪东, 尚善斋, 李志强, 任达兵, 易伦朝, 汤建国. 烟草科技), **2020**, 53(6): 57-63.
- [3] Liu X J, Sun H F, Lü Q, Xing Z S, Wang C, Zhang L, Liu X J. *Light Ind. Sci. Technol.* (刘显军, 孙海峰, 吕乔, 邢梓烁, 王冲, 张亮, 刘贤杰. 轻工科技), **2023**, 39(4): 12-14, 58.
- [4] Wang Z Y, Han J M, Lei P, Mao D S, Ren D B, Yi L Z, Tang J G. *Food Mach.* (王紫燕, 韩敬美, 雷萍, 冒德寿, 任达兵, 易伦朝, 汤建国. 食品与机械), **2019**, (9): 204-210.
- [5] Ni H P, Feng Y C, Guo D R, Wang X B, Li T, Feng D D. *Packag. Eng.* (倪和朋, 冯衍闯, 郭丁荣, 王晓斌, 李腾, 冯懂懂. 包装工程), **2022**, 43(15): 226-233.
- [6] Qian X P, Zhao Y Z, Li Z H. *Chin. J. Chromatogr.* (钱小平, 赵远征, 李珠华. 色谱), **1993**, 18: 267-269.
- [7] Yan Z, Liu P Y, Zhang J S, Wang C N, Feng T Z, Zhou W Y. *Chin. J. Chromatogr.* (阎正, 刘鹏岩, 张建申, 王长宁, 冯天铸, 周文英. 色谱), **1995**, 16: 411-413.

- [8] Lin C, Wang L P, Wu L T, Cai D C, Zhang F Y, Lin Z P, Fang L, Li X Y, Zhang Z J. *J. Instrum. Anal.* (林晨, 王李平, 吴凌涛, 蔡大川, 张方圆, 林泽鹏, 方丽, 李雪莹, 张志军. 分析测试学报), **2016**, 35(8): 1010-1014.
- [9] Chen T H, Hua C F, Ma C J, Peng B, Shang P P, Zhao G, Yan Q P, Xie F W. *Front. Chem.*, **2025**, 13: 1699107.
- [10] Moldoveanu S C, Bussey R O. *Contrib. Tob. Nicotine Res.*, **2023**, 32(1): 26-33.
- [11] Reger L, Moß J, Hahn H, Hahn J. *Contrib. Tob. Nicotine Res.*, **2018**, 28(2): 93-102.
- [12] Aszyk J, Kubica P, Kot-Wasik A, Namieśnik J, Wasik A. *J. Chromatogr. A*, **2017**, 1519: 45-54.
- [13] Wang Z Y, Han J M, Yuan D L, Zheng X D, Lei P, Li Z Q, Ren D B, Yi L Z, Tang J G. *Tob. Sci. Technol.* (王紫燕, 韩敬美, 袁大林, 郑绪东, 雷萍, 李志强, 任达兵, 易伦朝, 汤建国. 烟草科技), **2020**, 53(10): 46-55.
- [14] Hongta Tobacco(Group) Co., Ltd. *China Patent* (红塔烟草(集团)有限责任公司. 中国专利), 202210321815.4. [2022-03-25].
- [15] Liu X C, Lan H Q, Lin Y, Li Q L, Lian F Y, Zheng Q X, Ye Z L, Zhang T G, Su M L. *Acta Tab. Sin.* (刘秀彩, 蓝洪桥, 林艳, 李巧灵, 连芬燕, 郑泉兴, 叶仲力, 张廷贵, 苏明亮. 中国烟草学报), **2020**, 26: 25-31.
- [16] Sun H F, Lü Q, Chen J B, Xie T. The 2017 Academic Conference of the China Tobacco Society, Chengdu(孙海峰, 吕乔, 陈嘉彬, 谢涛. 中国烟草学会 2017 年学术年会, 成都), **2017**.
- [17] GB/T 19609-2024. *Cigarettes—Determination of Total and Nicotine-Free Dry Particulate Matter Using a Routine Analytical Smoking Machine. National Standards of the People's Republic of China*(卷烟 用常规分析用吸烟机测定总粒相物和焦油. 中华人民共和国国家标准).

(责任编辑：丁 岩)