



孙学锋,师东方,金强,等. 加热卷烟用薄荷香精关键香气分析及其相互作用研究[J]. 轻工学报,2026,41(5):119-131.
Sun X F, Shi D F, Jin Q, et al. Study on key aroma analysis and interactions of peppermint flavor for heated tobacco products[J]. Journal of Light Industry, 2026, 41(5): 119-131.
DOI: 10. 12187/2026. 05. 011

加热卷烟用薄荷香精关键香气分析及其相互作用研究

孙学锋¹, 师东方¹, 金强¹, 冀研敏¹, 朱远洋¹, 朱鲜艳¹, 朱海波¹, 郑晓云²

1. 南通烟滤嘴有限责任公司, 江苏 南通 226014;
2. 江苏中烟工业有限责任公司, 江苏 南京 210019

摘要:【目的】探索加热卷烟用薄荷香精关键香气成分及以薄荷香韵为主体的香气物质间相互作用。【方法】采用气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术,结合感官评价、香气活力值(OAV)、偏最小二乘判别分析(PLS-DA)、偏最小二乘回归(PLSR)分析加热卷烟用薄荷香精的关键香气成分,并利用S型曲线法与添加实验探究香气成分间相互作用及其对加热卷烟感官特征的影响。【结果】加热卷烟用薄荷香精在薄荷香、青香和木香属性具有显著性差异($P<0.05$);共检测出48种挥发性香气成分,有25种($VIP>1$)对薄荷香精风格特征具有重要影响的挥发性物质,并筛选出罗勒烯、松油醇等7种关键香气成分薄荷醇、乙酸薄荷酯、薄荷酮和香芹酮其中,对薄荷香韵属性具有重要贡献为薄荷醇/薄荷酮、薄荷醇和香芹酮之间具有明显的协同效应,使加热卷烟薄荷香气特征分别增强1.33倍、1.36倍。【结论】不同加热卷烟用薄荷香精香气风格存在一定差异,呈薄荷香韵的关键香气成分间具有协同增效作用,其对加热卷烟感官特征有重要影响。

关键词:加热卷烟;薄荷香精;感官特征;相关性;相互作用

中图分类号:TS411 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-1553(2026)05-0119-13

0 引言

薄荷型香精具有明显的薄荷风味、强劲的凉感和清新的香气特征,在牙膏、饮料、日用化妆品、烟草等产品中被广泛应用^[1-3]。薄荷型香精或薄荷功能性香基模块化学体系较为复杂,且天然薄荷香精品质不稳定,因此工业生产中普遍采用人工调配的薄荷香精^[4-5]。在各类薄荷加香产品中,尽管所加香精以薄荷香气特征为主体,但由于产品类别和开

发需求不同,其中青香、甜香、花香等其他附属风味上亦有不同程度的差异,致使薄荷加香产品具有丰富的感官风格特征,以适配不同消费者的喜好^[6]。在烟草调香中,薄荷口味烟草制品能为消费者带来独特的感官刺激和心理愉悦感,拥有较高的用户黏性^[7-8]。

加热卷烟是一类新型烟草制品,主要通过低温加热烟草材料,释放烟香,满足消费者吸食需求^[9-10]。与传统卷烟相似,薄荷口味加热卷烟是目

收稿日期:2025-01-06;修回日期:2025-03-03;出版日期:2026-10-15

基金项目:中国烟草总公司重点研发项目(110202402006);江苏中烟工业有限责任公司科技项目(202550)

作者简介:孙学锋(1995—),男,安徽省阜阳市人,南通烟滤嘴有限责任公司工程师,主要研究方向为烟用香精香料分析及应用,E-mail:1256999498@qq.com

通信作者:郑晓云(1972—),男,江苏省南京市人,江苏中烟工业有限责任公司高级工程师,主要研究方向为产品开发和烟用香精香料,E-mail:zhengxy@jszygs.co

前常见且受众较广的异香型产品^[11]。然而,在对不同薄荷香型加热卷烟开展感官评价过程中发现,不同产品的整体感官差异较大,特别是香气特征、抽吸均一性、余味等指标差异明显;此外,在提升产品特征香气强度时,该类加热卷烟还存在一定的共性问题,如提高加香量会导致合成气息重、余味差等品质缺陷^[12-13]。因此,有必要基于薄荷香韵香原料的感官特性及其作用进行研究,例如单体香原料的适宜添加范围、关键成分间所存在的协同、掩盖等感官交互作用^[14]。

目前,薄荷香精在传统卷烟中的应用已有一定的研究基础,如薄荷醇、薄荷酮等香气成分的迁移率、热失重等方面,但其在加热卷烟中的应用研究仍相对较少^[15-17]。另外,在开展香精关键组分鉴定及其相互作用的研究过程中,除了借助多种化学仪器分析手段,感官分析方法在香原料筛选和评价中也具有重要作用^[18-19]。

鉴于此,本文采用气相色谱-质谱联用(GC-MS)仪分析不同薄荷香精的香气成分,结合感官评价及相关性分析,探究烟用薄荷香精的关键香气成分,并通过S型曲线法、香气添加实验研究关键香气成分间的相互作用及对加热卷烟感官属性特征的影响,以期提升加热卷烟感官品质、香原料筛选评价及香精调配理论提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂和仪器

加热卷烟空白样品,南通烟滤嘴有限公司自制烟用薄荷香精20种,河南新桥烟草科技服务有限公司;无水乙醇(纯度 $\geq 99.7\%$),丙二醇(纯度 $\geq 99.0\%$),国药集团化学试剂有限公司;正十七烷(内标,纯度 $>99\%$),美国Sigma公司。

7890B-5977B型GC-MS仪,美国Agilent公司;CP2245型电子天平(感量0.0001g),德国Sartorius公司;HY-5A型涡旋振荡器,常州市万丰仪器制造有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 薄荷香精香气属性测定 采用描述性感官分析对20种烟用薄荷香精样品进行评价。通过香

气属性测定,剔除主体香气非薄荷香的样品,如百香果-薄荷、柠檬-薄荷等复合型香精。样品的属性特征由感官评价小组讨论并确定,分别为青香、木香、花香、果香、药草香和薄荷香^[22]。将待评价的薄荷香精样品用数字随机编码,每个薄荷香精样品称取5.0g,分别保存在总容量为25.0mL、有盖、无气味的透明玻璃样品瓶中,随机排列,依次呈送给评价员进行感官评价测试。其中,在香气感官评价中,每个香气属性以0~9分的强度等级进行划分(0分表示香气无强度或无察觉,5分表示香气中等强度,9分表示香气非常强)。每个样品重复评价3次,结果取平均值。

1.2.2 感官评价 将筛选出的7种薄荷香精分别注射于加热卷烟中,以香气强度、逐口抽吸一致性作为衡量指标,同时为确保加香样品香气特征可明显感知、整体感官较协调舒适,每支注射量为10.0 μ L。在温度(22 $\pm$ 2) $^{\circ}$ C、相对湿度(35 $\pm$ 5)%的恒温恒湿箱中平衡24h后,以《卷烟 第4部分:感官技术要求》(GB 5606.4—2005)^[23]和《卷烟 中式卷烟风格感官评价方法》(YC/T 497—2014)^[24]及加热卷烟感官技术评价要求为依据,对加香加热卷烟样品进行感官评价^[25]。其中,感官质量评价各项指标及得分范围分别为:烟气浓度10~15分、香气特征22~28分、余味15~20分、刺激性15~20分、抽吸一致性8~12分、劲头3~5分。

1.2.3 薄荷香精挥发性成分检测 样品处理:准确称取0.5g薄荷香精于10.0mL容量瓶中,移取10.0 μ L的5mg/mL正十七烷溶液作为内标,加无水乙醇定容至刻度,经涡旋振荡器充分混匀静置后,吸取1.0mL溶液至进样瓶中待测。每个样品平行测定至少3次,结果取平均值。

GC-MS仪分析条件:HP-INNOWax色谱柱(30m $\times$ 0.25mm $\times$ 0.25 μ m);升温程序为初始温度50 $^{\circ}$ C保持3.0min,以5 $^{\circ}$ C/min的速率升温至260 $^{\circ}$ C,保持30.0min;进样量为1.0 μ L;分流比为50:1;进样口温度为250 $^{\circ}$ C;载气为He(纯度 $\geq 99.999\%$);流速为1.0mL/min;溶剂延迟3.5min;电离方式为EI;离子源温度为230 $^{\circ}$ C;传输线温度为280 $^{\circ}$ C;质量扫描范围为30~450amu。

1.2.4 香气活力值(Odor Activity Value,OAV)计算

将7种薄荷香精中挥发性香气成分的相对含量与其嗅觉阈值之比作为该香气化合物的OAV。本部分香气化合物的嗅觉阈值来自参考文献[20–21]。

1.2.5 缺失实验 采用缺失实验确定由OAV分析得到的关键香气成分对薄荷主香韵的贡献程度。将关键香气成分按照香精中实测含量的均值溶解于丙二醇/乙醇的空白基质中,形成对照组模型。每次从对照组模型中逐一遗漏单个化合物或一组化合物,从而制备遗漏模型。通过三点检验法评价样品差异,评价小组由15名经过培训的感官评价员组成,每次为评价员提供一组3个已经编码的试样,其中2个相同,1个不同,要求评价员挑出2个相同的试样。

1.2.6 香气阈值测定、S型曲线法及香气添加实验 香气阈值的测定方法参考《感官分析 方法学 采用三点强迫选择法(3-AFC)测定嗅觉、味觉和风味觉察阈值的一般导则》(GB/T 22366—2022)^[26]。由7名经过培训的感官评价员采用3-AFC进行评价,每一待测化合物至少需要进行10次三点法测试。另外,规定检测概率为50%时所对应浓度为实测阈值。刺激物浓度/响应函数为心理测量函数,符合S型曲线 $[P=1/(1+e^{-Ax})]$,其中 x 为浓度对数值, P 为检测概率。

Feller 加性模型用来评估二元混合物间的相互作用效果。混合物的理论计算概率为 $P(AB)=P(A)+P(B)-P(A)P(B)$,其中 $P(A)$ 为检测到组分A时的概率, $P(B)$ 为检测到组分B时的概率;混合物实际检测概率 $P(AB)$ 通过上述三点法确定。如果混合物实际检测概率低于理论概率,则表示组分间存在抑制作用;实际检测概率高于理论概率,则表示组分间存在某种形式的加成或协同效果;实际检测概率与理论概率相等则表示两者无相互作用。

香气添加实验验证香气成分相互作用对加热卷烟感官属性的影响。其中,对照组香精样品为AR-1模型(23种香气成分按照香精中香气成分的定量结果配制)与单个香气成分的组合,添加实验组为AR-1模型与二元混合物(薄荷醇、薄荷酮、香芹酮和乙酸薄荷酯所形成的二元混合物)的组合。然后采用香味轮廓法对加热卷烟对照组和添加实验组的感官属性进行评价。

1.3 数据处理及分析

采用软件SPSS Statistics version 21(IBM)进行数据分析,通过单因素方差中的邓肯分析方法研究样品间的显著性差异;利用Sigma Plot 12.0软件拟合S型曲线;使用Unscrambler 10.4软件进行风味物质与感官属性之间的偏最小二乘回归(Partial Least Squares Regression,PLSR)分析。

采用SIMCA 14.1进行偏最小二乘判别分析(Partial Least Squares-discriminant Analysis,PLS-DA),其中,因子载荷图用于直观反映每一个变量对样品的贡献程度, Q^2 为累计交叉有效性,其值越大表示模型预测能力越好, R^2 为累计方差值,其值越大则表示模型解释能力越强;置换检验图用于验证模型是否过拟合并评估模型的预测能力;计算变量投影重要性(Variable Importance for the Projection,VIP)用于筛选样品的关键性差异成分。

2 结果与分析

2.1 薄荷香精样品筛选及感官评价结果分析

通过对比不同样品感官评价结果,最终筛选出薄荷香气特征明显、香气风格存在差异,并具有一定代表性的7种加热卷烟用薄荷香精样品,分别命名为BH-1—BH-7。

7种薄荷香精的描述性感官评价雷达图如图1所示(*表示呈显著性差异, $P<0.05$)。由图1可知,7种薄荷香精在青香、木香和薄荷香属性上具有显著性差异($P<0.05$)。其中,样品BH-6和BH-7具有较突出的薄荷主体香气特征和青香特征,样品BH-1具有一定的薄荷香、花香和药草香特征,BH-2和BH-3具有明显的木香特征,BH-5和BH-6具有较强的花香和果香特征,BH-4具有最强的药草香特征;此外,青香和木香是薄荷香精中较重要的香气分路,起修饰和提升薄荷主体香气特征的作用,所测样品在该属性下差异也较突出^[27–28]。花香和果香在样品中无显著差异,但具有这类香气特征的香气化合物具有丰富香气、改善余味和口感等作用^[29]。

对施加薄荷香精的加热卷烟样品进行感官评价,结果表明,添加BH-6和BH-7样品的加热卷烟,

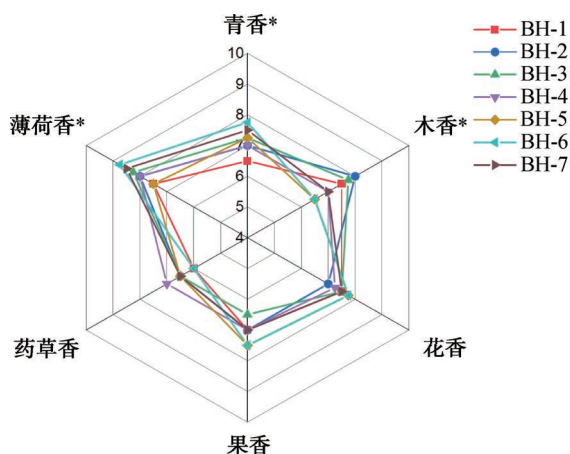


图1 7种薄荷香精的描述性感官评价雷达图

Fig. 1 Descriptive sensory evaluation on radar chart of seven peppermint flavors

具有明显的薄荷香气特征,烟气浓度较大,香气持续性较好,口腔余味干净舒适,略有回甜感;添加BH-2和BH-4样品的加热卷烟,烟香丰富性较弱,香气协调性不佳,抽吸过程中持续性不足;添加BH-3样品的加热卷烟尽管香气强度较大,但余味较差,烟气下沉,并伴有一定苦味等不舒适感。添加BH-1样品的加热卷烟,具有较明显的薄荷香气,烟气浓度较大,但香气丰富性不足,持续性稍差;添加BH-5样品的加热卷烟,具有明显的薄荷香气,烟气飘逸上扬,持续性较好,余味较干净舒适。综合2种感官评价结果可知:薄荷香、青香、花香等属性强度较大的样品在品质评价过程中具有较积极的感官反馈,而木香属性突出或香气不协调的样品可能会给加热卷烟的感官带来一定程度的负面影响。

2.2 薄荷香精GC-MS检测结果分析

采用GC-MS技术从7种薄荷香精中共鉴定出48种挥发性香气成分,这里对主要的30种物质进行分析。薄荷香精主要致香成分分析结果见附表S1,由附表S1可知,样品在香气成分的种类和含量上均有一定的差异。其中,BH-6含有香气成分种类最多,含量最高的成分为薄荷醇($32\ 681.65 \pm 23.45$) $\mu\text{g/g}$),薄荷酮($9\ 472.32 \pm 10.07$) $\mu\text{g/g}$)、乙酸薄荷酯($7\ 966.12 \pm 5.03$) $\mu\text{g/g}$)次之。BH-1、BH-2和BH-4香气成分种类较少。

薄荷醇、薄荷酮和乙酸薄荷酯在各样品中含量均较高,表明7个样品均具有薄荷样特征香气。BH-3

和BH-4含有较多的烯烃类化合物,该类物质主要来源于精油、净油、提取物等天然产物,提供木香和草本气息。BH-6和BH-7含有较高含量的叶醇、乙酸叶醇酯和正己醇,是青香及清甜香韵的主要来源。BH-1、BH-2和BH-4含有较高含量的桉叶油醇和松油醇,其中,桉叶油醇具有明显的樟脑、木香气息和清凉的药草气息,松油醇具有松木和丁香似的香气,天然存在于松树油、薰衣草油、橙花油等植物精油中。另外,样品中还含有一些阈值小、含量低的香气成分,仅存在于部分样品中,如2-乙基己醇的阈值为0.27 $\mu\text{g/g}$,仅在BH-5和BH-6中检出,具有花香、清甜香韵;BH-1和BH-6中鉴定出1-辛烯-3-醇,阈值为0.10 $\mu\text{g/g}$,该物质具有典型的蘑菇和干草样香气^[21]。

2.3 薄荷香精的PLS-DA分析

为进一步研究不同薄荷香精样品的香气特征,以48种挥发性香气成分为自变量,7种薄荷香精样品为因变量,进行PLS-DA分析。其中,PLS-DA模型评价参数的各指标均大于0.5,分别为 $R_x^2 = 0.987\ 0$, $R_y^2 = 0.833\ 0$, $Q^2 = 0.691\ 0$,说明该模型对不同薄荷香精样品均具有一定的预测能力^[30]。不同样品中挥发性化合物的PLS-DA如附图S1所示。由附图S1a)可知,样品BH-1、BH-2和BH-4在香气成分种类和含量上具有一定相似度;BH-5、BH-6和BH-7具有一定相似度,而BH-3与其他样品的差异较大。其中, α -蒎烯、氧化石竹烯等是BH-1、BH-2和BH-4的特征香气成分;桉叶油醇、松油醇、 β -蒎烯等是BH-3的主要贡献香气成分;薄荷醇、薄荷酮、 α -紫罗兰酮、芳樟醇等是BH-5、BH-6和BH-7的重要香气成分。

采用置换检验对PLS-DA模型进行验证(重复次数200),以获取随机模型的 R^2 和 Q^2 ,置换检验的 Q^2 负值代表随机模型不具备区分组别的能力,在随机情况下达不到原PLS-DA模型的预测效果, R^2 回归线截距值较小,说明原模型的解释能力较强。由附图S1b)可知, $R^2 = 0.093\ 7$, $Q^2 = -0.595\ 0$, Q^2 为负值说明回归线与横坐标交叉或小于0,从而表明原PLS-DA模型可靠,未存在过拟合现象,且有较好的预测能力。

进一步地,利用VIP筛选出对薄荷香精样品有重要影响的关键香气组分。由附图S1c)可知,25种

$VIP>1$ 的挥发性香气化合物对薄荷香精样品均具有重要作用, VIP 值越大,作用越显著。

2.4 香气成分的 OAV 计算结果分析

OA*V* 可体现香气成分对样品整体香气的贡献程度,其不仅与香气成分的含量相关,同时还反映香气阈值的高低,通常认为 OA*V* 越大,对样品整体香气的影响作用越大^[31]。基于 GC-MS 和 PLS-DA 分析结果,对 25 种重要香气成分进行 OA*V* 计算,结果见表 1。由表 1 可知,薰衣草醇、2,5-二乙基四氢呋喃、WS-23 和桃金娘烯醇 4 种成分无参考阈值,无法计算 OA*V*,特别是含量较高的 WS-23,其作为凉味剂,气息强度较弱,凉感主要表现为对口腔黏膜和喉部刺激而非香气表现,在此不进行香气贡献度的讨论。其余 21 种香气成分 OA*V* 均大于 1,其中 12 种香气成分的 OA*V*>100,如正己醇、胡椒酮、DL-柠

檬烯等成分,对薄荷香精香气具有较重要的作用;7 种香气成分的 OA*V*>1000,分别为罗勒烯、松油醇、香芹酮、薄荷酮、薄荷醇、桉叶油醇和乙酸薄荷酯,这些物质可能是烟用薄荷香精样品中的关键香气成分。

2.5 香气成分与感官属性的 PLSR 分析

采用 PLSR 建立薄荷香精的香气属性与所筛选香气成分之间的相关性^[32]。其中,25 种香气成分的鉴定结果代表 *X* 变量,青香、木香、花香、果香、药草香和薄荷香 6 个香气属性的感官评价结果代表 *Y* 变量,7 种薄荷香精中香气成分与感官属性相关性分析如图 2 所示。由图 2 可知,不同样品的感官属性特征与香气成分间均具有一定的相关性,薄荷醇、薄荷酮、香芹酮和乙酸薄荷酯与薄荷香具有较强的相关性;正己醇和 1-癸醇与青香有较强相关

表 1 薄荷香精中香气成分的 OA*V*($VIP>1$)
Table 1 OA*V*s of aroma components in peppermint flavor($VIP>1$)

香气成分	嗅觉 阈值	OA <i>V</i>						
		BH-1	BH-2	BH-3	BH-4	BH-5	BH-6	BH-7
正己醇	0.50	113.46	130.92	—	133.23	—	66.54	166.59
2-辛醇	0.07	—	—	327.68	138.95	157.30	192.93	—
罗勒烯	0.03	396.55	—	1 058.86	—	484.59	1 370.71	—
松油醇	0.28	2 567.79	3 981.32	4 772.46	3 139.14	2 120.68	2 358.50	1 075.84
氧化柠檬烯	0.10	—	—	417.61	—	641.31	221.41	—
薰衣草醇	—	—	—	—	—	—	—	—
1-癸醇	2.80	—	—	—	7.33	8.95	6.11	30.81
α -蒎烯	2.08	9.03	6.99	5.95	7.95	4.88	2.68	4.58
香芹酮	0.027	10 897.87	11 207.94	16 214.97	10 373.15	22 740.66	26 904.20	25 575.93
薄荷酮	0.17	24 801.29	26 486.29	16 450.40	23 936.47	42 206.53	55 719.52	51 773.24
胡椒酮	0.68	229.21	—	129.39	200.96	198.91	276.01	631.86
薄荷醇	3.33	6 509.49	7 330.14	8 976.37	7 635.31	8 669.60	9 814.31	9 164.23
桉叶油醇	0.06	10 221.40	14 683.95	18 814.83	16 407.58	5 602.67	7 312.63	6 931.70
2-乙基己醇	0.27	—	—	—	—	115.17	214.71	—
β -蒎烯	4.16	30.74	99.79	115.65	29.42	57.67	48.73	41.24
百里香酚	0.19	—	31.91	—	—	77.32	—	157.69
对甲基苯乙酮	0.16	—	—	43.20	—	119.71	133.70	307.21
乙酸薄荷酯	0.80	3 732.22	4 828.45	2 546.44	4 882.53	7 698.74	9 957.65	8 131.43
2,5-二乙基四氢呋喃	—	—	—	—	—	—	—	—
香芹醇	0.25	—	—	177.04	—	57.40	417.28	211.53
DL-柠檬烯	1.00	561.16	122.74	389.01	160.99	763.84	807.19	637.24
3-辛酮	0.07	—	—	183.09	—	897.38	468.81	347.99
α -紫罗兰酮	0.06	111.01	—	—	—	306.27	608.23	—
WS-23	—	—	—	—	—	—	—	—
桃金娘烯醇	—	—	—	—	—	—	—	—

注:嗅觉阈值参考 DEIN 等(2019)及 VAN GEMERT(2011)。

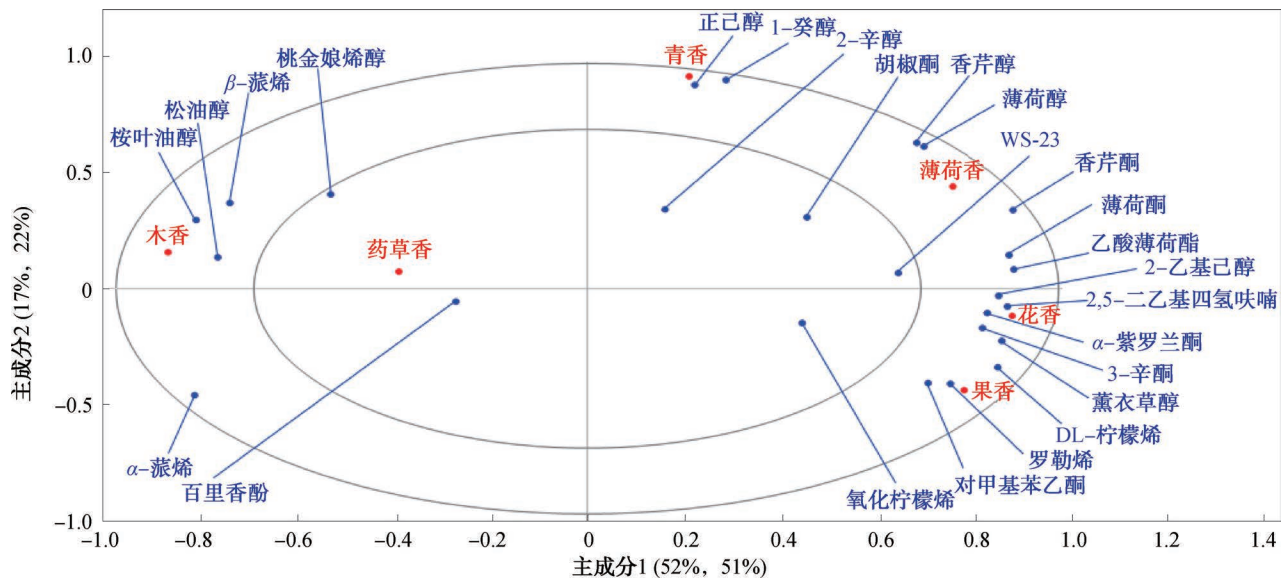


图 2 7 种薄荷香精中香气成分与感官属性相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis between aroma components and sensory attributes in seven peppermint flavors

性;松油醇和桉叶油醇与木香具有较强相关性;DL-柠檬烯和罗勒烯与果香有较强相关性。根据 2.1 节感官评价结果,即以薄荷香为主体香韵的香精样品对加热卷烟感官品质有较为积极的促进作用,结合香气成分的 OAV 计算结果筛选出 7 种关键香气成分。由于香气成分之间的和合修饰作用比较复杂,采用缺失实验确定 7 种香气成分对薄荷主香韵的贡献程度。基于薄荷香韵属性的缺失实验结果见表 2。由表 2 可知,薄荷醇、薄荷酮、香芹酮和乙酸薄荷酯 4 种成分对薄荷香韵的影响较大($P \leq 0.001$),特别是薄荷醇和香芹酮;罗勒烯、松油醇和桉叶油醇 3 种成分对薄荷香韵的贡献作用不显著。综上,选择薄荷醇、薄荷酮、香芹酮和乙酸薄荷酯作为薄荷主香韵的重要贡献成分,并进一步研究其相互作用及对加热卷烟感官香气特征的影响。

2.6 薄荷香精关键香气成分相互作用分析

2.6.1 溶剂确定 溶剂是烟用香精中重要的组成部分,在香精体系中占比较大,对烟草制品的感官品质有重要影响^[33-34]。其中,薄荷香精中常用溶剂有乙醇、丙二醇、辛酸甘油酯等^[35]。由于辛酸甘油酯具有沸点较高、不易挥发的特点,在爆珠型卷烟中可起定香和固香作用,但在加热卷烟中使用,存在整体香气不透发、特征不明显、余味不舒适

等问题;而乙醇、丙二醇在加热卷烟中感官适用性较好。因此,选择丙二醇、乙醇为研究对象并设计了香气重组模块 AR 用于感官评价。香气重组模块 AR 中各香气成分组成为样品实测含量的均值,具体成分见表 3。

分别将不同比例的丙二醇和乙醇溶液添加至香气重组模块中进行感官对比评价,当溶剂体系为丙二醇时,加香加热卷烟样品的烟气浓度较大,具有降低刺激性和改善口感的作用,但其烟香沉闷、香气不透发及协调性不佳;当溶剂体系为乙醇时,烟气飘逸上扬,香气强度相对增强,烟香和外香协调性较好,但烟气浓度小,香味持续性较差。经过多次溶剂比例调整,当丙二醇与乙醇的质量比为 3 : 2 时,样品在特征香表现方面较突出,烟气浓度较大并略成团,烟香较浓郁,无刺激,抽吸均一性较好。因此,薄荷香精的空白基质组成为丙二醇与乙醇的质量比为 3 : 2,以此进行后续实验。

2.6.2 关键香气成分相互作用分析 S 型曲线法测定香气成分阈值如图 3 所示。由图 3 可知,测定阈值分别为 192.71 μg/g、27.39 μg/g、8.02 μg/g 和 84.89 μg/g。而薄荷醇在水和石蜡油中的嗅觉阈值分别为 3.33 μg/g 和 100 μg/g,薄荷酮在水和空气中的阈值分别为 0.17 μg/g 和 0.003 6 μg/g,香芹酮在水和脱味橙汁中的阈值分别为 0.027 μg/g 和

表 2 基于薄荷香韵属性的缺失实验结果

Table 2 Omission tests based on mint flavor attributes

遗漏的关键香气化合物	正确回答人数 ^a	显著性 ^b
香芹酮、薄荷酮、薄荷醇和乙酸薄荷酯	15	***
薄荷醇	13	**
薄荷酮	9	*
香芹酮	12	**
乙酸薄荷酯	9	*
罗勒烯、松油醇、桉叶油醇	7	
罗勒烯	3	
松油醇	5	
桉叶油醇	5	

注:a表示采用三点检验法,15名小组成员评估香气差异的正确人数。b表示显著性,***表示呈极显著差异($P\leq 0.001$),**表示呈非常显著差异($P\leq 0.01$),*表示呈显著性差异($P\leq 0.05$)。

表 3 香气重组模块 AR 中各香气成分

Table 3 Individual aroma components in the aroma recombination modules (AR)

成分	主香韵描述	含量/ $(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$
β -蒎烯	木香	250.0
α -蒎烯	木香	12.0
月桂烯	果香	50.0
DL-柠檬烯	果香	500.0
桉叶油醇	木香	730.0
3-辛酮	果香	20.0
乙酸叶醇酯	青香	35.0
正己醇	青香	45.0
叶醇	青香	60.0
3-辛醇	木香	80.0
1-辛烯-3-醇	木香	5.0
薄荷酮	薄荷	5 800.0
2-乙基己醇	花香	12.0
樟脑	木香	10.0
芳樟醇	花香	20.0
乙酸薄荷酯	薄荷	4 800.0
2-辛醇	木香	8.0
薄荷醇	薄荷	27 600.0
松油醇	木香	800.0
香芹酮	薄荷	480.0
1-癸醇	果香	20.0
对甲基苯乙酮	果香	15.0
香芹醇	薄荷	30.0
百里香酚	药草香	7.0
α -紫罗兰酮	花香	8.0
氧化石竹烯	木香	80.0
WS-23	薄荷	4 500.0

注:香气成分含量取为样品中平均含量的近似值,以便于香基配制。

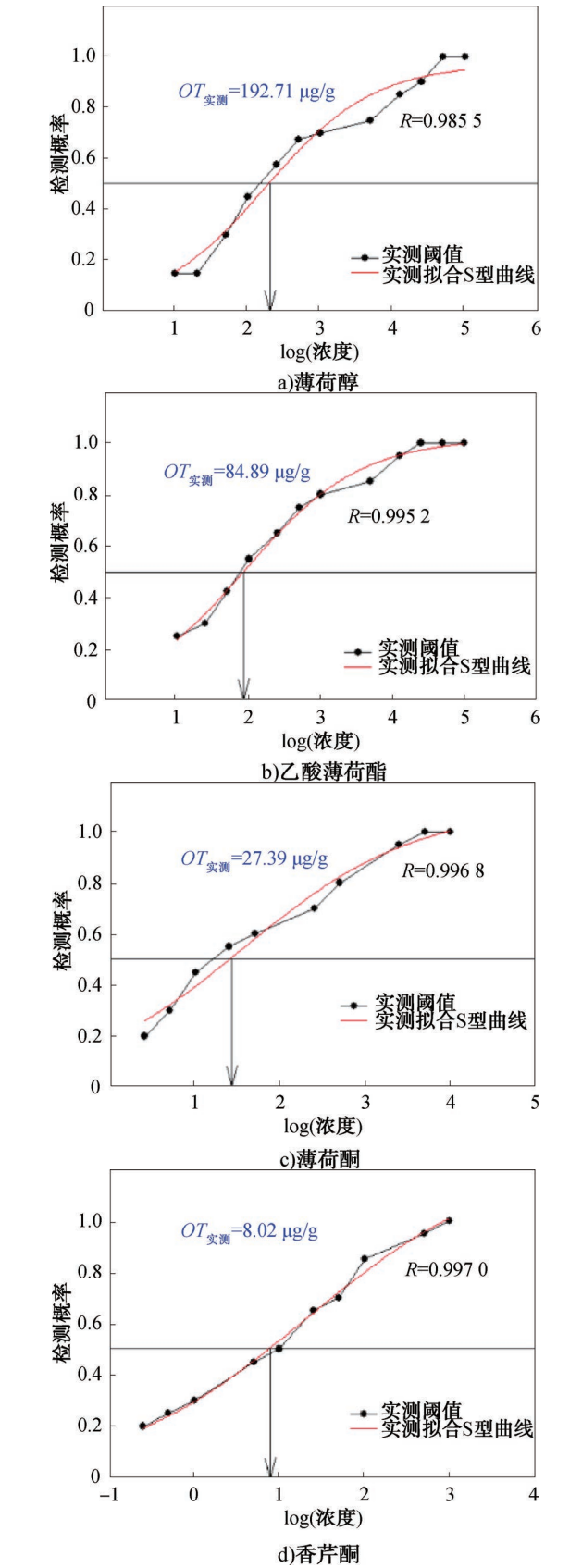


图 3 S 型曲线法测定 4 种关键香气成分阈值

Fig. 3 The threshold value of 4 key aroma components was determined by S-curve method

0.6 μg/g, 乙酸薄荷酯在水中的阈值为 0.8 μg/g^[20-21]。因此, 基质效应对香气成分的气味感知影响较大, 相同挥发性化合物在空气、水、脱味溶液等不同介质中的阈值往往存在较大差异。

利用图 3 所示实际测定阈值, 测算薄荷醇、薄荷酮、香芹酮和乙酸薄荷酯所形成的薄荷醇和乙酸薄荷酯、薄荷醇和薄荷酮、薄荷醇和香芹酮、乙酸薄荷

酯和薄荷酮、乙酸薄荷酯和香芹酮及薄荷酮和香芹酮 6 组二元混合物的理论阈值; 采用 S 型曲线法测定各组二元混合物的实际阈值, 并研究 4 种关键香气成分感官相互作用如图 4 和表 4 所示。由图 4 并结合表 4 可知, 当检测概率 $P=0.5$ 时, 6 组二元混合物的实际测定阈值比 Feller 模型预测阈值低。如薄荷醇和薄荷酮、薄荷酮和香芹酮这 2 组二元混合

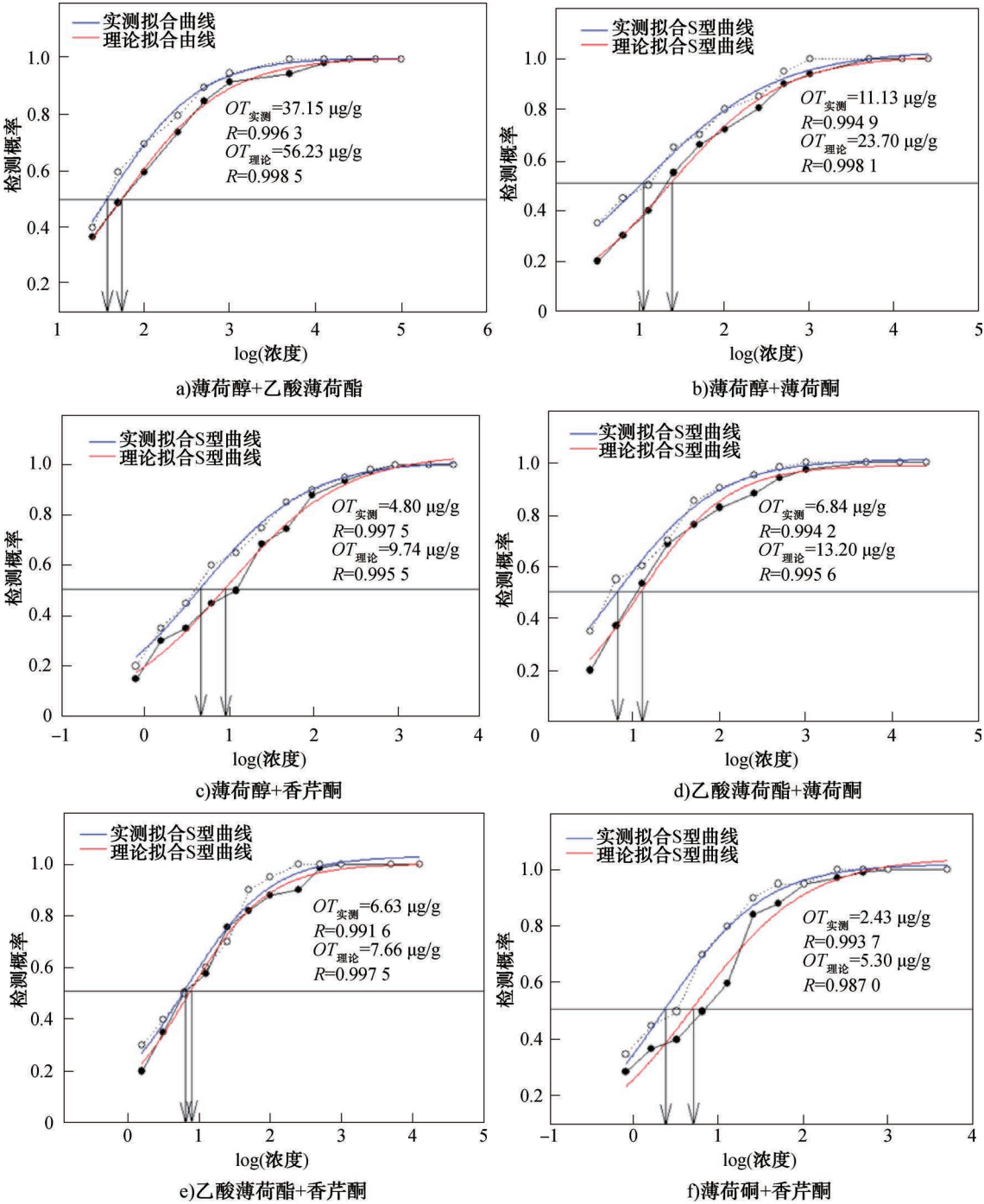


图 4 S 型曲线法研究 4 种关键香气成分感官相互作用
Fig. 4 Sensory interactions of four aroma components studied by the S-curve method

物的实测阈值 ($OT_{\text{实测阈值}}$) 比理论阈值 ($OT_{\text{理论阈值}}$) 小,其比值分别为 0.470 和 0.458;而乙酸薄荷酯和香芹酮二元混合物的理论和实测阈值比值趋近于 1,说明二者之间的作用效果不明显,这可能与物质的化学结构和香气风格有关。上述结果表明,除香芹酮和乙酸薄荷酯二元混合物外,其他 5 组二元混合物均具有较明显的香气协同作用。

2.6.3 香气成分对加热卷烟感官特征影响分析

将模块 AR 除去薄荷醇、薄荷酮、香芹酮和乙酸薄荷酯制成模块 AR-1,按照表 5 中添加要求制备样品并采用香味轮廓法进行感官评价。香气成分对加热卷烟感官属性影响如图 5 所示。由图 5 可知,与对照组相比,添加实验组的青香、花香和薄荷香属性明显增强,其中,薄荷香属性强度为对照组的 1.19~1.36 倍,花香属性强度为对照组的 1.17~1.42 倍,青香属性强度为对照组的 1.12~1.33 倍。薄荷醇 (27 600 $\mu\text{g/g}$) / 乙酸薄荷酯 (4800 $\mu\text{g/g}$)、薄荷醇 (27 600 $\mu\text{g/g}$) / 薄荷酮 (5800 $\mu\text{g/g}$)、薄荷醇

(27 600 $\mu\text{g/g}$) / 香芹酮 (480 $\mu\text{g/g}$) 对加热卷烟的薄荷香特征增强效果分别为 1.24 倍、1.33 倍和 1.36 倍,即添加成分总量保持一致的情况下,相较只添加薄荷醇,添加二元混合物对加热卷烟薄荷香气特征具有更大的提升作用。类似地,薄荷醇 (27 600 $\mu\text{g/g}$) / 薄荷酮 (5800 $\mu\text{g/g}$) 对青香增强效果 1.33 倍最为显著;薄荷醇 (127 600 $\mu\text{g/g}$) / 香芹酮 (480 $\mu\text{g/g}$) 对花香增强效果 (1.42 倍) 最为显著。而二元混合物相互作用对不同香气属性增强效果的差异可能与香气物质的化学结构、浓度比例及香气特征有关^[14]。通过添加实验,从感官属性的角度验证了香气成分之间的协同增效作用亦对加热卷烟感官香气特征有积极影响。

3 结论

本文以烟用薄荷香精为研究对象,采用 GC-MS 结合相关性分析、感官评价等分析方法探究烟用薄荷香精的关键香气成分及其相互作用对加热卷烟香气特征的影响,结果表明:筛选的 7 个目标样品,在青香、木香和薄荷香属性上具有显著性差异 ($P < 0.05$),薄荷香、青香、花香属性强度较大的样品对加热卷烟感官品质具有积极影响;共鉴定出 48 种挥发性香气成分,不同样品在香气成分的种类和含量上具有一定的差异;在 25 种 $VIP > 1$ 的对薄荷香精风格特征具有重要影响的挥发性香气成分中,进一步通过 OAV 计算筛选出罗勒烯、松油醇、香芹酮等 7 种关键香气成分;PLSR 分析结合香气缺失实验确定了对薄荷香韵属性具有重要贡献的关键香气成分为薄荷醇、乙酸薄荷酯、薄荷酮和香芹酮;4 种关键香气成分所组成的 5 组二元混合物具有较明显的香气协同作用,其中薄荷醇/薄荷酮和薄荷醇/香芹酮对加热卷烟薄荷香气特征增效最明显,分别增强 1.33 倍和 1.36 倍。本研究分析了加热卷烟用薄荷香精的感官特征及关键香气成分,明确了呈薄荷香韵关键组分间的协同增效作用及其对加热卷烟香气属性的影响,在此基础上,后续将开展其他烟用香精关键成分间的相互作用研究,为香精配方优化提供理论参考,从而进一步提升加热卷烟的感官品质。

表 4 6 组二元混合物阈值表

Table 4 Thresholds of six binary mixtures

二元混合物	$OT_{\text{实测阈值}} / (\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	$OT_{\text{理论阈值}} / (\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	$OT_{\text{实测阈值}} / OT_{\text{理论阈值}}$
薄荷醇/乙酸薄荷酯	37.15	56.23	0.662
薄荷醇/薄荷酮	11.13	23.70	0.470
薄荷醇/香芹酮	4.80	9.74	0.493
乙酸薄荷酯/薄荷酮	6.84	13.20	0.518
乙酸薄荷酯/香芹酮	6.63	7.66	0.867
薄荷酮/香芹酮	2.43	5.30	0.458

表 5 香气添加实验样品组成

Table 5 Composition of samples in the aroma addition experiment

组别	对照组	添加实验组
1 [#]	AR-1+薄荷醇 (32 400 $\mu\text{g/g}$)	AR-1+薄荷醇 (27 600 $\mu\text{g/g}$) / 乙酸薄荷酯 (4800 $\mu\text{g/g}$)
2 [#]	AR-1+薄荷醇 (33 400 $\mu\text{g/g}$)	AR-1+薄荷醇 (27 600 $\mu\text{g/g}$) / 薄荷酮 (5800 $\mu\text{g/g}$)
3 [#]	AR-1+薄荷醇 (28 080 $\mu\text{g/g}$)	AR-1+薄荷醇 (27 600 $\mu\text{g/g}$) / 香芹酮 (480 $\mu\text{g/g}$)
4 [#]	AR-1+薄荷酮 (10 600 $\mu\text{g/g}$)	AR-1+乙酸薄荷酯 (4800 $\mu\text{g/g}$) / 薄荷酮 (5800 $\mu\text{g/g}$)
5 [#]	AR-1+乙酸薄荷酯 (5280 $\mu\text{g/g}$)	AR-1+乙酸薄荷酯 (4800 $\mu\text{g/g}$) / 香芹酮 (480 $\mu\text{g/g}$)
6 [#]	AR-1+薄荷酮 (6280 $\mu\text{g/g}$)	AR-1+薄荷酮 (5800 $\mu\text{g/g}$) / 香芹酮 (480 $\mu\text{g/g}$)

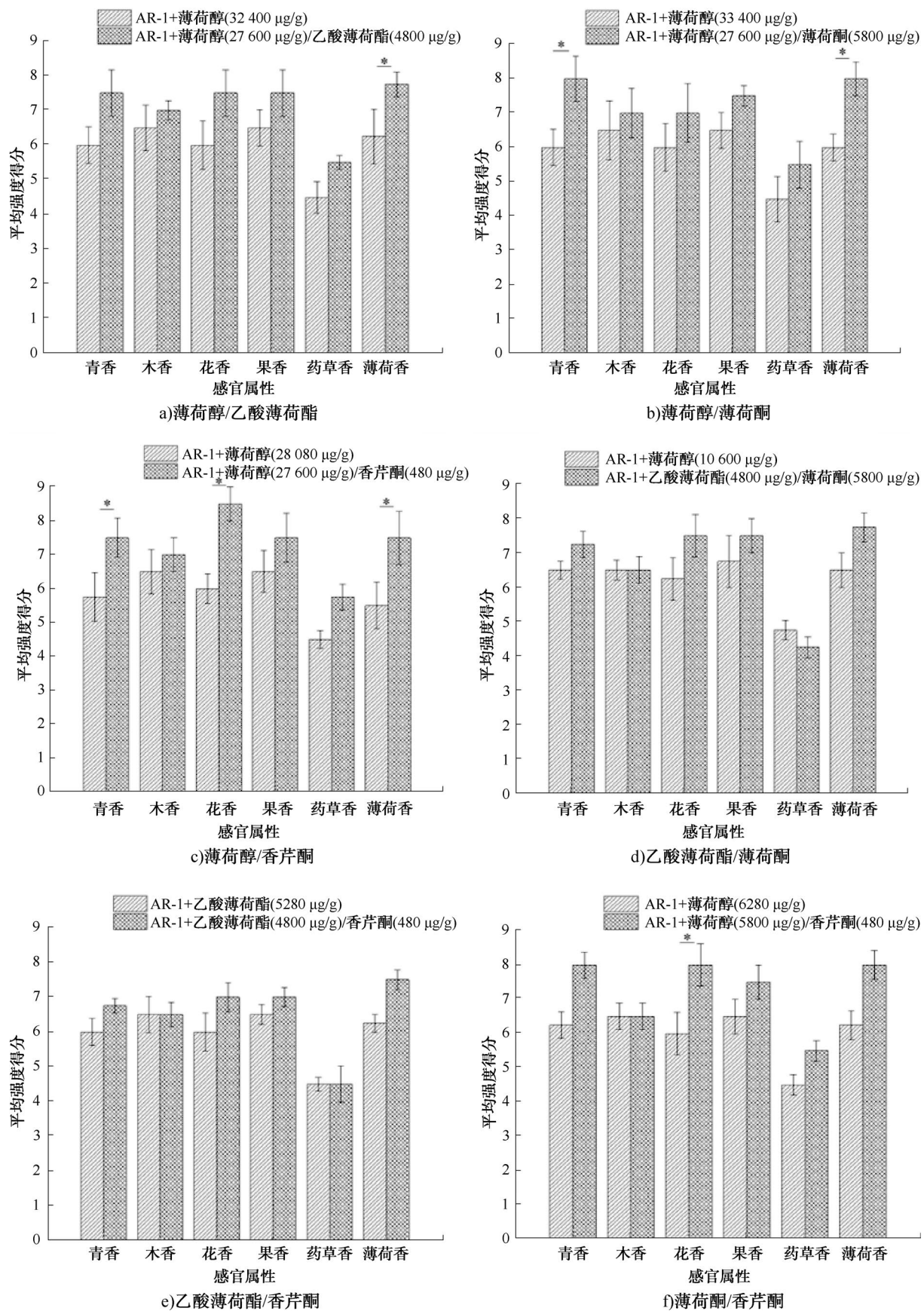


图 5 香气成分对加热卷烟感官属性影响

Fig. 5 Effects of aroma components on the sensory attributes of heated tobacco products

参考文献:

- [1] 蔡洁云,李伟雪,顾丽莉,等. 烟用香精香料来源与应用研究进展[J]. 现代化工,2023,43(S1):66-70.
Cai J Y, Li W X, Gu L L, et al. Sources and applications of tobacco flavors and fragrances [J]. Modern Chemical Industry, 2023, 43(S1):66-70.
- [2] 贾学伟,代玉祥,何峰,等. 薄荷颗粒香料的干燥工艺及滤棒加香应用研究[J]. 轻工学报,2024,39(3):62-71.
Jia X W, Dai Y X, He F, et al. Drying process of peppermint granular spices and its application in flavoring filter rod [J]. Journal of Light Industry, 2024, 39(3):62-71.
- [3] 刘琪,张华,叶远青,等. SPME-Arrow/GC-MS 结合多元统计分析研究不同批次爆珠香精组分差异[J]. 分析测试学报,2025,44(1):135-144.
Liu Q, Zhang H, Ye Y Q, et al. Analysis of composition difference in breakable capsules flavor from different batches by SPME-Arrow/GC-MS combined with multivariable statistics [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2025, 44(1):135-144.
- [4] 王兆丰,丁自勉,何江,等. 薄荷化学成分药理作用与产品研发进展[J]. 中国现代中药,2020,22(6):979-984.
Wang Z F, Ding Z M, He J, et al. Progress in chemical constituents, pharmacological activities and product development of *Mentha haplocalyx* briq [J]. Modern Chinese Medicine, 2020, 22(6):979-984.
- [5] 张瑞. L-薄荷醇制备的研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2021.
Zhang R. Study on the preparation of L-menthol [D]. Hefei:Hefei University of Technology, 2021.
- [6] 杨凯,魏艳丽,赵忠娟,等. 品系及干燥方式对椒样薄荷精油成分的影响[J]. 香料香精化妆品,2021(5):7-13,27.
Yang K, Wei Y L, Zhao Z J, et al. Effects of strains and drying methods on composition of essential oil of *Mentha piperita* L [J]. Flavour Fragrance Cosmetics, 2021(5):7-13,27.
- [7] 贾学伟,马兵杰,崔春,等. 丙二醇添加量对卷烟滤棒中薄荷颗粒持香能力的影响[J]. 烟草科技,2023,56(11):62-69,78.
Jia X W, Ma B J, Cui C, et al. Effect of propylene glycol addition on aroma retention capacity of peppermint powders in cigarette filter rods [J]. Tobacco Science & Technology, 2023, 56(11):62-69,78.
- [8] 田书霞,白若石,杨振民,等. 薄荷-茶香型卷烟香气风格的应用研究[J]. 香料香精化妆品,2015(1):23-27.
Tian S X, Bai R S, Yang Z M, et al. Study on the aroma profile of menthol-tea cigarettes [J]. Flavour Fragrance Cosmetics, 2015(1):23-27.
- [9] 张贾宝,王轶群,梁森,等. 加热卷烟烟叶原料低温热解特性及其与感官品质相关性分析[J]. 轻工学报,2023,38(3):94-101.
Zhang J B, Wang Y Q, Liang M, et al. Low temperature pyrolysis characteristics of heated tobacco raw materials and its correlation with sensory quality [J]. Journal of Light Industry, 2023, 38(3):94-101.
- [10] 戴路,史春云,卢昕博,等. 加热不燃烧制品与传统卷烟再造烟叶物理特性及化学成分差异分析[J]. 中国烟草学报,2017,23(1):20-26.
Dai L, Shi C Y, Lu X B, et al. Difference analysis on physical characteristics and chemical components of reconstituted tobacco used in traditional cigarettes and heat not burn tobacco products [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017, 23(1):20-26.
- [11] 郭林青,梁坤,黄玉川,等. 薄荷型微胶囊在加热卷烟中的应用研究[J]. 轻工科技,2021,37(11):17-19.
Guo L Q, Liang K, Huang Y C, et al. Study on the application of mint microcapsules in heating cigarettes [J]. Light Industry Science and Technology, 2021, 37(11):17-19.
- [12] 司晓晔,张凤梅,朱瑞芝,等. 6种香料在加热条件下的释放迁移及对气溶胶理化特性的影响[J]. 轻工学报,2021,36(5):67-75.
Si X X, Zhang F M, Zhu R Z, et al. Study on the release and migration of six flavourings under heating conditions and their effects on the physical and chemical properties of aerosols [J]. Journal of Zhengzhou University of Light Industry (Natural Science Edition), 2021, 36(5):67-75.
- [13] 徐月玲,徐瑞霜,杨歌,等. 不同位置及加香水平对加热卷烟释放行为的影响[J]. 中国烟草学报,2024,30(2):98-105.
Xu Y L, Xu R S, Yang G, et al. Effects of different positions and flavoring levels on the release behavior of heated tobacco products [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2024, 30(2):98-105.
- [14] 徐志强,田振峰,余世科,等. 焦甜香原料协同作用研究[J]. 香料香精化妆品,2020(4):21-25,30.
Xu Z Q, Tian Z F, She S K, et al. Study on the synergistic effect of caramel aroma materials [J]. Flavour Fragrance Cosmetics, 2020(4):21-25,30.
- [15] 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.
Yang P F, Zhang Z H, He C Y, et al. Analysis of key aroma-active constituents in tobacco flavors based on molecular sensory science [J]. Journal of Light Industry, 2021, 36(2):34-42.

- [16] 宋瑜冰,谢剑平,宗永立,等.薄荷醇在卷烟中转移行为的控制及检测研究综述[J].香料香精化妆品,2005(3):25-28.
Song Y B, Xie J P, Zong Y L, et al. Summary of transfer control and determination research of menthol in cigarette[J]. Flavour Fragrance Cosmetics, 2005(3):25-28.
- [17] 胡安福,范武,夏倩,等.卷烟主流烟气焦甜、奶香和豆香特征成分组群的分布特征和感官贡献[J].烟草科技,2020,53(12):27-36.
Hu A F, Fan W, Xia Q, et al. Distribution characteristics in mainstream cigarette smoke and sensory contributions of burnt-sweet, creamy and bean aroma components[J]. Tobacco Science & Technology, 2020, 53(12):27-36.
- [18] 徐秀娟,洪祖灿,柴国璧,等.基于香气活性值的烟草提取物成分分析及感官作用评价[J].轻工学报,2023,38(2):63-71.
Xu X J, Hong Z C, Chai G B, et al. Component analysis and sensory evaluation of tobacco extracts based on aroma activity values[J]. Journal of Light Industry, 2023, 38(2):63-71.
- [19] 陈芝飞,杨靖,马宇平,等.基于活性阈值的卷烟烟气中重要碱性香气成分剖析[J].烟草科技,2017,50(3):39-46.
Chen Z F, Yang J, Ma Y P, et al. Activity threshold analysis of important basic aroma components in cigarette smoke[J]. Tobacco Science & Technology, 2017, 50(3):39-46.
- [20] Dein M, Munafo J P Jr. Characterization of key odorants in hoary mountain mint, *Pycnanthemum incanum* [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(9):2589-2597.
- [21] Van Gemert L J. Compilations of odour threshold values in air, water and other media [M]. 20th ed. Zeist: Oliemans Punter & Partners BV, 2011.
- [22] Lawless H T, Heymann H. Sensory evaluation of food [M]. New York: Springer, 2010.
- [23] GB 5606.4—2005 卷烟 第4部分:感官技术要求[S].
GB 5606.4—2005 Cigarettes—Part 4: technical requirements for sense evaluation[S].
- [24] YC/T 497—2014 卷烟 中式卷烟风格感官评价方法[S].
YC/T 497—2014 Cigarette—The sensory evaluation methods for Chinese-stylistic features[S].
- [25] 李天笑,李品鹤,蒋忠荣,等.雪茄烟末复合焦甜香料的制备及机制雪茄的应用研究[J].中国烟草学报,2022,28(4):114-124.
Li T X, Li P H, Jiang Z R, et al. Preparation of synergistic caramel products with cigar fragments and their application in machine-made cigars[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2022, 28(4):114-124.
- [26] GB/T 22366—2022 感官分析 方法学 采用三点强迫选择法(3-AFC)测定嗅觉、味觉和风味觉察阈值的一般导则[S].
GB/T 22366—2022 Sensory analysis—Methodology—General guidance for measuring odour, flavour and taste detection thresholds by a three-alternative forced-choice (3-AFC) procedure[S].
- [27] 陆智.气相色谱-质谱指纹图谱结合聚类分析在薄荷香精风味品质稳定性分析中的应用[J].现代食品科技,2018,34(9):283-290.
Lu Z. Evaluation of flavor quality stability of peppermint essential oils using gas chromatography-mass spectrometry fingerprints in combination with cluster analysis[J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(9):283-290.
- [28] 李源栋,刘秀明,夏建军,等.GC-MS法结合保留指数分析留兰香油成分[J].中国测试,2016,42(4):45-48.
Li Y D, Liu X M, Xia J J, et al. Analysis of the components in spearmint oil by GC-MS combined with retention index[J]. China Measurement & Testing Technology, 2016, 42(4):45-48.
- [29] 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.
Shi Q Z, Li H L, Wang C, et al. Analysis of endogenous floral aroma components and regulation of floral aroma characteristics of mainstream cigarette smoke[J]. Tobacco Science & Technology, 2023, 56(5):56-67.
- [30] 许洪庆,吕大树,张亚恒,等.二氯甲烷提取物致香成分GC/MS指纹图谱在烤烟香型鉴别中的应用[J].烟草科技,2017,50(1):30-40.
Xu H Q, Lyu D S, Zhang Y H, et al. Identification of flue-cured tobacco flavor style using GC-MS fingerprint of aroma component extracted by dichloromethane[J]. Tobacco Science & Technology, 2017, 50(1):30-40.
- [31] 史清照,范武,张启东,等.卷烟烟气和烟丝中果香成分组群感官贡献对比[J].轻工学报,2023,38(2):72-79.
Shi Q Z, Fan W, Zhang Q D, et al. Comparative study on sensory contributions of fruity aroma components in smoke and filler of cigarette[J]. Journal of Light Industry, 2023, 38(2):72-79.
- [32] 林顺顺,张晓鸣.基于PLSR分析烟叶化学成分与感官质量的相关性[J].中国烟草科学,2016,37(1):78-82.
Lin S S, Zhang X M. Correlation of tobacco chemical components and sensory quality assessed by PLSR[J]. Chinese Tobacco Science, 2016, 37(1):78-82.
- [33] 肯生叶,李峰,饶国华,等.气相色谱法测定烟用香精中的乙醇、1,2-丙二醇和丙三醇[J].日用化学工业,2019,49(5):346-350.
Ken S Y, Li F, Rao G H, et al. Determination of ethanol, 1,

2-propylene glycol and glycerol in tobacco flavor with gas chromatography method[J]. China Surfactant Detergent & Cosmetics,2019,49(5):346-350.

[34] 秦子娴,何春莉,周浩,等. 近红外光谱法快速同时测定烟用香精中常用溶剂含量[J]. 香料香精化妆品,2023(5):151-157.

Qin Z X, He C L, Zhou H, et al. Application of near infrared spectroscopy method in the simultaneous and rapid determination of common solvents in tobacco flavors [J]. Flavour Fragrance Cosmetics,2023(5):151-157.

[35] 张华,钱建财,叶远青,等. 爆珠香精特征标志物筛选及质量控制研究[J]. 中国食品添加剂,2023,34(6):322-331.

Zhang H, Qian J C, Ye Y Q, et al. Study of characteristic markers screening and quality control of cigarette breakable capsules[J]. China Food Additives,2023,34(6):322-331.

Study on key aroma analysis and interactions of peppermint flavor for heated tobacco products

Sun Xuefeng¹, Shi Dongfang¹, Jin Qiang¹, Ji Yanmin¹, Zhu Yuanyang¹, Zhu Xianyan¹,
Zhu Haibo¹, Zheng Xiaoyun²

1. Nantong Cigarette Filter Co.,Ltd.,Nantong,Jiangsu 226014,China;
2. China Tobacco Jiangsu Industrial Co.,Ltd.,Nanjing 210019,China

Abstract:【Objective】This study aimed to explore the key aroma compounds in peppermint flavor for heated tobacco products and the interactions among aroma compounds dominated by minty notes. 【Methods】Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) combined with sensory evaluation, odor activity value (OAV), partial least squares discriminant analysis (PLS-DA), and partial least squares regression (PLSR) was used to analyze the key aroma compounds of peppermint flavor for heated tobacco products. The interactions among aroma compounds and their effects on the sensory characteristics of heated tobacco products were investigated using the S-curve method and addition experiments. 【Results】The peppermint flavors for heated tobacco products differed significantly ($P<0.05$) in minty, green, and woody aroma attributes. A total of 48 volatile aroma compounds were detected by GC-MS. PLS-DA identified 25 volatile compounds ($VIP>1$) that significantly influenced the flavor profile of the peppermint flavor, and OAV analysis identified seven key aroma compounds, including ocimene and terpineol. PLSR combined with omission experiments identified the key aroma compounds contributing to the minty attribute as menthol, menthyl acetate, menthone, and carvone. The Feller model and addition experiments verified that menthol/menthone and menthol/carvone exhibited significant synergistic effects, enhancing the minty aroma characteristics of heated tobacco products by 1.33-, 1.36-fold respectively. 【Conclusion】The peppermint flavors for heated tobacco products differed in aroma style, and the key aroma compounds responsible for the minty notes exhibited synergistic effects, which had important influences on the sensory attributes of heated tobacco products.

Key words: heated tobacco product; peppermint flavor; sensory characteristic; correlation; interaction

[责任编辑:刘丹丹]