



李伟泽,王富申,宗东岳,等. 基于美拉德反应的烟草浸膏烟用香料制备[J]. 轻工学报,2026,41(2): 97-106.
LI W Z, WANG F S, ZONG D Y, et al. Study on the preparation of tobacco flavors from tobacco extracts based on Maillard reaction[J]. Journal of Light Industry, 2026, 41(2): 97-106.
DOI: 10. 12187/2026. 02. 009

基于美拉德反应的烟草浸膏烟用香料制备

李伟泽¹, 王富申², 宗东岳³, 曲利利², 刘寒池², 李嘉欣², 刘春奎², 许春平²

1. 广西中烟工业有限责任公司 技术中心, 广西 南宁 530001;
2. 郑州轻工业大学 烟草科学与工程学院, 河南 郑州 450001;
3. 江苏中烟工业有限责任公司 技术中心, 江苏 南京 210019

摘要:【目的】基于美拉德反应开发新型烟草浸膏烟用香料,并分析不同产地烟草浸膏制得香料的特征差异。【方法】用不同烟草浸膏与葡萄糖焦糖化液混合后进行美拉德反应制备烟用香料;采用 GC-MS 分析挥发性成分,并利用 OPLS-DA 方法,以 $P < 0.05$ 且 $VIP > 1$ 为筛选条件鉴定关键差异挥发性成分;同时根据香气活度值(OAV)评估主要呈香化合物;结合聚类分析与感官评价比较3种香料的香气特征。【结果】共识别出26种关键呈香差异挥发性成分。红花大金元香料中2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮(DDMP)(OAV=82.44)、麦芽酚(OAV=27.68)、肉豆蔻酸(OAV=5.28)及5-羟甲基糠醛(OAV=2.19)可赋予卷烟焦甜与轻微烘烤气息;津巴布韦 KRK26 香料中(+)- γ -马橄榄烯(OAV=52.26)与5-甲基呋喃醛(OAV=244.68)呈现木质香与焦甜香;巴西 PVH1452 香料中菖蒲烯(OAV=129.27)带来明显草本与薄荷样气息。红花大金元香料在香气特征上独立成类,而津巴布韦 KRK26 香料与巴西 PVH1452 香料聚为一类。此外,红花大金元香料能显著提升卷烟的烟气浓度、香气量及细腻/柔和/圆润度,津巴布韦 KRK26 香料呈现良好均衡性,而巴西 PVH1452 香料的改善作用则相对有限。【结论】不同烟草浸膏经美拉德反应可形成风格差异明显的烟用香料,其中红花大金元香料具有更广阔的应用潜力。

关键词:美拉德反应;烟用香料;烟草浸膏;香气活度值;正交偏最小二乘判别分析

中图分类号:TS426 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-1553(2026)02-0097-10

0 引言

美拉德反应是一类经典的非酶褐变反应,可在还原糖(如葡萄糖)与氨基化合物(如氨基酸或肽)之间反应生成多种复杂的挥发性香气成分,因此被广泛用于香料制备。将美拉德反应引入卷烟加香,

可显著提升烟气香气层次、增强香气浓郁度并改善风味协调性。

烟草浸膏是卷烟调香的重要原料,可以提高烟草主体香气,赋予卷烟更自然、饱满的香气量,有效弥补部分卷烟香味不足、烟气特征薄弱的缺陷^[1]。然而,通过水提、醇沉等传统方法制备的烟草浸膏,

收稿日期:2025-04-08;修回日期:2025-06-19;出版日期:2026-04-15

基金项目:安徽中烟工业有限责任公司科技项目(2023340000340036);中国烟草总公司重点研发项目(110202102024)

作者简介:李伟泽(1994—),男,广西壮族自治区梧州市人,广西中烟工业有限责任公司工程师,博士,主要研究方向为香精香料及卷烟产品开发。E-mail:weizel@mail.ustc.edu.cn

通信作者:许春平(1977—),男,河南省焦作市人,郑州轻工业大学教授,博士,主要研究方向为烟草工程和香精香料。E-mail:c.p.xu@zzuli.edu.cn

其香味成分几乎全部来源于烟叶原料^[2],感官提升幅度一般受烟草原料种类限制。此外,向卷烟中单纯添加烟草浸膏虽能增强烟草本香和劲头,但对其他香韵提升有限,且香气丰富度、细腻度和柔和性改善不明显^[3-4]。烟草浸膏富含氨基化合物,向其添加葡萄糖、果糖或核糖等还原糖能够显著促进美拉德反应^[5]。在常见还原糖中,葡萄糖的焦糖化温度和速率居中,在约 160 °C 开始明显褐变;果糖、核糖因分子结构差异反应更快,褐变更剧烈,较难精准控制反应活性与风味物质生成;而蔗糖必须先水解方可参与反应,启动速度较慢^[6]。目前,向烟草浸膏添加葡萄糖焦糖化料液进行美拉德反应制备烟用香料的研究鲜见。红花大金元、巴西 PVH1452、津巴布韦 KRK26 均为主流卷烟品牌常用的高品质原料,致香物质丰富且氮含量适中^[7-8]。综合考虑香气前体物质、风味层次、市场适应性和供应稳定性,本研究选定上述 3 种浸膏为反应原料。

基于此,本研究拟聚焦于葡萄糖焦糖化料液与不同烟草浸膏的美拉德反应体系研究,利用气相色谱-质谱联用(GC-MS)法对所得香料的挥发性成分进行定性与定量分析,再采用正交偏最小二乘判别分析(OPLS-DA)和香气活度值(OAV)筛选出对香气特征贡献显著的关键差异挥发性香气成分,并通过感官评吸深入探讨不同烟草浸膏美拉德反应对香料品质的影响,以期对烟草源烟用香料的开发与应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 主要材料与仪器

主要材料与试剂:空白卷烟,红花大金元、津巴布韦 KRK26 与巴西 PVH1452 烟草浸膏,山东中烟工业有限责任公司提供;无水 Na_2SO_4 (纯度 $\geq 99.6\%$)、无水葡萄糖 (纯度 $\geq 99.6\%$),天津市光富科技发展有限公司;乙醇 (纯度为 75.0%)、二氯甲烷 (纯度 $\geq 99.8\%$)、乙酸苯酯 (纯度 $\geq 95.0\%$),上海源叶生物科技有限公司。除乙醇外,所有化学试剂均为分析纯,使用前未经进一步纯化。

主要仪器:Agilent GC6890-MS5973 N 型 GC-MS 仪,美国安捷伦科技有限公司;PL203 型电子天平,

上海予腾生物科技有限公司;TGL-16 M 型离心机,上海卢湘仪离心机仪器有限公司;DF-101 S 型集热式恒温加热磁力搅拌器,巩义市予华仪器有限公司;XD-100 mL 型反应釜,北京星德精仪实验仪器有限公司;MJ-DT 型超声波清洗机,长沙明杰仪器有限公司;ZWYC-2932 型恒温培养振荡器,上海智城分析仪器制造有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 葡萄糖焦糖化料液制备 基于朱远洋等^[9]的方法略作改进制备葡萄糖焦糖化料液。准确称取无水葡萄糖 100.00 g,加入 20.00 g 无水 Na_2CO_3 作为反应助剂;加入 250.00 mL 超纯水,置于超声波装置中搅拌至溶液完全均匀;将溶液移至硅油浴锅中,于 160 °C 条件下加热 15 min,进行焦糖化反应,所得溶液即为焦糖化料液。

1.2.2 烟草浸膏烟用香料制备 根据预实验结果,称取 3 种烟草浸膏各 15.00 g,分别加入 45.00 g 超纯水,置于超声波清洗机中,于 25 °C 条件下超声处理 15 min,使浸膏溶液混合均匀^[10];精确称量 1.5 g 葡萄糖焦糖化料液,加入上述浸膏溶液中,继续在 25 °C 条件下超声处理 15 min;将混合液置于硅油浴锅中,于 70 °C 条件下反应 110 min,制得烟草浸膏烟用香料。

1.2.3 GC-MS 条件 取 30.00 mL 烟草浸膏烟用香料样品,加入 30 mL 二氯甲烷,在 20 °C 水浴中超声萃取 30 min,随后置于恒温培养振荡器中振荡萃取 4 h;静置,待水相与有机相分层后,收集下层二氯甲烷层。重复上述萃取步骤 3 次,合并二氯甲烷萃取液,于 45 °C 常压浓缩至约 0.95 mL,经无水 Na_2SO_4 干燥后,加入 50 μL 乙酸苯酯内标溶液 (0.847 2 mg/mL),用于 GC-MS 分析。每个样品平行测定 2 次,取平均值。

GC 条件^[11]:采用 DB-5 MS 毛细管柱 (30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm);进样口温度 280 °C;分流进样,进样量 1 μL ,分流比 10 : 1。柱温程序为初始温度 50 °C,保持 2 min,以 4 °C/min 速率升温至 280 °C,直至分析结束。

MS 条件^[12]:采用全扫描模式采集数据;接口温度 280 °C;电离方式为电子轰击 (EI),电离能量

70 eV;离子源温度 230 ℃;四极杆温度 150 ℃;扫描范围 20~650 amu。

1.2.4 定性定量分析 定性分析:根据缪兴瑜等^[13]的方法改编 GC-MS 的原始数据,并采用 Chemstation 软件进行数据处理。将检测得到的各组分 MS 信息与 NIST 14.0 谱库比对,选择匹配度大于 70%的化合物;根据相同 GC-MS 条件下正构烷烃混合标准品(C₈—C₄₀)的保留时间计算保留指数(Retention Index, *RI*);结合 NIST 2014 Library 数据库与 NIST Chemistry Webbook 中的 *RI* 进行定性,计算公式如下:

$$RI = 100 \times \left(n + \frac{t_x - t_n}{t_{n+1} - t_n} \right)$$

式中,*n* 为碳原子数目,*t_x* 为待测组分的保留时间/min,*t_n* 和 *t_{n+1}* 分别为碳原子为 *n* 和 *n+1* 的正构烷烃混合标准品保留时间/min。

定量分析:以乙酸苯酯为内标,采用内标法进行定量分析。

1.2.5 感官评价 将制得的烟草浸膏烟用香料溶于 75% (若无特指,百分数均指体积分数,下同) 的乙醇配成质量浓度为 10 mg/mL 的加香溶液,以 5 mg/支的剂量注入空白卷烟中;置于温度 (22 ± 1) ℃、相对湿度 (60 ± 5)% 的恒温恒湿箱中平衡 24 h,进行感官评吸。注射相同质量 75% 乙醇的卷烟为空白对照。参照《卷烟 中式卷烟风格感官评价方法》(YC/T 497—2014)^[14] 进行评吸,评价小组由 7 名具有评吸资质的专业人员组成。

1.3 数据处理

利用 Origin 2018 软件绘制雷达图和热图;使用 SIMCA 14.1 软件进行正交偏最小二乘判别分析(Orthogonal Partial Least Squares-Discriminant Analysis, OPLS-DA),并计算预测变量重要性投影(Variable Importance in Projection, *VIP*);结合 SPSS 24.0 软件进行单因素分析,以 *P* < 0.05 且 *VIP* ≥ 1 为条件筛选差异挥发性香气成分;根据差异挥发性香气成分嗅觉阈值及其在美拉德反应香料中的质量,计算该成分的香气活度值(Odor Activity Value, *OAV*),一般 *OAV* > 1 时,认为该挥发性成分对香料香气具有一定影响,*OAV* > 10 时,该挥发性成分对香料整体香气贡

献极大。

2 结果与分析

2.1 GC-MS 结果分析

基于 GC-MS 检测的烟草浸膏烟用香料挥发性成分分析结果见图 1。由图 1 可知,共检测出 97 种挥发性成分,见图 2c),包括醇类 13 种、醛类 5 种、酯类 13 种、酮类 11 种、酸类 7 种、烯炔类 22 种、杂环类 14 种、酚类 2 种、生物碱类 7 种及其他类 3 种。其中,烯炔类化合物的种类最多,而杂环类化合物的相对含量最高;共有挥发性成分为 44 种,其中巴西 PVH1452 香料中特有的挥发性成分种类最少;红花大金元香料中挥发性成分总含量最高(5 498.44 μg/mL),其次为津巴布韦 KRK26 香料(4 549.46 μg/mL),巴西 PVH1452 香料(3 967.75 μg/mL)总含量最低。

不同烟草浸膏烟用香料中各成分相对含量不同,其中杂环类化合物含量最高,占总量 30.0% ~ 39.6%,部分杂环类化合物是美拉德反应后期的标志性产物^[13],包括 5-羟甲基糠醛,具有持久的焦糖香;麦芽酚(2-甲基-3-羟基-4-吡喃酮),有典型的烤甜和焦甜香气;2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮(DDMP),具有增香调色功能^[15-16]。红花大金元香料中杂环类化合物含量最高,分别是巴西 PVH1452 香料的 1.83 倍和津巴布韦 KRK26 香料的 1.58 倍,这表示其在制备过程中发生了比较充分的美拉德反应。

生物碱类化合物含量占总量的 17.1% ~ 27.9%,包括烟碱及其降解产物,其含量取决于反应原料。生物碱类化合物对烟气劲头有显著贡献,也是烟草制品愉悦感和满足感的来源,其中麦思明在巴西 PVH1452 与津巴布韦 KRK26 香料中含量较高,其具有较强的烘烤香,但浓度过高会产生难闻的烟熏气^[17]。此外,烯炔类化合物种类最多,其含量占总含量的 14.2% ~ 19.4%,其中西松烯、月桂烯、α-芹子烯、巴伦西亚橘烯是红花大金元香料的特有成分,西松烯是烟草香味成分的重要前体物质,具有烤香味、甜味、可可味道及淡花香味;月桂烯、α-芹子烯、巴伦西亚橘烯的阈值较低,具有柑橘、热带水

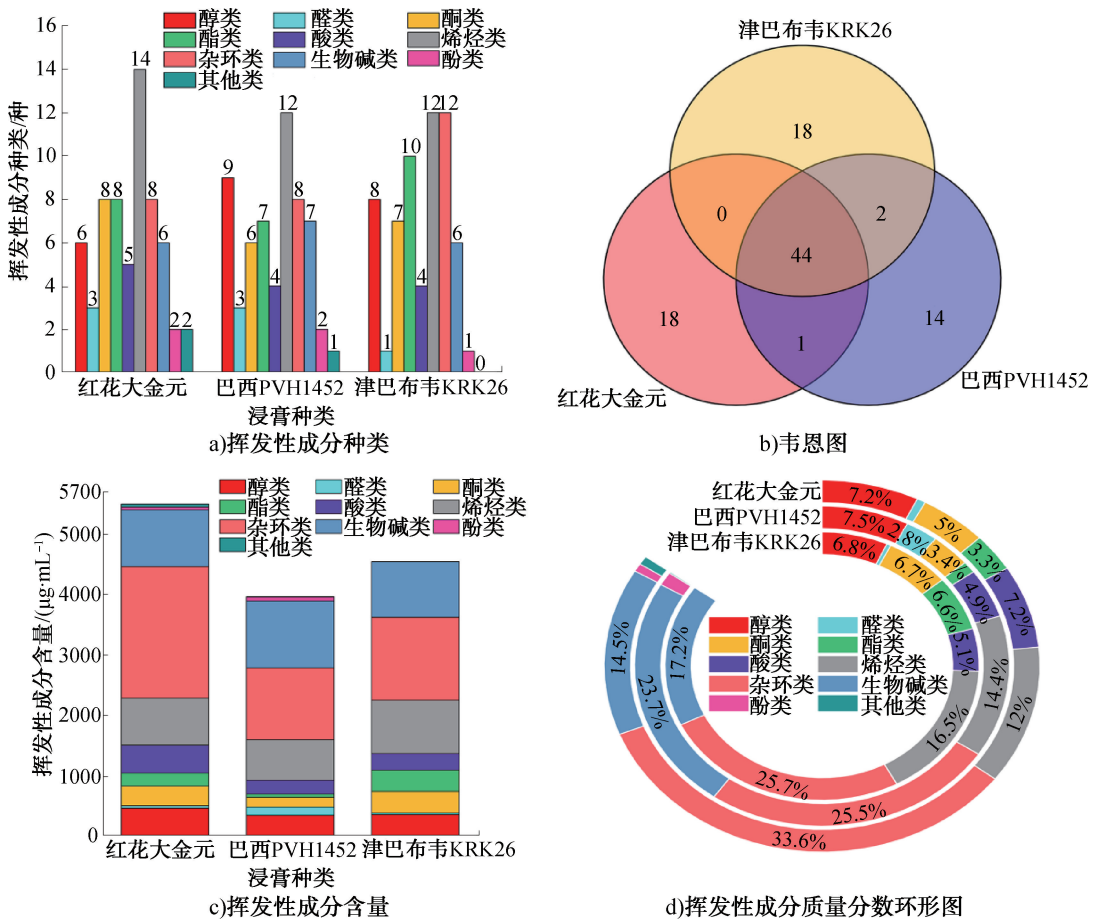


图 1 基于 GC-MS 检测的不同烟草浸膏香料挥发性成分分析结果

Fig. 1 Analysis results of volatile compounds in tobacco flavorings from different tobacco extracts based on GC-MS

果的气味^[18-19]。

新植二烯是 3 种香料的共有成分,在红花大金元香料中含量最高,也是烯炔类化合物中占比最高的成分,它可以增浓和增厚烟气^[20],对感官品质提升贡献明显。此外,3 种香料中也检测到苯乙醇、肉豆蔻醛、大马士酮、巨豆三烯酮、棕榈酸乙酯、亚麻酸乙酯等重要致香成分。值得注意的是,棕榈酸乙酯、亚麻酸乙酯仅在红花大金元香料中检测到,具有柔和烟气、增加烟香丰满度的作用^[21]。长叶烯是津巴布韦 KRK26 香料的特有成分,其阈值低且具有松针样木香,可能会为烟气带来生青杂气。

2.2 烟草浸膏烟用香料挥发性成分特征分析

2.2.1 挥发性成分 OPLS-DA 分析结果

不同烟草浸膏烟用香料中挥发性成分的 OPLS-DA 图、模型交叉验证结果和 VIP 见图 2。由图 2a) 计算自变量拟合指数 (R_x^2) 为 0.986, 因变量拟合指数 (R_y^2)

为 0.998, 模型预测指数 (Q^2) 为 0.996, R^2 和 Q^2 均 > 0.5, 表明该模型拟合结果可接受^[22]。由图 2b) 可知, Q^2 回归线与纵轴相交点小于 0, 说明模型不存在过拟合, 模型验证有效, 该结果可用于不同烟草浸膏香料的香气特征鉴别分析^[22]。由图 2c) 可知, 3 种香料中共存在 $VIP > 1$ 的挥发性成分 32 种。

2.2.2 挥发性成分聚类分析

根据 $P < 0.05$ 且 $VIP > 1$ 的标准进一步筛选出 26 种差异挥发性成分, 聚类热图见图 3。由图 3 可知, 3 种香料被明显区分为两大类, 表明它们在挥发性成分构成上存在显著差异。其中, 红花大金元香料在多数差异成分上的响应强度与另外 2 种香料明显不同, 呈现出独立的聚类趋势, 最终单独形成一类, 说明红花大金元香料在关键香气贡献成分上具有独特的组成特征, 体现出其独有的香气构型。相对地, 津巴布韦 KRK26 和巴西 PVH1452 香料则聚为另一类, 说明两者的挥发

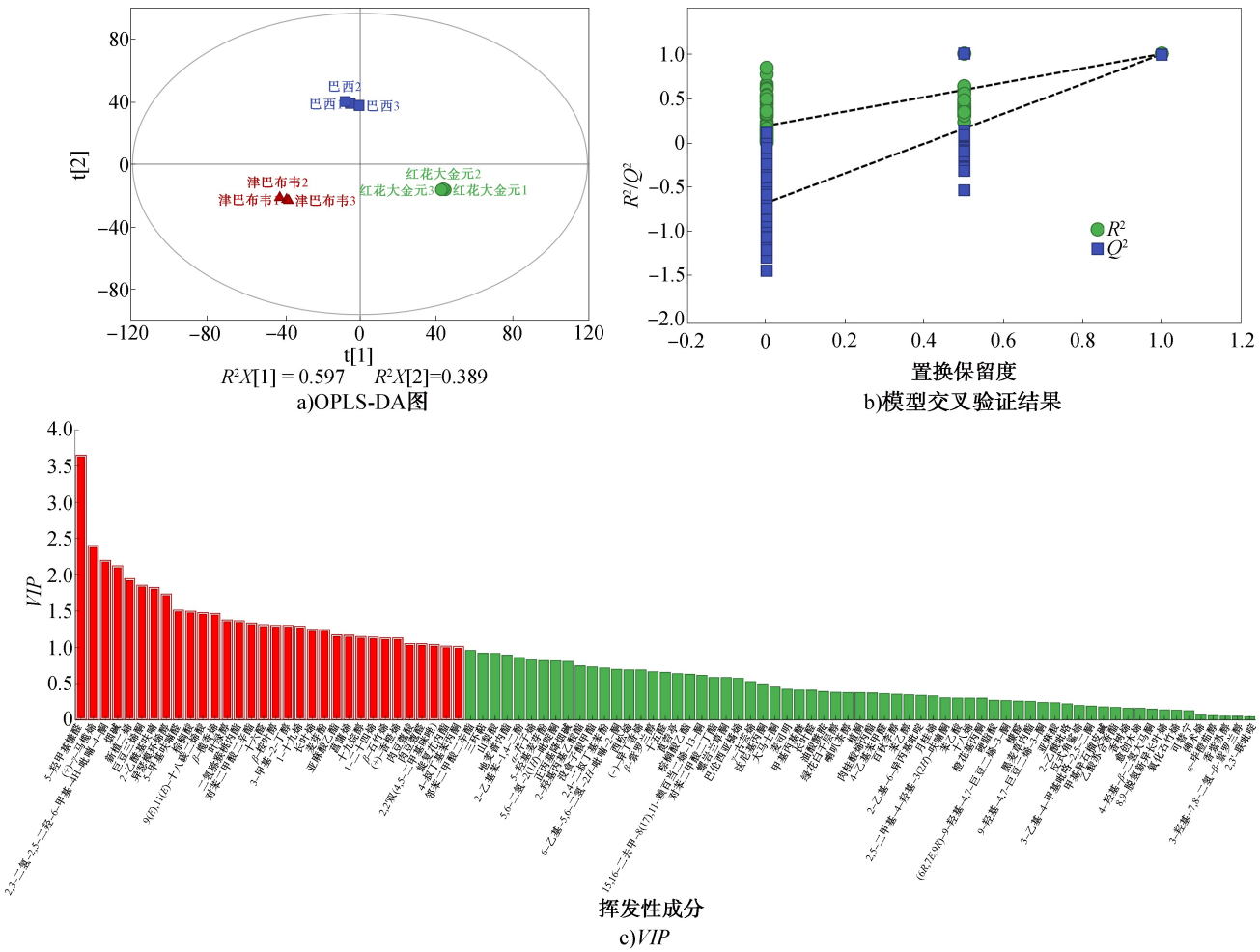


图2 不同烟草浸膏烟用香料中挥发性成分的 OPLS-DA 图、模型交叉验证结果和 VIP

Fig. 2 OPLS-DA score plots, model cross-validation results and variable importance in projection (VIP) values of volatile components in tobacco flavorings from different tobacco extracts

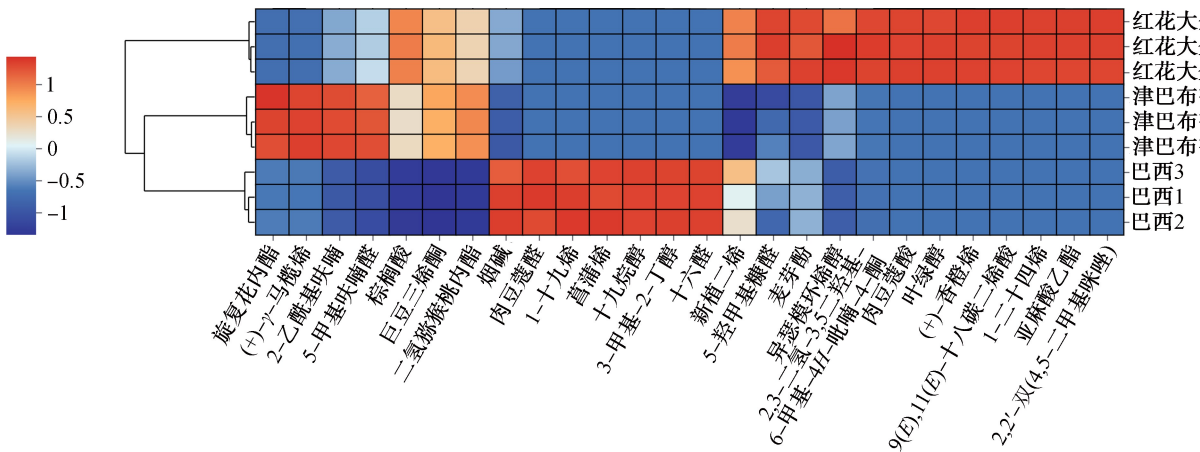


图3 不同烟草浸膏烟用香料中差异挥发性成分聚类热图

Fig. 3 Clustering heatmap of differential volatile components in tobacco flavorings from different tobacco extracts

性成分谱图更为接近,在多数差异成分上的含量变化趋势一致。

2.2.3 关键差异挥发性成分的 OAV 分析 26 种差异挥发性成分 OAV 分析结果见表 1。由表 1 可知,3 种香料的差异挥发性成分中包含醇类 4 种、醛类 2 种、酮类 1 种、酯类 3 种、酸类 3 种、烯炔类 6 种、杂环类 6 种和生物碱 1 种,其中 18 种挥发性成分可计算 OAV,认为这些差异挥发性成分可能对判别不同香料的香气特征具有重要作用。

相较于其他 2 种香料,红花大金元香料中 OAV 较为突出的化合物有 DDMP (82.44)、麦芽酚 (27.68)、5-羟甲基糠醛(2.19),它们都是美拉德反应经典产物,可赋予卷烟焦香、甜香和醇甜感;其次,肉豆蔻酸(5.28)会使烟气变得柔和^[25],(+)-香橙烯(15.10)具有柑橘香,可以为烟气带来果香;叶

绿醇(169.58)是新植二烯前体物^[26],其本身具有青草香,降解不完全可能为烟气带来杂气;新植二烯、异瑟模环烯醇未查到相关阈值,这 2 种化合物在红花大金元香料中含量均最高,它们本身不带香气或香气较弱,是烟草香气物质的重要前体物,通过醇化过程或热裂解产生香气。有研究^[27-28]表明,异瑟模环烯醇与烟气焦香呈正相关,新植二烯可在抽吸时携带部分香气小分子进入烟气,增浓增厚烟气。以上结果可能是红花大金元香料区别于其他 2 种香料的原因,这与陈兴等^[29]研究结果较一致。除新植二烯、异瑟模环烯醇之外,还有 1-十九烯,9(*E*), 11(*E*)-十八碳二烯酸等 7 种化合物也未查询到阈值,部分为前体物质或结构复杂的杂环类、烯炔类化合物,其在烟气中可能通过热裂解、重排等途径影响加香效果。

表 1 不同烟草浸膏烟用香料中差异挥发性成分 OAV

Table 1 OAV of differential volatile compounds in tobacco flavorings from different tobacco extracts

挥发性成分	阈值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	OAV			香气描述
		红大金元	巴西 PVH1452	津巴布韦 KRK26	
异瑟模环烯醇	—	—	—	—	木香
叶绿醇	0.64	169.58 ± 1.18	0	0	青草香
3-甲基-2-丁醇	110.48	0	0.61 ± 0.01	0	果香,腥味,可能产生不良气息
十九醇	—	—	—	—	/
肉豆蔻醛	100.00	0	0.44 ± 0.01	0	果香、奶油香
十六醛	0.91	0	75.23 ± 2.07	0	纸板味
巨豆三烯酮	0.40	529.49 ± 4.67	200.48 ± 2.01	553.89 ± 6.22	清甜烟草香
亚麻酸乙酯	45.00	1.45 ± 0.01	0	0	淡淡脂香、果香气息
二氢猕猴桃内酯	0.4	158.19 ± 0.90	0.06 ± 0.00	206.50 ± 1.98	香豆素香、木质香
旋复花内酯	—	—	—	—	/
棕榈酸	10.00	12.26 ± 0.14	1.90 ± 0.06	9.04 ± 0.09	蜡质,轻微脂肪样气味
肉豆蔻酸	10.00	5.28 ± 0.06	0	0	轻微蜡质,脂肪、椰子样香
9(<i>E</i>),11(<i>E</i>)-十八碳二烯酸	—	—	—	—	/
新植二烯	—	—	—	—	清香
(+)-香橙烯	4.04	15.10 ± 0.11	0	0	柑橘香
(+)- γ -马榄烯	5.60	4.19 ± 0.23	6.08 ± 0.30	52.26 ± 0.39	木质香
1-二十四烯	—	—	—	—	/
1-十九烯	—	—	—	—	/
菖蒲烯	0.42	0	129.27 ± 2.88	0	草本、薄荷、香草样香
5-羟甲基糠醛	663.66	2.19 ± 0.04	1.32 ± 0.15	1.15 ± 0.13	焦甜香
DDMP	5.00	82.44 ± 0.72	36.24 ± 0.36	37.45 ± 0.14	板栗样甜香
2-乙酰基呋喃	58.50	1.04 ± 0.02	0.32 ± 0.01	3.05 ± 0.02	焦糖香、坚果香
5-甲基呋喃醛	0.5	116.01 ± 4.42	24.93 ± 1.18	244.68 ± 5.10	甜香、辛香
麦芽酚	3.30	27.68 ± 0.69	9.05 ± 0.14	1.70 ± 0.17	甜焦糖香
2,2'-双(4,5-二甲基咪唑)	—	—	—	—	/
烟碱	260.00	2.66 ± 0.01	3.24 ± 0.03	2.48 ± 0.02	刺激性气味

注:—表示未查到相关阈值,无法计算 OAV,其余各成分阈值参考文献[22-24]所得;/表示无实际意义。

红花大金元香料与津巴布韦 KRK26 香料之间, 巨豆三烯酮与二氢猕猴桃内酯的 *OAV* 较为接近, 都是卷烟重要中性香味成分, 能显著增强烟香、改善吸味。此外, 津巴布韦 KRK26 中 5-甲基呋喃醛 (244.68)、2-乙酰基呋喃 (3.05) 的 *OAV* 较为突出, 可以为烟气带来焦糖香、甜香、辛香, 此外 (+)- γ -马榄烯 (52.26) 的 *OAV* 超过其他 2 种香料 8 倍以上, 呈现木质香, 这种化合物在烟草浸提物中并不常见, 可能是倍半萜或单萜等天然萜类化合物的热降解与分子重排所产生^[30]。相比之下, 巴西 PVH1452 香料中特有且 *OAV* 较为突出的挥发性成分仅有菖蒲烯 (129.27), 具有草本、薄荷、香草样香气。

2.3 不同烟草浸膏及其制备的烟用香料感官评价结果分析

不同烟草浸膏及其制备的烟用香料的烟气特征评价结果见图 4。由图 4 可知, 与烟草浸膏相比, 烟用香料的加香效果均有所提升, 这可能是由于美拉德反应会产生 5-甲基呋喃醛、麦芽酚、DDMP 等杂环香味成分。其中红花大金元香料的提升效

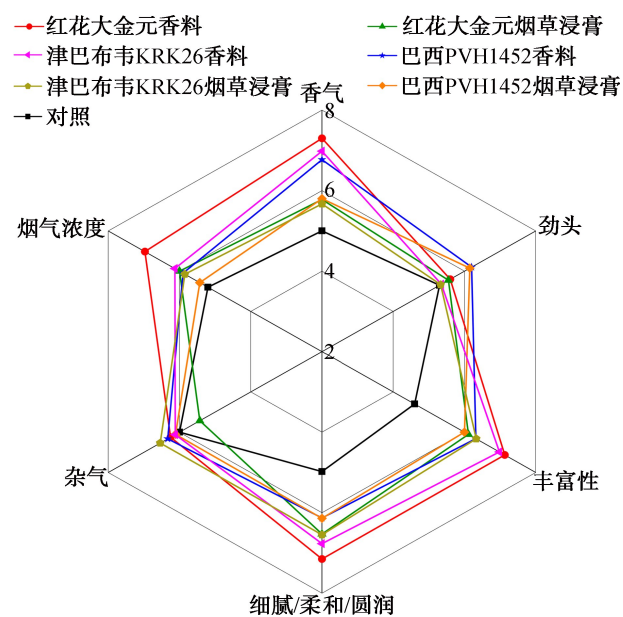


图 4 不同烟草浸膏及其制备的烟用香料烟气特征评价结果

Fig. 4 Evaluation results of smoke characteristics of different tobacco extracts and tobacco flavors prepared therefrom

果最明显, 在烟气浓度、香气、丰富性及细腻/柔和/圆润度 4 个指标上均获得最高评分, 优于其他组, 表明红花大金元香料不仅强化了卷烟烟气的浓度和香气层次, 还使烟气更加饱满、柔和, 整体提升了卷烟的感官品质。然而, 红花大金元香料含有的叶绿醇会略增杂气。

巴西 PVH1452 组的表现相对有限, 其在劲头指标上的提升最为显著, 其他指标提升幅度较小, 这可能与其浸膏原料中烟碱含量较高有关。津巴布韦 KRK26 组的感官表现介于其他 2 组之间, 烟用香料在烟气浓度、香气、丰富性等指标上的得分略低于红花大金元香料, 但优于巴西 PVH1452 香料。

3 结论

为开发新型烟用香料, 本研究以红花大金元、津巴布韦 KRK26 和巴西 PVH1452 3 种烟草浸膏为原料, 与葡萄糖焦糖化液混合后进行美拉德反应制备烟用香料。采用 GC-MS 和 OPLS-DA 对反应产物中的挥发性成分进行定性与定量分析, 以 $P < 0.05$ 且 $VIP > 1$ 为筛选标准, 识别关键呈香差异挥发性成分, 计算其 *OAV*, 解析不同烟草浸膏香料的特征香气成分及其潜在贡献。结果表明, 3 种香料共有 97 种挥发性成分, 26 种关键挥发性差异成分, 3 种香料在香气特征上存在明显差异, 其中红花大金元香料中 DDMP ($OAV = 82.44$)、麦芽酚 ($OAV = 27.68$) 等化合物赋予其焦甜和醇厚的香气特征; 津巴布韦 KRK26 香料中 (+)- γ -马榄烯 ($OAV = 52.26$) 和 5-甲基呋喃醛 ($OAV = 244.68$) 等化合物呈现木质香和焦甜香; 巴西 PVH1452 香料中的菖蒲烯 ($OAV = 129.27$) 则具有明显的草本、薄荷样香气。在感官上, 红花大金元香料显著改善了卷烟烟气浓度、香气层次和柔和性; 津巴布韦 KRK26 香料表现出较为均衡的香气特性; 而巴西 PVH1452 香料的加香效果相对有限, 主要体现为可增强烟气劲头。下一步研究将结合 PLS 回归分析, 建立关键成分与感官间的量化关系模型, 进一步探讨不同类型烟草浸膏美拉德反应的制备条件与机理, 并尝试用混合浸膏进行美拉德反应, 探究不同原料间的协同效应。

参考文献:

- [1] 叶建斌,齐晓娜,张婷婷,等. 红茶菌发酵制备特色酸香型烟草浸膏[J]. 食品与生物技术学报, 2021, 40(10):104-111.
YE J B, QI X N, ZHANG T T, et al. Production of characteristic acid fragrance tobacco extract by fermentation using microbe from kombucha[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2021, 40(10):104-111.
- [2] 丁莎,申涛榕,张艳飞,等. 基于随机森林算法的烟草提取物类别识别模型研究[J]. 分析测试学报, 2023, 42(11):1510-1516.
DING S, SHEN T R, ZHANG Y F, et al. Study on classification model for tobacco extracts based on random forest algorithm [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2023, 42(11):1510-1516.
- [3] 冀唯妮,余其昌,黄菲,等. 响应面法优化分子蒸馏提纯烟梗浸膏的工艺[J]. 烟草科技, 2019, 52(2):79-87.
JI W N, YU Q C, HUANG F, et al. Application of response surface method to optimize purification of tobacco stem extract by molecular distillation[J]. Tobacco Science & Technology, 2019, 52(2):79-87.
- [4] 王倩玉. 低次烟叶浸膏、精油的制备及其在卷烟加香中的应用研究[D]. 南昌:南昌大学, 2022.
WANG Q Y. Preparation of low-grade tobacco leaf extracts and essential oils and their application in cigarette flavoring [D]. Nanchang: Nanchang University, 2022.
- [5] THENG A H P, OSEN R, CHIANG J H. Influence of reducing sugars and protein-to-sugar ratios on volatile profile, pH, and browning intensity of Maillard-reacted nutritional yeast hydrolysate [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2024, 59(9):6325-6339.
- [6] LEE J, ROUX S, LE ROUX E, et al. Unravelling caramelization and Maillard reactions in glucose and glucose +leucine model cakes: Formation and degradation kinetics of precursors, α -dicarbonyl intermediates and furanic compounds during baking [J]. Food Chemistry, 2022, 376:131917.
- [7] 任可,李天福,杨雪彪,等. 云南德宏烤烟品种 KRK26 烟叶质量特征分析[J]. 西南农业学报, 2019, 32(10):2438-2444.
REN K, LI T F, YANG X B, et al. Analysis of quality characteristics of flue-cured tobacco cultivar KRK26 in Dehong Yunnan [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2019, 32(10):2438-2444.
- [8] 刘涛,曹建敏,郭存,等. 不同烤烟品种化学成分及致香物质差异分析[J]. 中国烟草科学, 2023, 44(2):74-82.
LIU T, CAO J M, GUO C, et al. Difference analysis on chemical composition and aroma components of different flue-cured tobacco cultivars [J]. Chinese Tobacco Science, 2023, 44(2):74-82.
- [9] 朱远洋,郭鹏,郑美玲,等. 焦糖化香料的制备及其在卷烟中的应用研究[J]. 化学试剂, 2020, 42(10):1154-1159.
ZHU Y Y, GUO P, ZHENG M L, et al. Preparation of caramelized flavors and application in cigarettes [J]. Chemical Reagents, 2020, 42(10):1154-1159.
- [10] LIU S Y, SUN H J, MA G, et al. Insights into flavor and key influencing factors of Maillard reaction products: A recent update [J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9:973677.
- [11] 李天笑,蒋忠荣,贾玉红,等. 挤压法复合焦糖香料的制备及卷烟应用研究[J]. 轻工学报, 2021, 36(4):51-57.
LI T X, JIANG Z R, JIA Y H, et al. Study on the preparation and cigarette application of synergistic caramel products by extrusion method [J]. Journal of Light Industry, 2021, 36(4):51-57.
- [12] CHEN Z F, XI G L, FU Y F, et al. Synthesis of 2, 3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4H-pyran-4-one from maltol and its taste identification [J]. Food Chemistry, 2021, 361:130052.
- [13] 缪兴瑜,王清华,柴春蓉,等. 酿酒酵母和植物乳杆菌强化发酵对咖啡挥发性风味的影响[J]. 食品工业科技, 2025, 46(7):1-10.
MIAO X Y, WANG Q H, CHAI C R, et al. Effects of enhanced fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus plantarum* on volatile flavor of coffee [J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(7):1-10.
- [14] 国家烟草专卖局. 卷烟 中式卷烟风格感官评价方法: YC/T 497—2014 [S]. 北京:中国标准出版社, 2014.
State Tobacco Monopoly Administration. Cigarettes—Sensory evaluation method for Chinese-style cigarettes: YC/T 497—2014 [S]. Beijing: China Standards Press, 2014.
- [15] AKTAĞ I G, GÖKMEN V. Investigations on the formation of α -dicarbonyl compounds and 5-hydroxymethylfurfural in fruit products during storage: New insights into the role of Maillard reaction [J]. Food Chemistry, 2021, 363:130280.
- [16] GÖNCÜOĞLU T A S N, GÖKMEN V. Maillard reaction and caramelization during hazelnut roasting: A multiresponse kinetic study [J]. Food Chemistry, 2017, 221:1911-1922.
- [17] 韩咚林,况玉林,刘永思,等. 利用 PY-GC/MS 研究低温和不同气氛下加热不燃烧烟草薄片烟气释放行为 [J]. 化学研究与应用, 2021, 33(11):2203-2209.
HAN D L, KUANG Y L, LIU Y S, et al. Smoke release behaviors of heat not burning tobaccos under different atmosphere and low temperature using PY-GC/MS [J]. Chemical Research and Application, 2021, 33(11):2203-2209.
- [18] 黎英,赵镭,史波林,等. 基于归类法和 GC-MS 的花椒

- 精油香气特性及关键香气物质分析[J]. 现代食品科技, 2025, 41(2): 309-319.
- LI Y, ZHAO L, SHI B L, et al. Analysis of aroma characteristics and key aroma compounds of *Zanthoxylum* essential oils based on sorting and GC-MS [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(2): 309-319.
- [19] 张洪权, 刘文琪, 肖长生, 等. GC/MS 法结合保留指数分析车前叶黄腺香青花茎叶挥发油的化学成分[J]. 中药新药与临床药理, 2019, 30(11): 1379-1384.
- ZHANG H Q, LIU W Q, XIAO C S, et al. Analysis of chemical components in the essential oils of the flower, stem and leaf of *Anaphalis aureopunctata* var. *plantaginifolia* Chen. by GC/MS combined with retention index [J]. Traditional Chinese Drug Research and Clinical Pharmacology, 2019, 30(11): 1379-1384.
- [20] WU Y P, ZHANG H Y, WANG W Y, et al. Characterization of volatile organic compounds and aroma sensory properties in Yunnan cigar [J]. Journal of Analytical Methods in Chemistry, 2024, 2024(1): 9583022.
- [21] 徐坚, 陈联明, 沈靖轩, 等. 微波无溶剂萃取蝶豆花净油及其在卷烟中的应用[J]. 应用化工, 2020, 49(S1): 266-270.
- XU S, CHEN L M, SHEN J X, et al. Microwave solvent-free extraction of butterflies flower oil and its application in cigarettes [J]. Applied Chemical Industry, 2020, 49(S1): 266-270.
- [22] YUN J, CUI C J, ZHANG S H, et al. Use of headspace GC/MS combined with chemometric analysis to identify the geographic origins of black tea [J]. Food Chemistry, 2021, 360: 130033.
- [23] WEI Y M, YIN X C, WU H T, et al. Improving the flavor of summer green tea (*Camellia sinensis* L.) using the yellowing process [J]. Food Chemistry, 2022, 388: 132982.
- [24] 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.
- [25] 魏涛, 陈顺心, 黄申, 等. β -胡萝卜素降解菌 HC-3 发酵条件优化及其对再造烟叶浓缩液增香效果研究[J]. 轻工学报, 2020, 35(2): 24-32.
- WEI T, CHEN S X, HUANG S, et al. Optimization of fermentation conditions of β -carotenes degrading strain HC-3 and its effect on aroma enhancement of reconstituted tobacco concentrate [J]. Journal of Light Industry, 2020, 35(2): 24-32.
- [26] 杨志晓, 夏海乾, 蔡凯, 等. 特色烟草新品种贵烟 28 的选育及其特征特性[J]. 中国烟草科学, 2024, 45(5): 1-7.
- YANG Z X, XIA H Q, CAI K, et al. Breeding and characteristics of a new special tobacco variety Guiyan28 [J]. Chinese Tobacco Science, 2024, 45(5): 1-7.
- [27] 窦思颖, 张华, 沈海峰, 等. 渗透汽化结合 GC-MS 分析豫烟浸膏的风味组分[J]. 分析测试学报, 2024, 43(6): 837-847.
- DOU S Y, ZHANG H, SHEN H F, et al. Analysis of flavor components in yuyan extract based on pervaporation and GC-MS [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2024, 43(6): 837-847.
- [28] 贺佩, 王以慧, 耿召良, 等. 不同产区雪茄茄芯烟叶关键挥发性香气成分分析[J]. 中国烟草科学, 2023, 44(1): 92-99.
- HE P, WANG Y H, GENG Z L, et al. Study on key volatile aroma components of cigar filler from different producing areas [J]. Chinese Tobacco Science, 2023, 44(1): 92-99.
- [29] 陈兴, 张天栋, 邓国宾, 等. 红大烟花香料挥发性成分分析及其在卷烟中的应用[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2018, 33(4): 663-668.
- CHEN X, ZHANG T D, DENG G B, et al. Analysis of the volatile components extracted from hongda flowers and their application in tobacco [J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2018, 33(4): 663-668.
- [30] 李志星, 祝富祥, 邱磊, 等. 国产雪茄烟叶发酵过程中部分不良挥发性成分与微生物菌群变化的关联性[J]. 烟草科技, 2024, 57(7): 21-32.
- LI Z X, ZHU F X, QIU L, et al. The correlation between some undesirable volatile components and microbial community changes during fermentation of domestic cigar tobacco [J]. Tobacco Science & Technology, 2024, 57(7): 21-32.

Study on the preparation of tobacco flavors from tobacco extracts based on Maillard reaction

LI Weize¹, WANG Fushen², ZONG Dongyue³, QU Lili², LIU Hanchi², LI Jiaxin², LIU Chunkui², XU Chunping²

1. Technical center, Guangxi Tobacco Industry Co., Ltd., Nanning 530001, China;

2. College of Tobacco Science and Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China;

3. Technical center, Jiangsu Tobacco Industry Co., Ltd., Nanjing 210019, China

Abstract: **[Objective]** To develop novel tobacco flavorings from tobacco extracts via the Maillard reaction, and analyze the characteristic discrepancies among the flavorings prepared from tobacco extracts of different producing areas. **[Methods]** Tobacco flavorings were prepared by mixing different flue-cured tobacco extracts with glucose caramelization aqueous solution separately, followed by the Maillard reaction. Volatile components were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), and key differential volatile components were identified via orthogonal partial least squares discriminant analysis (OPLS-DA) with $P < 0.05$ and $VIP > 1$ as the screening thresholds. Meanwhile, the major aroma-active compounds were evaluated based on odor activity values (OAVs). The aroma characteristics of the three flavorings were compared by integrated cluster analysis and sensory evaluation. **[Results]** Totally, 26 key differential volatile aroma-active components were identified. In the Honghua Dajinyuan flavoring, 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4H-pyran-4-one (DDMP, $OAV = 82.44$), maltol ($OAV = 27.68$), myristic acid ($OAV = 5.28$) and 5-hydroxymethylfurfural ($OAV = 2.19$) could impart caramel sweetness and slight roasted aroma to cigarettes. In the Zimbabwe KRK26 flavoring, (+)- γ -maaliene ($OAV = 52.26$) and 5-methylfurfural ($OAV = 244.68$) contributed woody and caramel-sweet aromas to cigarettes. In the Brazil PVH1452 flavoring, calamenene ($OAV = 129.27$) provided obvious herbal and mint-like aromas. Cluster analysis revealed that the Honghua Dajinyuan flavoring formed an independent cluster in terms of aroma characteristics, whereas the Zimbabwe KRK26 flavoring and Brazil PVH1452 flavoring were grouped into one cluster. Furthermore, the Honghua Dajinyuan flavoring significantly improved cigarette smoke concentration, aroma volume, fineness, softness and mellowness; the Zimbabwe KRK26 flavoring exhibited favorable overall balance; while the improvement effect of the Brazil PVH1452 flavoring was relatively marginal. **[Conclusion]** Tobacco extracts from different origins can produce tobacco flavorings with significantly distinct styles via the Maillard reaction, among which the Honghua Dajinyuan flavoring exhibits broader application prospects.

Key words: Maillard reaction; tobacco flavoring; tobacco extract; odor activity value; orthogonal partial least squares discriminant analysis

[责任编辑: 王晓波 贾学伟]