



何红梅, 尤晓娟, 王鸣, 等. 基于单料烟的加热卷烟与传统卷烟香气成分释放差异分析[J]. 轻工学报, 2024, 39(3): 99-108.
HE H M, YOU X J, WANG M, et al. Differential analysis in aroma component release between heated cigarettes and traditional cigarettes based on unblended leaf tobacco[J]. Journal of Light Industry, 2024, 39(3): 99-108.
DOI: 10.12187/2024.03.012

基于单料烟的加热卷烟与传统卷烟香气成分释放差异分析

何红梅, 尤晓娟, 王鸣, 郭宏霞, 郑晓云, 徐如彦, 石怀彬, 饶先立

江苏中烟工业有限责任公司 技术中心, 江苏 南京 210019

摘要: 将10种单料烟分别制备成加热卷烟和传统卷烟两种类型卷烟样品, 采用GC-MS分析和正交偏最小二乘法判别分析(OPLS-DA)模型评价加热卷烟气溶胶和传统卷烟主流烟气中香气成分的释放差异。结果表明: 加热卷烟气溶胶和传统卷烟主流烟气中分别鉴定出53种和77种香气成分; 两者共有香气成分47种, 其中13种香气成分在加热卷烟气溶胶中的释放量较为突出, 除乙酸、 γ -丁内酯外, 其他11种均是醛酮类化合物; 筛选出两种卷烟中存在显著释放差异的香气成分53种, 包含吡嗪吡啶类7种、酮类12种、呋喃类4种、酸类9种、酯类3种、酚类8种、烃类9种、醇类1种, 从差异性香气成分在该类别总鉴定成分的占比来看, 酚类香气成分在两种卷烟中的释放差异性最为显著, 其余依次为烃类、吡嗪吡啶类、酸类、酯类、酮类、呋喃类、醇类。

关键词: 单料烟; 加热卷烟; 传统卷烟; 香气成分; 正交偏最小二乘法判别分析

中图分类号: TS41⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-1553(2024)03-0099-10

0 引言

加热卷烟是一种新型烟草制品, 其工作原理是通过热源对烟芯材料进行加热, 使烟芯材料在较低温度且非燃烧的状态下释放出可供吸食烟雾^[1]。加热卷烟和传统卷烟的抽吸品质和口感都不相同, 说明加热卷烟气溶胶与传统卷烟主流烟气的粒径分布、常规化学成分、香气成分等均存在差异^[2]。香气成分是卷烟品质的重要感官因素之一, 为了明晰传统卷烟主流烟气中香气成分的组成、形成机理、各

种香气成分的赋香作用等, 国内外烟草科技工作者从香气成分的检测方法^[3-5]、差异化^[6-7]、影响因素^[8-9]和转移率^[10-11]等方面开展了大量研究, 取得了丰硕成果。对于加热卷烟, 目前的研究主要集中在对香气成分进行定性定量分析^[12-14]及转移行为分析^[15]等方面。此外, 也有研究人员对比分析了市售加热卷烟与传统卷烟香气成分释放的差异, 如邓其馨等^[16]分析了不同加热温度下3款加热卷烟和1款传统卷烟烟气中酸性成分释放差异, 发现加热卷烟中酸性香气成分的释放量和种类均低于传统卷

收稿日期: 2023-07-10; 修回日期: 2023-09-05; 出版日期: 2024-06-15

基金项目: 中国烟草总公司重大科技项目(110202201014(JY-14)); 江苏中烟工业有限责任公司科技项目(202115)

作者简介: 何红梅(1986—), 女, 安徽省安庆市人, 江苏中烟工业有限责任公司工程师, 主要研究方向为烟草化学及新型烟草制品。E-mail: hehm@jszygs.com

通信作者: 饶先立(1984—), 男, 河南省商丘市人, 江苏中烟工业有限责任公司工程师, 主要研究方向为烟草产品及新型烟草制品。E-mail: raoxl@jszygs.com

烟,不同加热卷烟酸性香气成分的释放量也存在明显差异。王颖等^[17]考查了3款加热卷烟和5款传统卷烟中香气成分的释放情况,发现抽吸加热卷烟时,单位口数酸性香味成分的释放量相对较低,而中性及碱性香味成分释放量相对较高,与传统卷烟相比,加热卷烟烟气中来源于烟草本身的香气质及香气量均较低。杨继等^[18]利用顶空-气相色谱/质谱法分析了不同温度下典型加热卷烟烟草材料和传统卷烟烟丝的挥发性成分,发现两者均在200℃时检测到的烟气挥发性成分最多,且加热卷烟烟草材料中典型挥发性成分的释放量随温度的升高先增大后减小。但现有研究多集中在市售加热卷烟和传统卷烟,不同品牌产品因加入的香精香料等添加剂种类、含量不一致,其结果不能真实体现两种类型卷烟在各自抽吸方式下香气成分释放的差异。

单料烟是卷烟生产的主要原料,其品质直接影响卷烟产品的吸食体验。目前,有关单料烟的研究多集中于将单料烟烟叶/粉末在模拟的加热卷烟温度条件进行裂解分析^[12,19],未考虑单料烟/粉末在制备成加热卷烟样品时香气成分释放情况。基于此,本文拟采用GC-MS技术对10种单料烟制备的加热卷烟和传统卷烟中香气成分种类及释放量进行分析,结合OPLS-DA模型筛选出加热卷烟气溶胶与传统卷烟主流烟气中的差异性香气成分,以期为加热卷烟的设计开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

主要材料:10种单料烟烟叶样品,其具体信息见表1。将单料烟分别制备成10种传统卷烟和加热卷烟,其中,传统卷烟圆周24.3 mm,烟支总长度84.0 mm,滤嘴长度20 mm,烟丝质量0.65 g/支,记为CT1—10;加热卷烟圆周22.8 mm,烟支总长度45 mm,醋酸滤嘴段10 mm,降温段23 mm,烟芯材料段12 mm,烟芯材料为由单料烟经稠浆法制成的有序再造烟叶烟芯,烟芯质量0.28 g/支,记为JR1—10。每类样品除烟叶原料不同外,其他卷烟辅助材料完全相同。

主要试剂:二氯甲烷(色谱纯),美国TEDIA公

表1 单料烟烟叶样品具体信息
Table 1 Specific information of unblended leaf tobacco sample

样品	产区	等级	品种	年份
1	湖南郴州	C3F	云烟87	2020
2	河南三门峡	C3F	秦烟96	2020
3	贵州遵义	C3F	云烟87	2020
4	贵州毕节	C3F	云烟87	2020
5	云南楚雄	C3F	云烟87	2020
6	福建三明	C3F	翠碧一号	2020
7	湖南郴州	B2F	云烟87	2020
8	福建三明	B2F	翠碧一号	2020
9	河南三门峡	X2F	秦烟96	2020
10	云南楚雄	B2F	云烟87	2020

司;苯甲酸乙酯(纯度99.5%),美国Sigma-Aldrich公司;无水硫酸钠(纯度99.9%),国药集团化学试剂有限公司;44 mm剑桥滤片、92 mm剑桥滤片,德国Borgwaldt公司。

主要仪器:RM20 H型20孔道吸烟机,德国Borgwaldt公司;7890A/5957型气相色谱-质谱(GC-MS)联用仪,美国Agilent公司;ME204/02型电子天平(感量0.0001 g),瑞士Mettler Toledo公司;HY-5A型回旋振荡器,江苏省金坛市讯生仪器厂;Buchi/R-300旋转蒸发仪,瑞士BUCHI公司;Tobacco Heating Device 2.4 PLUS型iQOS烟具,菲利普莫里斯国际集团公司。

1.2 实验方法

1.2.1 卷烟抽吸及样品前处理方法 采用文献^[20]规定的条件调节卷烟样品,随机选取20支平衡后的卷烟,按照加拿大深度抽吸模式(抽吸容量55.0 mL、抽吸时间2 s、抽吸频率30 s)进行抽吸。对于加热卷烟,每4支卷烟主流烟气捕集在一张44 mm剑桥滤片上,抽吸5轮,20支卷烟捕集在5张滤片上,将这5张滤片置于锥形瓶中。对于传统卷烟,每20支卷烟主流烟气捕集在一张92 mm剑桥滤片上,将此滤片置于锥形瓶中。向上述放置了滤片的锥形瓶中加入含有2.5 μg/mL苯甲酸乙酯(内标)的二氯甲烷溶液60 mL,振荡萃取30 min后加入6 g无水硫酸钠振荡静置15 min。过滤后,准确移取萃取液40 mL于浓缩瓶,通过旋转蒸发仪常压浓缩至1 mL左右,过有机滤膜后得待测液,备用。

1.2.2 香气成分鉴定方法 使用 GC-MS 联用仪对加热卷烟和传统卷烟的待测液进行检测,鉴定两者释放的香气成分。色谱条件:色谱柱为 HP-Innowax(60 m×0.25 mm,0.25 μm);载气为高纯氮气;载气流量为 1.0 mL/min;进样量为 1 μL;进样口温度为 230 ℃;分流比为 10:1;程序升温为起始温度 70 ℃(保持 5 min),以 2 ℃/min 的速率升温至 240 ℃(保持 20 min)。质谱条件:电子轰击(EI)离子源;电子能量 70 eV;离子源温度为 230 ℃;传输线温度为 250 ℃;质量扫描范围为 33~300 amu,扫描方式为全扫描模式。

基于 NIST17 标准谱库对香气成分进行定性,以苯甲酸乙酯为内标对浓缩后的待测液进行体积校正,同时,以苯甲酸乙酯标准工作曲线对待测液的目标香气成分进行半定量,计算公式如下。

$$m_i = \left(\frac{A_i - b}{k} \right) \times \frac{m_s}{c_s}$$

其中, m_i 为目标香气成分的质量/μg; A_i 为目标香气成分的峰面积,斜率 k 、截距 b 由苯甲酸乙酯标准系列溶液的线性回归方程求出, $\frac{A_i - b}{k}$ 为目标香气成分的质量浓度/(μg·mL⁻¹); m_s 为苯甲酸乙酯的添加量/μg; c_s 为浓缩后苯甲酸乙酯的实际检测质量浓度/(μg·mL⁻¹)。

$$\omega_i = \frac{m_i}{m_t} \times \frac{V_1}{V_2}$$

其中, ω_i 为目标香气成分的质量浓度/(μg·g⁻¹); V_1 为滤片总萃取液体积,本文为 60 mL; V_2 为待测液浓缩前体积,本文为 40 mL; m_t 为待测液对应的烟芯材料或烟丝质量/g。

1.3 数据分析

热图能够简单、直观地展示研究对象数据量差异变化情况。采用 metaboanalyst (<http://www.meta-boanalyst.ca>) 对加热卷烟气溶胶和传统卷烟主流烟气香气成分进行共有成分聚类热图分析。将加热卷烟气溶胶和传统卷烟主流烟气香气成分鉴定结果标准化处理后导入 SIMCA 软件,使用 OPLS-DA 模型对样品进行分类。

变量投影重要性(VIP)可用于筛选对加热卷烟

和传统卷烟感官有重要影响的香气成分,VIP 值越大,说明香气成分在两种卷烟间的差异越显著,一般认为 VIP≥1 的物质差异显著。利用 SIMCA-P 14.1 软件进行正交偏最小二乘法判别分析,计算预测 VIP,采用 VIP 排序对 OPLS-DA 模型中香气成分进行筛选。对于 VIP>1 的香气成分,采用 SPSS 软件进行单因素方差分析筛选香气成分,以 P<0.01 表示具有显著差异的物质。根据 VIP>1 且 P<0.01 的标准,筛选出加热卷烟和传统卷烟间存在的差异性香气成分,并利用 metaboanalyst 在线绘制差异性香气成分聚类热图。

2 结果与讨论

2.1 加热卷烟和传统卷烟香气成分分析

2.1.1 GC-MS 鉴定结果 加热卷烟气溶胶和传统卷烟主流烟气香气成分鉴定结果见表 2。由表 2 可知,传统卷烟主流烟气共鉴定出 77 种香气成分,其中,吡嗪吡啶类化合物 10 种、酮类化合物 19 种、呋喃类化合物 7 种、酸类化合物 14 种、酯类化合物 4 种、酚类化合物 8 种、烯炔类化合物 12 种、醇类化合物 3 种;加热卷烟气溶胶中共鉴定出 53 种香气成分,其中,吡嗪吡啶类化合物 7 种、酮类化合物 16 种、呋喃类化合物 7 种、酸类化合物 8 种、酯类化合物 4 种、酚类化合物 3 种、烯炔类化合物 4 种、醇类化合物 4 种;两者共有香气成分 47 种,仅存在于加热卷烟气溶胶的香气成分有 6 种,仅存在于传统卷烟主流烟气的香气成分有 30 种。

2.1.2 共有香气成分分析结果 加热卷烟气溶胶和传统卷烟主流烟气中共有香气成分的聚类热图如图 1 所示,图中每一行代表一种香气成分,颜色由蓝变红代表释放量由低到高,下同。由图 1 可知,共有成分中,传统卷烟主流烟气中大部分香气成分释放量高于加热卷烟,这主要是因为传统卷烟香气成分少部分来自烟叶中蒸馏的游离香气成分,大部分来自高温下烟叶中前体物质的裂解^[21],而加热卷烟香气成分的主要来源仅仅是低温蒸馏。图 1 区域 A 中,小部分香气成分在加热卷烟气溶胶中释放量较高,包括乙酸、糠醛、5-甲基糠醛、呋喃酮、4-环戊烯-1,3-二酮、γ-丁内酯、麦芽酚、糠醇、1-羟基-2-

表2 加热卷烟气溶胶和传统卷烟主流烟气中香气成分鉴定结果
Table 2 Identification results of aroma components in aerosol of heated cigarettes and mainstream smoke of traditional cigarettes

类别	香气成分	释放量		类别	香气成分	释放量		
		传统卷烟	加热卷烟			传统卷烟	加热卷烟	
吡嗪 吡啶类	2-甲基吡嗪	3.27±0.74	0.92±0.50	酸类	丙酸	11.57±2.59	8.16±1.77	
	3-甲基吡啶	6.83±1.94	0.25±0.16		丁酸	4.79±1.08	—	
	2,3-二甲基吡啶	1.31±0.57	0.15±0.10		丙烯酸	2.66±0.85	—	
	2,6-二甲基吡嗪	1.41±0.43	0.24±0.26		异巴豆酸	3.81±1.67	1.04±0.11	
	3-乙基吡啶	4.65±2.76	0.10±0.07		3-甲基戊酸	4.71±4.00	1.06±0.44	
	3-乙基吡啶	14.97±5.35	—		苯甲酸	15.98±4.95	—	
	3-乙酰氧基吡啶	6.34±1.51	—		肉豆蔻酸	11.22±1.63	—	
	2-甲基-3-羟基吡啶	6.53±3.27	—		棕榈酸	347.91±44.31	115.23±26.39	
	3-羟基吡啶	33.55±10.60	17.89±7.66		硬脂酸	61.84±8.72	17.95±6.31	
	2,3'-联吡啶	21.8±7.13	7.00±2.49		油酸	76.74±20.44	31.35±6.31	
酮类	3-羟基-2-丁酮	1.91±0.48	5.37±1.12	酯类	亚油酸	102.76±23.02	—	
	羟基丙酮	21.89±2.52	110.81±22.91		亚麻酸	164.08±33.55	52.29±9.52	
	2-环戊烯酮	10.88±1.38	3.25±0.49		乙酸甲酯	17.50±3.87	0.63±0.28	
	甲基环戊烯醇酮	9.79±1.63	0.78±0.42		α-当归内酯	—	0.15±0.15	
	1-羟基-2-丁酮	2.54±0.98	3.20±0.58		γ-丁内酯	1.056±0.23	5.49±1.39	
	2-环己烯-1-酮	—	0.34±0.22		棕榈酸甲酯	14.16±4.99	—	
	2,3-二甲基-2-环戊烯酮	5.62±2.59	1.51±0.61		亚麻酸甲酯	10.64±3.11	8.56±3.05	
	3-甲基-2-环戊烯-1-酮	6.41±2.46	1.21±0.48		酚类	愈创木酚	35.80±6.78	13.69±3.16
	4-环戊烯-1,3-二酮	5.04±1.42	10.22±2.91			苯酚	26.68±5.51	10.80±3.83
	1,2-环己二酮	—	1.23±1.13			间甲酚	15.97±4.96	—
茄酮	12.66±3.45	30.47±6.89	对乙基苯酚	12.10±3.24		—		
3-甲基-1,2-环戊二酮	14.65±3.27	—	对乙烯基愈创木酚	8.66±2.81		—		
乙基环戊烯醇酮	5.14±1.67	4.69±3.11	邻苯二酚	107.55±17.88		—		
麦芽酚	4.38±0.66	15.03±3.04	邻甲基对苯二酚	10.83±3.91		—		
1-茛酮	6.34±1.13	—	对苯二酚	91.63±23.35		9.85±2.67		
2-吡咯烷酮	7.62±3.48	—	烃类	1-十二烯		3.28±1.39	—	
2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮	110.10±18.01	202.26±51.10		罗勒烯		3.90±1.50	—	
4,7,9-巨豆三烯-3-酮	32.68±9.88	—		苯乙烯	6.05±2.00	—		
3,5-二羟基-2-甲基-4H-吡喃-4-酮	24.33±8.48	—		1-十三烯	3.64±0.59	—		
3-羟基-β-大马酮	11.08±2.98	11.65±4.22		4-甲基苯乙烯	6.35±1.89	—		
9-羟基-4,7-巨豆二烯-3-酮	14.08±6.76	8.65±3.42		2,4-二甲基苯乙烯	2.33±2.13	—		
糠醛	15.22±4.03	28.81±11.59		紫罗烯	0.751±0.23	0.75±0.41		
2-乙酰基呋喃	—	3.36±0.87		1-乙基-2-甲基环戊烯	3.21±0.89	—		
5-甲基糠醛	11.31±3.59	22.42±6.47		1-十四烯	6.41±1.50	—		
糠醇	13.22±2.82	68.69±16.27		萘	16.42±2.17	11.99±2.85		
呋喃类	5-甲基糠醇	—	3.43±2.86	新植二烯	262.07±97.27	52.24±14.68		
	呋喃酮	2.73±0.75	14.30±8.36	正二十一烷	71.12±25.71	15.98±6.71		
	5-羟甲基糠醛	176.80±74.86	90.84±61.75	醇类	2,3-丁二醇	—	1.17±1.23	
	2,3-二氢苯并呋喃	28.90±6.31	—		DL-薄荷醇	18.32±4.63	15.80±9.99	
	5-羟甲基二氢呋喃-2-酮	17.82±3.38	—		苯甲醇	4.33±0.76	1.46±0.68	
酸类	乙酸	122.88±24.82	230.75±64.72		对羟基苯乙醇	15.53±6.71	2.04±0.85	
	甲酸	6.60±3.40	—					

注:—表示未检测到。

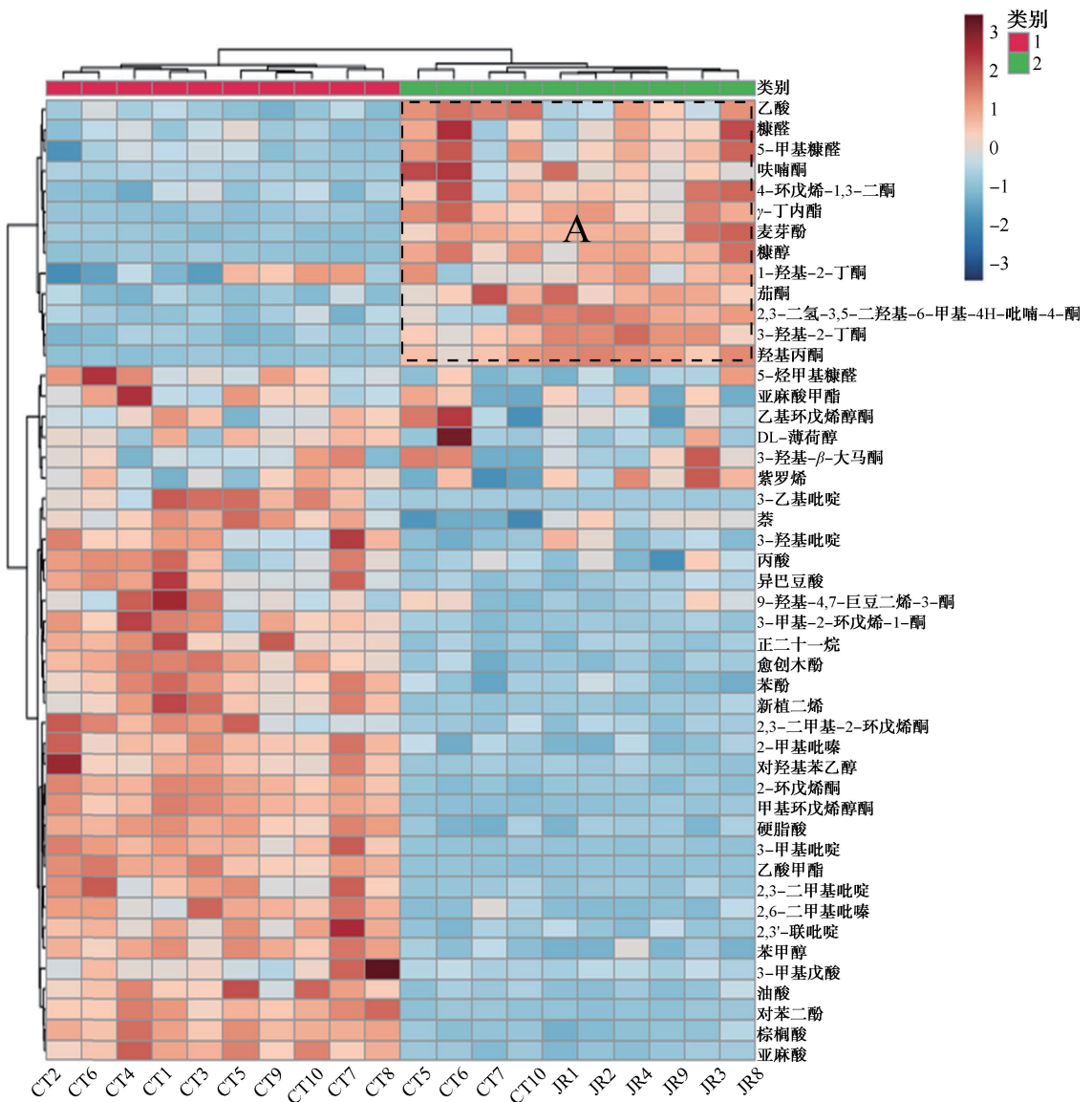


图1 加热卷烟气溶胶和传统卷烟主流烟气共有香气成分的聚类热图
Fig. 1 Cluster heatmap of common aroma components in aerosol of heated cigarettes and mainstream smoke of traditional cigarettes

丁酮、茄酮、2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮、3-羟基-2-丁酮、羟基丙酮,多是酮类、呋喃类化合物。这可能是由于烟气中的酮类、呋喃类化合物主要是碳水化合物在加热条件下产生的,当加热温度高于 300 °C 时,它就可以构成烟气香味的主要成分之一。加热卷烟最高加热温度在 350 °C 左右,具备醛酮类香气成分生成的物质基础和形成条件,因此,与其他香气成分相比,加热卷烟气溶胶中部分醛酮类香气成分释放量较突出^[13,22]。

2.1.3 加热卷烟和传统卷烟香气成分分类结果

加热卷烟气溶胶和传统卷烟主流烟气中香气成分的 OPLS-DA 得分图如图 2 所示。由图 2 可知,该研究

中的自变量拟合指数 (R^2_x) 为 0.766, 因变量拟合指数 (R^2_y) 为 0.999, 模型预测指数 (Q^2) 为 0.988, R^2 和 Q^2 都大于 0.5, 表示模型拟合结果可接受, 两组样品挥发性香气成分明显聚为两类, 说明两者香气成分存在明显的差异。为验证模型是否存在过拟合现象, 对该模型进行了 200 次置换检验, 结果见图 3, R^2 和 Q^2 的截距分别为 0.815 和 -0.564, 说明模型有效, 不存在过拟合现象。

2.2 加热卷烟和传统卷烟差异性香气成分分析

2.2.1 差异性香气成分筛选 加热卷烟气溶胶和传统卷烟主流烟气中差异性香气成分筛选结果见表 3。

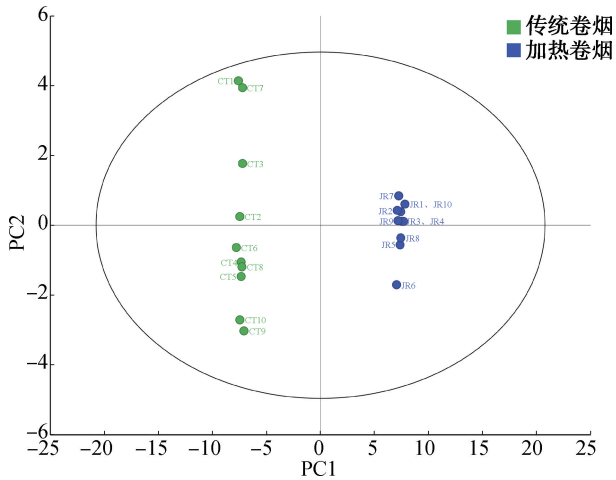


图2 加热卷烟气溶胶和传统卷烟主流烟气香气成分的OPLS-DA得分图

Fig. 2 OPLS-DA plots of the aroma components in aerosol of heated cigarettes and mainstream smoke of traditional cigarettes

由表3可知,2种卷烟样品中共筛选出53种差异性香气成分,包含7种吡嗪吡啶类、12种酮类、4种呋喃类、9种酸类、3种酯类、8种酚类、9种烃类和1种

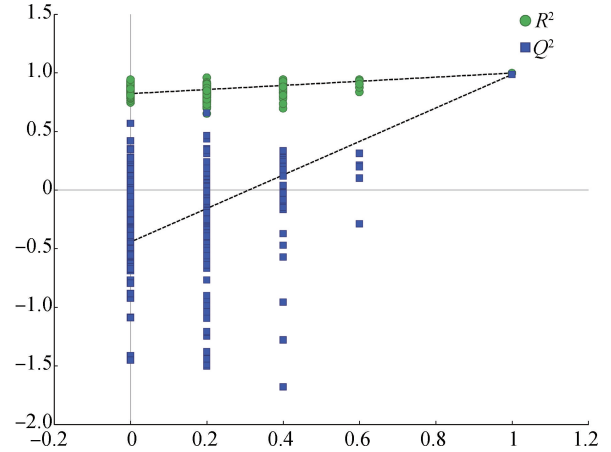


图3 OPLS-DA模型置换检验图

Fig. 3 Permutation test of OPLS-DA model

表3 加热卷烟气溶胶和传统卷烟主流烟气中差异性香气成分筛选结果

Table 3 Screening results of differential aroma components in aerosol of heated cigarettes and mainstream smoke of traditional cigarettes

类别	香气成分	VIP	类别	香气成分	VIP	
吡嗪吡啶类	3-甲基吡啶	1.119 5	酸类	丁酸	1.124 7	
	3-乙酰氧基吡啶	1.119 0		丙烯酸	1.094 8	
	3-乙烯基吡啶	1.074 2		亚麻酸	1.094 3	
	2-甲基吡嗪	1.057 7		苯甲酸	1.088 5	
	2,3'-联吡啶	1.025 9		油酸	1.049 2	
	2,6-二甲基吡嗪	1.015 3	酯类	乙酸甲酯	1.129 6	
	2,3-二甲基吡啶	1.005 1		γ -丁内酯	1.081 4	
甲基环戊烯醇酮	1.147 3	棕榈酸甲酯		1.077 0		
酮类	2-环戊烯酮	1.146 3	酚类	邻苯二酚	1.146 0	
	1-茛酮	1.145 8		对乙炔基愈创木酚	1.114 4	
	3-甲基-1,2-环戊二酮	1.125 3		对乙基苯酚	1.110 7	
	羟基丙酮	1.114 0		间甲酚	1.104 7	
	4,7,9-巨豆三烯-3-酮	1.103 3		对苯二酚	1.100 5	
	麦芽酚	1.095 5		邻甲基对苯二酚	1.090 3	
	3,5-二羟基-2-甲基-4H-吡喃-4-酮	1.079 3		愈创木酚	1.076 4	
	3-羟基-2-丁酮	1.065 9		苯酚	1.056 1	
	茄酮	1.034 5		烃类	1-十三烯	1.156 4
	3-甲基-2-环戊烯-1-酮	1.027 4			4-甲基苯乙烯	1.124 2
2-吡咯烷酮	1.026 1	1-十四烯	1.121 0			
呋喃类	5-羟甲基二氢呋喃-2-酮	1.139 1	1-乙基-2-甲基环戊烯		1.110 6	
	2,3-二氢苯并呋喃	1.132 9	苯乙烯		1.108 0	
	2-乙酰基呋喃	1.111 3	罗勒烯		1.084 4	
	糠醇	1.091 8	新植二烯		1.056 3	
酸类	肉豆蔻酸	1.157 7	1-十二烯	1.054 7		
	棕榈酸	1.133 8	正二十一烷	1.011 1		
	硬脂酸	1.129 7	醇类	苯甲醇	1.072 3	
	亚油酸	1.129 6				

酮类、呋喃类差异性香气成分中,有6种在加热卷烟气溶胶的释放情况较传统卷烟更为突出(图4区域B),其中,具有焦甜香的糠醇、麦芽酚,具有奶香的3-羟基-2-丁酮、羟基丙酮,以及能显著增强烟香的茄酮,在加热卷烟气溶胶的释放量高于传统卷烟;具有坚果香的2-乙酰基呋喃仅在加热卷烟中有释放。如前所述,这可能是由于加热卷烟具备醛酮类香气成分生成的物质基础和形成条件。

筛选出的9种酸类差异性成分均在传统卷烟中释放量比较高。差异性不显著的5种酸类香气成分分别是乙酸、甲酸、丙酸、3-甲基戊酸和异巴豆酸,均为小分子有机酸,且乙酸在加热卷烟中的释放量高于传统卷烟。有研究^[16]表明,当加热温度为200~300℃时,甲酸、乙酸在加热卷烟气溶胶中的释放量和迁移量快速增加,在300℃之后增幅减缓,进一步证明了加热卷烟具备释放甲酸、乙酸等小分子有机酸的温度条件。这也说明对于挥发性小分子有机酸,可以通过直接向加热卷烟添加的方式转移进气溶胶。因此在调配香精香料时,可选择合适的有机酸种类及添加量,通过调节气溶胶的pH值,改变气溶胶中游离态烟碱的释放量,进而改善加热卷烟的劲头、刺激性等感官风格和品质。

酯类单体香料是一类具有甜香、果香、花香等香韵的烟用香料,因与卷烟烟香协调而被广泛使用在卷烟调香中,其不仅能够赋予加热卷烟优雅的香气特征,而且具有香味补偿作用。3种酯类差异性化合物中,乙酸甲酯在传统卷烟中的释放量远高于加热卷烟,棕榈酸甲酯仅在传统卷烟中被检出,而具有奶香的 γ -丁内酯在加热卷烟中的释放量高于传统卷烟。

传统卷烟主流烟气中鉴定出8种酚类香气成分,且均为差异性成分,加热卷烟气溶胶仅有愈创木酚、苯酚、对苯二酚3种物质释放,且它们在传统卷烟主流烟气中的释放量远高于加热卷烟,推测是由于酚类物质的产生与温度密切相关,当加热温度 <300 ℃时,酚类物质释放量较低^[25]。有文献^[26]指出,酚类化合物是卷烟烟熏香最重要的来

源,愈创木酚、苯酚、对乙基苯酚、对乙烯基愈创木酚等都是对传统卷烟烟熏香韵贡献较大的香气成分;酚类物质释放量的显著差异,是加热卷烟烟熏香明显弱于传统卷烟的主要原因,通过提高酚类化合物的释放量以提升新型烟草制品的烟熏香特征是增强加热卷烟烟草风味特征的重要手段之一。

9种差异性烃类香气成分在加热卷烟气溶胶中的释放量均明显低于传统卷烟,烟气中烃类物质的形成种类与裂解温度有关^[23],当反应温度为400~600℃时,会生成烯烃和一系列的正烷烃;当温度达到500℃时,会生成苯及其同系物;当温度为700℃时,会生成萘;当温度高于800℃时,则会生成大量的稠环芳烃。因此,加热卷烟气溶胶中烃类物质的释放量较少甚至没有。加热卷烟中仅鉴定出的4种烃类物质中,新植二烯的释放量最高,其主要由调制加热卷烟原料过程中叶绿素降解生成的叶绿醇脱水生成,在加热时可直接转移进入气溶胶^[27-30]。新植二烯自身带有清香气,同时具有减少刺激性、醇和烟气的作用,其释放量的高低不仅直接影响卷烟的吃味和香气,而且还影响其他致香成分的形成。

加热卷烟气溶胶和传统卷烟主流烟气中仅筛选出苯甲醇1种差异性醇类化合物,其在传统卷烟中的释放量高于加热卷烟,且有相当一部分是由不挥发的糖苷或者原料中苯丙氨酸裂解而成,随着温度的升高,其释放量逐渐增加^[26]。苯甲醇能丰富卷烟烟香,也是传统卷烟重要的致香物质。未来研究中可结合这些香气成分在加热卷烟和传统卷烟中释放量的差异进行加热卷烟产品开发设计。

3 结论

本文采用GC-MS技术对由10种单料烟制成的加热卷烟和传统卷烟中香气成分的释放种类和释放量进行比较,通过OPLS-DA及聚类热图筛选分析二者的差异性香气成分。结果表明,传统卷烟释放的香气成分种类和释放量较加热卷烟突出,基于VIP值和P值筛选出与卷烟品质相关的53种香气

成分在二者间的释放量差异达到显著水平,包含吡嗪吡啶类 7 种、酮类 12 种、呋喃类 4 种、酸类 9 种、酯类 3 种、酚类 8 种、烃类 9 种和醇类 1 种,其中,酚类香气成分在两种卷烟中的释放差异性最为显著。相较于加热卷烟,传统卷烟主流烟气中香气成分种类较多、释放量较高,这可能是其特征香气形成的物质基础,本文研究结果可为加热卷烟产品配方设计提供数据支撑。

参考文献:

- [1] 刘亚丽,王金棒,郑新章,等. 加热不燃烧烟草制品发展现状及展望[J]. 中国烟草学报,2018,24(4):91-106.
- [2] 吴君章,沈光林,孔浩辉,等. 不同单料烟叶主流烟气气溶胶粒度分布差异[J]. 中国烟草学报,2015(2):10-18.
- [3] 刘嘉莉,建辉,虞苏行,等. HS-SPME-GC/MS 法测定主流烟气中 8 种香味成分的逐口释放量[J]. 烟草科技,2016(1):31-37,71.
- [4] 阎瑾,鲍峰伟,牛丽娜,等. 吹扫捕集-气相色谱/质谱测定烟支挥发性成分[J]. 烟草科技,2020,53(4):50-58.
- [5] 李登科,田楠,田志章,等. 应用顶空气相-离子迁移谱与相对气味活度值法分析卷烟特征香气物质[J]. 分析测试学报,2021,40(8):1164-1170.
- [6] 邓其馨,苏明亮,黄延俊,等. 不同滤嘴通风中细支卷烟烟气主要中性和碱性香味成分逐口释放规律[J]. 中国烟草学报,2022,28(1):17-26.
- [7] 楚文娟,王宏伟,田海英,等. 圆周及滤嘴通风对卷烟主流烟气碱性香味成分释放量的影响[J]. 烟草科技,2020,53(2):34-41.
- [8] 纪旭东,何山,赵赛月,等. 不同风格类型卷烟碱性香味成分差异化研究[J]. 西南农业学报,2020,33(3):651-657.
- [9] 曹建敏,别瑞,王玉华,等. 烤烟新品种中烟特香 301 特征香气物质研究[J]. 中国烟草科学,2022,43(2):64-70.
- [10] 吴秉宇,费婷,罗辰,等. 细支卷烟不同加香方式香味成分的转移行为[J]. 烟草科技,2021,54(1):24-31.
- [11] 古君平,陶红,汪军霞,等. 卷烟滤嘴设计对爆珠单体香料成分释放行为的影响[J]. 烟草科技,2021,54(1):32-45.
- [12] 刘钻福,窦玉青,张本强,等. 烘烤工艺对加热卷烟烤烟原料香气成分及感官质量的影响[J]. 中国烟草科学,2022,43(3):57-63.
- [13] 罗彦波,陈小静,李翔宇,等. 化学衍生-液相色谱-串联质谱法测定加热卷烟烟气中的醛酮类香味成分[J]. 分析化学,2020,48(6):794-801.
- [14] 司晓喜,向本富,蒋薇,等. 加热卷烟气溶胶中香气成分的 GC-MS/MS 同时测定和比较[J]. 食品与机械,2021,37(6):86-96.
- [15] 陈芝飞,陈泽少,罗灿选,等. 加热卷烟气溶胶中 6 种酯类单体香料转移行为研究[J]. 轻工学报,2022,37(3):58-64.
- [16] 邓其馨,陈辉,林艳,等. 温度对加热卷烟酸性成分释放的影响[J]. 烟草科技,2022,55(8):49-56.
- [17] 王颖,杨文彬,王冲,等. 加热不燃烧卷烟产品主流烟气中香味成分的比较[J]. 食品与机械,2019,35(6):64-68.
- [18] 杨继,汤建国,尚善斋,等. 利用顶空-GC/MS 法对比新型卷烟和传统卷烟的挥发性成分[J]. 烟草科技,2015,48(11):33-39.
- [19] 刘天择,杨菁,汪旭,等. 不同部位烤烟化学成分及热解产物与加热卷烟感官质量的关系[J]. 中国烟草科学,2023,44(1):77-84.
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 烟草及烟草制品 调节和测试的大气环境:GB/T 16447—2004[S]. 北京:中国标准出版社,2004.
- [21] 罗昌荣,张乾,印黔黔,等. 多步逐级裂解技术研究卷烟燃时香味成分形成与温度之间的关系[J]. 食品与生物技术学报,2022,41(12):96-104.
- [22] JAMES M, LIU C, CHRISTOPHER P, et al. Assessment of tobacco heating product THP1.0[J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology,2018,93:14-33.
- [23] 董文霞. 裂解气相色谱-质谱法在烟草分析中的应用研究[D]. 杭州:浙江工业大学,2014.
- [24] VICKI B, RAMESH S, DONALD M, et al. Physical characterization of pyrolyzed tobacco and tobacco components [J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis,2003,66(1/2):191-215.
- [25] MCGRATH T E, BROWN A P, MERUVA N K, et al. Phenolic compound formation from the low temperature pyrolysis of tobacco[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis,2009,84(2):170-178.
- [26] 朱浩,柴国璧,迟广俊,等. 卷烟主流烟气烟熏香成分的感官导向分析[J]. 烟草科技,2017,50(1):41-49.
- [27] 周慧明,华青,陶立奇,等. 加热非燃烧状态下再造烟叶颗粒香味成分的释放行为[J]. 烟草科技,2019,52(5):67-76.
- [28] 孙胜南,卢真保,赵星宇,等. 超临界 CO₂ 萃取两种典型品种烟草净油及其致香成分与感官品质对比研究[J]. 轻工学报,2023,38(4):84-89.
- [29] 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.

KRK26 烟叶香气成分差异分析[J]. 轻工学报, 2023, 38(5): 74-82.

[30] 帖金鑫, 张青松, 李永生, 等. 加拿大烟叶与云南

Differential analysis in aroma component release between heated cigarettes and traditional cigarettes based on unblended leaf tobacco

HE Hongmei, YOU Xiaojuan, WANG Ming, GUO Hongxia, ZHENG Xiaoyun,

XU Ruyan, SHI Huaibin, RAO Xianli

Technology Center, China Tobacco Jiangsu Industrial Co., Ltd., Nanjing 210019, China

Abstract: To investigate the differences in aroma components release between the heated cigarette and traditional cigarette, 10 unblended leaf tobacco were prepared into two types of cigarettes. The aroma components in the aerosol of heated cigarettes and in the mainstream smoke of traditional cigarette were analyzed by GC/MS. And orthogonal partial least squares discriminant analysis (OPLS-DA) model were used to evaluate the differences of aroma components in the two types of cigarettes. The results showed that a total of 53 and 77 aroma components were identified in the aerosol of heated cigarettes and in the mainstream smoke of traditional cigarettes, respectively. Among the 47 common components, the release of 13 aroma components in the heated cigarettes were more than traditional cigarettes, such as, acetic acid, γ -Butyrolactone and the other 11 aldehyde ketone compounds. 53 different aroma components between heated cigarettes and traditional cigarettes were screened by OPLS-DA, including 7 pyrazine-pyridines, 12 ketones, 4 furans, 9 acids, 3 esters, 8 phenols, 9 hydrocarbons, and 1 alcohol. According to the proportion of differential aroma components in the total identified components of the same category, the most significant differences in the release of phenolic components were observed between the two types of cigarettes, followed by hydrocarbons, pyrazine-pyridines, acids, esters, ketones, furans, alcohols.

Key words: unblended leaf tobacco; heated cigarette; traditional cigarette; aroma component; orthogonal partial least squares discriminant analysis

[责任编辑:吴晓亭]