



柴武君,郑闪闪,游金清,等. 烟丝结构对中支卷烟的燃烧特性及烟气香味成分的影响[J]. 轻工学报, 2025, 40(3): 104-114.
CHAI W J, ZHENG S S, YOU J Q, et al. Effects of cut tobacco structure on combustion characteristics and smoke aroma components of medium-sized cigarettes[J]. Journal of Light Industry, 2025, 40(3): 104-114.
DOI: 10.12187/2025.03.012

烟丝结构对中支卷烟的燃烧特性及烟气香味成分的影响

柴武君¹, 郑闪闪¹, 游金清¹, 李茂松¹, 陆成飞¹, 薛晶晶², 杨靖²

1. 浙江中烟工业有限责任公司 技术中心, 浙江 宁波 315000;
2. 郑州轻工业大学 烟草科学与工程学院, 河南 郑州 450001

摘要: 以中支卷烟为研究对象, 采用方差分析、CRITIC 法等综合评价不同烟丝结构对中支卷烟燃烧性能的影响, 利用 GC-MS 法测定卷烟烟气香味成分, 结合偏最小二乘判别法 (PLS-DA) 和聚类分析解析香味成分差异, 并进行感官品质评价。结果表明: 当卷烟整丝率为 84%、长丝率为 68% 时, 卷烟 CRITIC 法综合得分最高, 燃烧性能最佳; 卷烟烟气中 89 种香味成分的总量随整丝率增大呈先增加后减少的趋势, 在整丝率为 84% 时达到最高值; 不同类别香味成分变化趋势各异, 随整丝率的增大, 烯烃类物质含量增加, 酸类、酚类及醛类物质含量呈先增加后减少的趋势, 杂环类物质含量则呈先减少后增加的趋势; 不同烟丝结构的卷烟烟气香味成分具有显著差异; 整丝率为 84% 的卷烟样品综合品质最佳, 与燃烧性能及香味物质分析结果一致。

关键词: 烟丝结构; 中支卷烟; 燃烧特性; 香味成分; CRITIC 法; PLS-DA; 感官品质

中图分类号: TS452 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-1553(2025)03-0104-11

0 引言

中支卷烟是继短支卷烟之后提出的新中式卷烟创新品类, 在减害降焦、降本增效等方面具有潜在的天然优势, 也是近年来卷烟行业发展的热点^[1]。目前, 科研工作者对卷烟的研究多集中于卷烟机组设备优化^[2-3]、烟丝结构调控^[4]、卷烟材料设计^[5]及烟气成分分析^[6]等方面。其中, 烟丝结构是影响卷烟产品品质的重要因素^[7-8], 它会影响卷烟物理指标、燃烧特性、主流烟气、感官品质等^[9]。燃

烧特性作为衡量烟支品质的重要指标, 会直接影响消费者的抽吸体验。目前, 对燃烧特性的研究通常采用图像分析^[10-12]、机器视觉^[13-14]、结合层次分析法^[13]进行定量评价等方法, 研究目的多集中在优化卷烟纸参数^[13]、调整烟丝和卷烟机组参数以改善卷烟包灰性能等方面^[10], 且研究对象多为细支卷烟和常规卷烟^[9, 15], 关于中支卷烟燃烧特性的研究报道较少, 尤其是有关不同烟丝结构中支卷烟的燃烧特性差异的研究更是鲜见报道。主流烟气是卷烟燃烧过程中产生的一种重要物质, 其成分包括多种气

收稿日期: 2024-05-27; 修回日期: 2024-07-29; 出版日期: 2025-06-15

基金项目: 中国烟草总公司重大科技项目 (110202201053(SJ-03)); 浙江中烟工业有限责任公司科技项目 (2023330000340 288)

作者简介: 柴武君 (1975—), 男, 浙江省宁波市人, 浙江中烟工业有限责任公司工程师, 主要研究方向为卷烟工艺。E-mail: chaiwj@zjtobacco.com

通信作者: 杨靖 (1972—), 男, 河南省南阳市人, 郑州轻工业大学教授, 主要研究方向为烟草化学与香精香料。E-mail: 13623810925@126.com

体和颗粒物。已有研究者比较了不同烟丝结构卷烟主流烟气的差异,发现长丝比例较低时有利于降低烟气中有害物质的释放^[16];而切丝宽度适当减小可提升烟气的甜润感和细腻程度,同时降低杂气和刺激性^[17]。然而,目前有关不同烟丝结构中支卷烟烟气中香味成分差异的研究仍较少。

基于此,本研究拟以中支卷烟为研究对象,采用 CRITIC (Criteria Importance though Intercriteria Correlation) 法评价中支卷烟的燃烧性能,利用 GC-MS 法测定卷烟烟气中的香味成分,并探究不同烟丝结构中支卷烟烟气香味成分的差异,确定中支卷烟适宜的烟丝结构,以期为中支卷烟品质的提升提供参考。

1 材料与方法

1.1 主要材料、试剂与仪器

主要材料:利群某牌号中支卷烟,由浙江中烟工业有限责任公司提供。

主要试剂:二氯甲烷,山东禹王和天下新材料有限公司;盐酸、氢氧化钠、无水硫酸钠,烟台市双双化工有限公司;纯净水,娃哈哈集团有限公司;2,6-二氯甲苯(纯度≥98%)、反-2-己烯酸(纯度≥98%),北京百灵威科技有限公司;硝基苯(纯度≥98%),西格玛奥德里奇公司。若无特指,所用试剂均为分析纯。

主要仪器:KBF240 型恒温恒湿箱,德国 Binder 公司;CFP800A 型卷烟燃烧锥落头倾向测试仪、BACST600 型卷烟包灰检测仪,合肥众沃仪器技术有限公司;持灰能力测试箱,郑州轻工业大学实验室自主设计并搭建;EOS70D 型数码相机,佳能(中国)有限公司;RM20H 型转盘式自动吸烟机,德国 Borgwaldt ke 公司;7890A-5977B 型气相色谱-质谱联用(GC-MS)仪,美国 Agilent 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备及基本性能测定 各中支卷烟样品烟丝结构设计值见表 1。根据烟丝结构设定要求,选取正常生产的烟丝作为筛选对象,通过筛分得到烟丝结构配比不同的 5 种样品,按照行业标准^[18]规定的方法检测烟丝整丝率、长丝率、中丝

率、短丝率、碎丝率。

依据圆周 22 mm、长度 84.0 mm(滤嘴长度 30.0 mm+烟支长度 54.0 mm)的烟支规格,卷制具有不同烟丝结构的烟支,并按(单支质量±70) mg 的范围筛选合格卷烟。按照国标^[19]要求进行烟支质量、水分、填充值、通风率等卷烟物理指标的检测。

1.2.2 燃烧性能检测 采用文献[14,20]方法测定卷烟的灰色、裂口率、缩灰率、碳线宽度、碳线整齐度、自由燃烧速率和持灰能力。其中,灰色反映卷烟灰柱整体的灰白程度,数值越大,烟灰越白;持灰能力指卷烟在自由燃烧状态下烟灰柱断裂瞬间的长度,这 2 项指标均为望大型指标。裂口率和缩灰率反映卷烟的包灰能力,为望小型指标。自由燃烧速率是卷烟燃烧特性的综合反映,为望目型指标。掉火头是指卷烟在抽吸过程中,因吸烟者对烟支进行瞬间弹动、抖动,使燃烧烟头出现分离或明显断裂现象,为望小型指标。采用卷烟燃烧锥落头倾向测试仪对卷烟掉头倾向(下文简称掉火头)进行检测。其中,弹击器的弹力为 392 m/N,夹持力度为 177 m/N,施力方式为敲击,施力频次为 2 次,施力时间为 0.120 s。以上指标每组样品均测定 50 次。

卷烟燃烧性能评价常用的方法为层次分析法,该方法为主观赋权法,易受人为因素的影响。CRITIC 法是通过计算指标的变异性和冲突性来确定权重^[21],其结果不依赖人为主观判断,更加科学准确。周沅桢等^[22]利用该方法建立了综合评价细支卷烟物理指标模型,实现了对细支卷烟综合卷制品质的客观评价。本文亦采用 CRITIC 法^[22]确定卷烟综合燃烧状态各指标权重,并按照下式计算燃烧

表 1 各中支卷烟烟丝结构设计值
Table 1 Design parameters of cut tobacco structure for medium-sized cigarettes

样品 编号	切丝宽 度/mm	整丝率/ %	长丝率/ %	中丝率/ %	短丝率/ %	碎丝率/ %
1 [#]	1.00	79.00	63.00	16.00	20.00	1.00
2 [#]	1.00	79.00	68.00	11.00	20.00	1.00
3 [#]	1.00	84.00	68.00	16.00	15.00	1.00
4 [#]	1.00	89.00	73.00	16.00	10.00	1.00
5 [#]	1.00	89.00	68.00	21.00	10.00	1.00

性能的总得分。

$$S_{ij} = \sum_{j=1}^7 (40X'_{ij} \times W_j) + 60$$

由于所测样品的物理指标符合合格烟支标准,故设定基准分为 60 分, X'_{ij} 代表各项指标的变异性, W_j 代表各项指标的冲突性。

1.2.3 烟气香味成分测定 按国标^[23]规定的方法,在转盘型吸烟机上以 ISO 抽吸模式进行抽吸,抽吸时固定烟支抽吸长度为 50 mm,口数不作固定,确保每支卷烟抽吸长度相同。采用潘立宁等^[24]、陈晨等^[25]、纪旭东等^[26]方法检测卷烟烟气中挥发性气体的酸性、中性、碱性香味成分,酸性成分采用超声萃取法,2 片剑桥滤片为一组,萃取液为 100 mL 的二氯甲烷,在 25 ℃、250 W、30 min 的条件下进行萃取,按文献^[24]的方法分离萃取液中的酸性组分,采用常压浓缩装置将萃取液浓缩至 1 mL,上样分析。采用同时蒸馏萃取法得到中性及碱性组分,每 10 张剑桥滤片为一组,置于 1000 mL 圆底烧瓶中,加入 400 mL 去离子水,连接于同时蒸馏萃取装置的一侧,另一侧连接盛有 100 mL 二氯甲烷的茄形瓶,当水相第一次回流计时,2.5 h 后得到萃取液,按照文献^[25-26]的方法进行中性和碱性组分的分离后,浓缩至 1 mL,上样分析。每组实验样品测定 3 次,结果取平均值。

GC 条件:DB-5 MS 毛细管柱(60 m×250 μm × 0.25 μm);进样口温度 280 ℃;载气为高纯 He;流速 1.0 mL/min;分流比 3 : 1,进样量 1.0 μL。升温程序:初始温度为 40 ℃,保持 10 min,以 4 ℃/min 的速率升温至 96 ℃,保持 5 min,以相同速率升温至 150 ℃,保持 8 min,以相同速率升温至 210 ℃,保持 8 min,以相同速率升温至 260 ℃,保持 10 min,结束。

MS 条件:采用 Scan 模式,传输线温度 280 ℃;

离子源温度 230 ℃;四极杆温度 150 ℃;离子源为 XTR-EI 源,电子能量 70 eV;溶剂延迟时间 8 min;扫描范围 10~550 amu。

1.2.4 感官评价方法 按照国标^[27]要求,邀请 7 位具有卷烟感官评吸资质的专家对 5 种卷烟样品进行感官品质评价,结果取平均值。

1.3 数据统计处理

在满足实际生产条件及符合工艺技术要求的标准下,探讨不同烟丝结构中支卷烟的燃烧性能差异,并采用偏最小二乘判别分析(PLS-DA)、聚类分析等方法探究不同烟丝结构中支卷烟烟气香味成分及感官品质的差异。利用 Image J 和 Adobe Photoshop 2023 图像分析软件分析图像,使用 SPSS 21.0、Excel 2019 等软件对不同烟丝结构中支卷烟的燃烧特性、烟气成分进行差异性分析。基于 INST20 数据库,对卷烟烟气成分进行定性分析,采用内标法进行半定量,得到香味成分的含量;采用 Origin 2021 软件绘制堆叠柱状图;使用 TB tools 绘制热图;利用 SIMCA 14.1 软件进行 PLS-DA,计算预测变量重要性投影(Variable Importance in Projection, VIP)。

2 结果与分析

2.1 烟支基本性能分析

烟丝结构及烟丝、烟支物理指标见表 2。由表 2 可知,烟丝结构符合要求,不同烟丝结构样品物理指标波动处于合理偏差范围内,均为合格烟支。

2.2 不同烟丝结构卷烟燃烧特性的差异分析

2.2.1 卷烟燃烧特性指标测定及方差分析 运用 SPSS 统计软件对 5 种卷烟样品的燃烧特性指标结果进行 K-S 检验和方差齐性检验,结果见表 3。由表 3 可知,除掉火头率外,其余燃烧性指标检测结果

表 2 烟丝结构及烟丝、烟支物理指标

Table 2 Physical parameters of cut tobacco and cigarette samples

样品 编号	切丝宽 度/mm	烟丝结构						烟丝物理指标		烟支物理指标	
		整丝 率/%	长丝 率/%	中丝 率/%	短丝 率/%	碎丝 率/%	整丝 率/%	填充值/ (cm ³ · g ⁻¹)	水分 含量/%	压降/ Pa	总通风 率/%
1 [#]	1.01	78.99	62.98	26.01	19.98	1.03	78.99	5.02	11.95	-97.20	31.42
2 [#]	1.02	78.94	68.03	10.91	20.04	1.02	78.94	5.03	11.96	-94.10	30.95
3 [#]	0.99	84.04	68.02	16.02	14.95	1.01	84.04	5.07	11.99	-96.30	31.23
4 [#]	1.02	89.03	73.02	16.01	9.98	0.99	89.03	5.13	11.94	-94.60	30.84
5 [#]	1.01	88.96	67.99	20.97	10.01	1.03	88.96	5.11	11.96	-95.00	31.21

符合正态分布,说明数据随机且分布均匀,方齐性检验 F 值大于 0.05,表明总体方差相等,满足方差分析的前提条件。5 种卷烟样品的掉火头率均为 0%,不同样品间无差异。

不同卷烟样品燃烧特性指标方差分析及事后检验结果见表 4。由表 4 可知,在 $\alpha=0.05$ 显著水平下,灰色、裂口率、缩灰率、自由燃烧速率和持灰能力的 P 值均小于 0.05,表明不同烟丝结构卷烟样品的这 5 项指标之间具有显著差异。

使用 Duncan 法对具有显著差异的燃烧特性指标进行多重比较(见表 4),发现随整丝率的增大,卷烟灰色值呈现先增大后减小的趋势,裂口率则反之,自由燃烧速率与整丝率呈负相关关系,且当整丝率为 84%时,灰色值最大,裂口率最低,自由燃烧

速率适中,此时卷烟烟灰最白,卷烟包灰更为紧实美观;当整丝率为 79%时,随长丝率增大,裂口率、碳线宽度增大,卷烟包灰松散,美观度下降。当整丝率为 89%时,缩灰率随长丝率的增大而增大,卷烟包灰能力变差。综上可知,整丝率为 84%时,燃烧性能最佳,且整丝率一定时,控制长丝率有利于增强卷烟包的灰能力。

2.2.2 基于 CRITIC 法的卷烟燃烧特性差异分析
为进一步探究不同烟丝结构卷烟燃烧特性的差异,基于 CRITIC 赋权法计算各燃烧指标的权重及综合得分。中支卷烟燃烧特性指标相关系数矩阵见表 5。由表 5 可知,卷烟部分燃烧特性指标间存在显著相关性,尤其是裂口率、缩灰率、碳线宽度、碳线整齐度、自由燃烧速率之间的相关性较为明显。在此

表 3 不同卷烟样品燃烧特性指标 K-S 检验及方差齐性检验结果
Table 3 K-S test and levene's test results for combustion characteristics of cigarette samples

项目	灰色	裂口率/ %	缩灰率/ %	碳线宽度/ mm	碳线整齐 度/mm	自由燃烧速率/ (mm·min ⁻¹)	持灰/ mm	掉火头 率/%
K-S 检验显著性	0.262	0.071	0.058	0.059	0.980	0.744	0.610	0
方差齐性检验显著性	0.183	0.127	0.471	0.565	0.217	0.707	0.446	0

表 4 不同卷烟样品燃烧特性指标方差分析及事后检验结果
Table 4 ANOVA and post hoc test table for combustion indicators of different cigarette samples

样品 编号	灰色	裂口率/ %	缩灰率/ %	碳线宽度/ mm	碳线整齐度/ mm	自由燃烧速率/ (cm·min ⁻¹)	持灰/ mm
1 [#]	110.50±3.70 ^b	2.10±0.80 ^{ab}	22.90±1.60 ^b	0.61±0.04 ^a	1.90±0.08 ^a	6.25±0.30 ^b	42.20±3.10 ^b
2 [#]	113.20±5.20 ^{ab}	2.60±1.00 ^a	22.80±2.50 ^b	0.63±0.05 ^a	1.90±0.14 ^a	6.23±0.25 ^b	41.80±3.30 ^b
3 [#]	116.60±6.50 ^a	1.40±0.40 ^b	23.20±2.10 ^b	0.62±0.04 ^a	1.93±0.09 ^a	6.06±0.36 ^{ab}	44.50±3.90 ^{ab}
4 [#]	109.80±5.90 ^b	1.50±0.70 ^b	24.50±1.20 ^a	0.61±0.06 ^a	1.93±0.10 ^a	5.98±0.34 ^{ab}	45.80±3.20 ^a
5 [#]	109.60±5.50 ^b	2.50±1.30 ^a	22.90±2.30 ^b	0.64±0.06 ^a	1.95±0.08 ^a	5.82±0.37 ^a	45.60±2.50 ^a
F 值	3.50	4.60	3.25	0.41	0.64	3.97	4.25
P 值	0.013	0.003	0.020	0.799	0.636	0.007	0.005

注:同列数据后字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表 5 中支卷烟燃烧特性指标相关系数矩阵
Table 5 Correlation coefficient matrix for combustion characteristics of medium-sized cigarettes

指标	灰色	裂口率	缩灰率	碳线宽度	碳线整齐度	自由燃烧速率	持灰
灰色	1.000						
裂口率	-0.102	1.000					
缩灰率	-0.010	0.717**	1.000				
碳线宽度	-0.205*	0.989**	0.754**	1.000			
碳线整齐度	-0.237	0.980**	0.798**	0.999**	1.000		
自由燃烧速率	-0.123*	0.986**	0.782**	0.990**	0.993**	1.000	
持灰	0.876**	0.322**	0.006	0.193	0.203*	0.311**	1.000

注:* 为在 0.05 级别(双尾)相关性显著;** 为在 0.01 级别(双尾)相关性显著。

基础上,利用 CRITIC 赋权法计算中支卷烟 7 项燃烧特性指标权重系数,CRITIC 法权重系数见表 6。由表 6 可知,持灰变异性最大,说明持灰的数值差异最大,所蕴含的信息量最多;缩灰率冲突性最高,说明缩灰率与其他 6 项指标的重复性最低。本文结果与郑丰等^[13]采用层次分析法所得的静态包灰指标的 5 项权重系数不完全一致,可能是所用赋权法不同及监测燃烧指标不同引起的差异。

由于所测卷烟样品的物理指标均符合合格烟支标准,故设定基准分为 60 分,计算各烟支的量化得分和综合得分,每种样品共 50 组平行,中支卷烟燃烧特性测定数据量化平均得分及平均总得分见表 7。由表 7 可知,各个样品综合得分顺序为:3#样品>5#样品>4#样品>1#样品>2#样品。整丝率为 84%,长丝率为 68%时,卷烟燃烧性能最佳,与刘德强等^[28]报道的烟丝结构为 82%左右,长中丝比例为 4:1 时,卷烟总体品质最佳相一致。整丝率在 84%的基础上增大或减小,均不利于中支卷烟的燃烧性能;整丝率不变,增大长丝率,燃烧性能变差,表现在包灰松散,美观度不够、持灰能力不足,主要原因是长丝率过高,烟丝容易结团^[29],造成燃烧不均匀,

该结果与方差分析及事后检验结果基本一致。因此,在中支卷烟实际生产过程中,应当在稳定整丝率的基础上,控制长丝率,适当提高中丝率和短丝率,达到改善中支卷烟燃烧性能的目的,这与常规卷烟^[28]、短支卷烟^[30]烟丝结构的设定要求相一致。

2.3 不同烟丝结构卷烟烟气香味成分的差异

2.3.1 烟气香味成分方差分析 不同烟丝结构卷烟烟气香味成分 GC-MS 分析结果及相对含量见表 8 和图 1。由表 8 可知,共鉴定出 89 种重要香味化合物,其中醇类化合物 8 种、酮类化合物 22 种、酸类化合物 11 种、酯类化合物 5 种、醛类化合物 7 种、酚类化合物 10 种、烯炔类化合物 3 种、杂环类化合物 23 种,以酮类化合物含量最高,杂环类化合物次之,烯炔类化合物最低。5 种卷烟样品的香味成分在组成上基本相似,但含量上存在差异。

对比总香味成分含量可知,当整丝率由 79%增加至 89%时,香味化合物的总量先增加后降低并趋于稳定,当整丝率占比为 84%时,卷烟的香味成分总含量最高。对比 1#和 2#样品,3#和 4#样品可知,当整丝率一定时,随长丝率占比的增加,香味成分的总含量呈增加趋势。烟丝结构对烟气中不同类型香味成分成分含量的影响不同,5 种卷烟样品中,酸类、酚类及醛类香味成分相对含量随整丝率的增大呈先上升后降低并趋于稳定的趋势,烯炔类香味成分总含量与整丝率呈正相关关系,杂环类总香味成分含量随整丝率的增大呈先降低后升高的趋势。

2.3.2 烟气香味成分聚类分析 对检出的 89 种挥发性成分的含量进行聚类分析,可以更直观地呈现 5 种样品间香味成分差异,结果见图 2,图中色块颜色由蓝到红代表挥发性成分相对含量由低到高。

表 6 CRITIC 法权重系数

Table 6 Normalized weighting coefficients from CRITIC method

燃烧特性指标	变异性	冲突性	权重系数
灰色	0.197	5.98	0.134
裂口率	0.217	5.92	0.147
缩灰率	0.229	6.14	0.160
碳线宽度	0.198	5.44	0.123
碳线整齐度	0.203	4.90	0.114
自由燃烧速率	0.230	5.89	0.155
持灰	0.251	5.82	0.167

表 7 中支卷烟燃烧特性测定数据量化平均得分及平均总得分

Table 7 Quantitative scores and total scores of medium-sized cigarette combustion characteristics

样品编号	灰色	裂口率/%	缩灰率/%	碳线宽度/mm	碳线整齐度/mm	自由燃烧速率/(cm·min ⁻¹)	持灰/mm	量化得分/分	综合得分/分
1#	2.80	3.70	2.96	3.44	2.49	1.18	3.36	19.93	79.93
2#	3.27	3.09	3.03	3.17	2.45	1.37	3.17	19.55	79.55
3#	3.88	4.68	2.80	3.38	2.17	2.01	4.42	23.34	83.34
4#	2.71	4.44	1.36	3.41	2.19	1.56	5.13	20.80	80.80
5#	2.62	3.23	2.96	3.02	1.96	2.75	4.96	21.50	81.50

表 8 不同烟丝结构卷烟烟气香味成分 GC-MS 分析结果

Table 8 GC-MS analysis results of aroma compounds in cigarette smoke with different cut tobacco structures

分类	中文名称	香味成分含量/($\mu\text{g}\cdot\text{支}^{-1}$)					P 值	VIP 值
		1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]		
醇类	糠醇	0.55±0.04	0.85±0.08	0.96±0.01	0.67±0.05	0.53±0.03	0.01	1.01
	苯乙醇	0.11±0.01	0.10±0.01	0.13±0.01	0.32±0.01	0.16±0.01	0.00	1.28
	桃金娘烯醇	0.22±0.02	0.33±0.03	0.29±0.02	0.15±0.02	0.22±0.02	0.00	1.06
	香叶醇	0.04±0.00	0.16±0.00	0.04±0.00	0.13±0.01	0.34±0.01	0.00	1.04
	金合欢醇	0.07±0.00	0.03±0.00	0.12±0.02	0.03±0.00	0.06±0.00	0.02	0.90
	香紫苏醇	0.15±0.01	0.11±0.01	0.03±0.00	0.27±0.02	0.33±0.02	0.00	0.90
	法尼醇	0.31±0.03	0.46±0.01	0.23±0.01	0.46±0.05	0.32±0.01	0.02	1.07
	3-羟基-5,6-环氧- β -紫罗兰醇	0.45±0.02	0.43±0.02	0.50±0.03	0.44±0.03	0.22±0.01	0.01	1.07
	小计	1.90±0.13	2.47±0.16	2.30±0.10	2.47±0.19	2.18±0.11	0.00	
酮类	环戊酮	0.27±0.01	0.57±0.03	0.66±0.01	0.64±0.03	0.50±0.02	0.01	1.25
	面包酮	0.20±0.01	0.22±0.02	—	0.19±0.02	0.14±0.01	0.02	0.88
	甲基环戊烯醇酮	3.36±0.08	3.26±0.20	5.13±0.42	2.55±0.25	2.06±0.20	0.00	0.78
	乙基环戊烯醇酮	1.66±0.12	1.54±0.17	1.46±0.12	2.35±0.13	0.62±0.02	0.01	1.37
	2,5-己二酮	0.01±0.00	0.13±0.01	0.06±0.01	0.14±0.01	0.07±0.01	0.00	1.29
	苯乙酮	0.32±0.02	0.45±0.04	0.56±0.01	0.55±0.03	0.68±0.02	0.00	1.11
	4-氧代异佛尔酮	0.20±0.03	0.34±0.02	0.09±0.00	0.35±0.02	0.35±0.01	0.01	0.84
	茄尼酮	1.67±0.09	1.38±0.15	1.52±0.01	2.37±0.18	2.44±0.08	0.00	0.99
	β -大马酮	0.07±0.00	0.02±0.00	0.05±0.00	0.03±0.00	0.02±0.00	0.03	1.10
	香叶基丙酮	0.30±0.03	0.66±0.01	0.42±0.03	0.37±0.02	0.33±0.03	0.00	1.14
	巨豆三烯酮 c	0.83±0.05	0.99±0.06	1.59±0.10	1.23±0.09	1.77±0.12	0.00	1.10
	巨豆三烯酮 b	2.29±0.16	2.90±0.07	4.49±0.18	4.07±0.29	3.33±0.23	0.00	1.10
	巨豆三烯酮 a	0.57±0.03	0.67±0.01	0.96±0.07	0.79±0.08	0.70±0.03	0.00	0.97
	巨豆三烯酮 d	1.73±0.16	1.66±0.13	2.87±0.24	2.38±0.14	2.25±0.05	0.00	0.94
	圆柚酮	0.48±0.02	0.81±0.03	0.55±0.03	0.72±0.05	0.90±0.02	0.01	1.00
	植酮	0.09±0.00	0.29±0.01	0.13±0.01	0.20±0.01	0.26±0.01	0.00	1.04
	法尼基丙酮	0.31±0.03	0.45±0.04	0.30±0.03	0.43±0.04	0.63±0.00	0.01	0.97
	3-甲基-2-环戊烯-1-酮	1.37±0.10	3.37±0.22	1.27±0.02	2.84±0.12	2.57±0.38	0.00	1.00
	6-甲基-5-庚烯-2-酮	0.08±0.01	0.24±0.01	0.15±0.01	0.22±0.02	0.30±0.02	0.00	1.05
	4-甲基苯乙酮	0.38±0.01	0.52±0.01	0.14±0.01	0.46±0.02	0.62±0.04	0.01	0.81
	呋喃酮	0.03±0.00	0.02±0.00	0.12±0.01	0.05±0.00	0.08±0.00	0.02	0.98
	3-甲基苯乙酮	0.29±0.02	0.66±0.01	0.42±0.03	0.35±0.03	0.30±0.02	0.01	1.13
	小计	16.51±0.98	21.15±1.25	22.94±1.35	23.28±1.58	20.92±1.32	0.00	
酸类	丙酸	0.13±0.01	0.13±0.01	0.45±0.02	0.14±0.01	0.15±0.01	0.00	0.80
	丁酸	—	—	0.50±0.03	—	—	—	0.79
	2-甲基丁酸	0.48±0.02	0.47±0.04	0.002±0.00	0.53±0.03	0.40±0.04	0.01	0.84
	正戊酸	0.14±0.02	0.18±0.01	0.21±0.02	0.07±0.01	0.15±0.01	0.00	1.06
	3-甲基戊酸	0.12±0.01	0.14±0.01	0.25±0.02	0.13±0.00	0.13±0.01	0.00	0.82
	4-甲基戊酸	0.44±0.03	0.29±0.03	0.70±0.07	0.33±0.04	0.42±0.07	0.01	0.82
	己酸	0.24±0.01	0.36±0.03	0.29±0.01	0.10±0.01	0.09±0.00	0.00	1.02
	反式-2-甲基-2-戊烯酸	0.09±0.01	0.06±0.01	0.16±0.01	0.02±0.00	0.04±0.00	0.01	0.82
	苯乙酸	1.47±0.07	0.83±0.02	2.05±0.16	0.95±0.05	0.79±0.02	0.00	0.80
	正癸酸	0.17±0.00	0.15±0.01	0.20±0.01	0.13±0.01	0.22±0.02	0.02	1.28
	肉豆蔻酸	0.42±0.04	0.44±0.04	0.29±0.00	0.36±0.02	0.36±0.02	0.01	0.86
	小计	3.70±0.22	3.05±0.21	5.10±0.35	2.76±0.18	2.75±0.20	0.00	
酯类	丙酸香茅酯	0.15±0.01	0.14±0.01	0.06±0.00	0.12±0.01	0.24±0.02	0.01	1.02
	二氢猕猴桃内酯	0.36±0.00	0.28±0.02	0.59±0.06	0.39±0.02	0.42±0.01	0.00	0.85
	棕榈酸甲酯	1.50±0.03	1.78±0.07	1.55±0.02	1.12±0.12	1.79±0.16	0.03	1.28
	亚油酸甲酯	0.14±0.01	0.54±0.04	0.18±0.00	0.32±0.02	0.58±0.04	0.00	1.01
	亚麻酸甲酯	0.74±0.07	2.15±0.18	1.00±0.03	1.28±0.05	2.63±0.22	0.00	1.07
	小计	2.89±0.12	4.89±0.32	3.38±0.11	3.23±0.22	5.66±0.45	0.00	

表8(续)

分类	中文名称	香味成分含量/($\mu\text{g}\cdot\text{支}^{-1}$)					<i>P</i> 值	<i>VIP</i> 值
		1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]		
醛类	糠醛	3. 71±0. 19	2. 84±0. 01	2. 49±0. 04	4. 22±0. 12	3. 25±0. 27	0. 01	1. 11
	苯乙醛	—	0. 18±0. 01	0. 43±0. 03	0. 25±0. 01	0. 15±0. 01	0. 00	1. 05
	3-甲基苯甲醛	0. 08±0. 01	0. 17±0. 02	0. 04±0. 00	0. 06±0. 00	0. 07±0. 01	0. 01	1. 01
	苯丙醛	—	—	0. 10±0. 01	—	—	—	0. 79
	甜橙醛	0. 15±0. 01	0. 08±0. 00	0. 14±0. 01	0. 09±0. 00	0. 11±0. 01	0. 01	0. 98
	5-甲基糠醛	0. 34±0. 11	0. 51±0. 39	0. 17±0. 00	0. 21±0. 02	0. 20±0. 02	0. 00	1. 05
	5-羟甲基糠醛	2. 80±0. 18	3. 26±0. 15	4. 72±0. 23	3. 24±0. 30	2. 70±0. 12	0. 00	0. 98
	小计	7. 08±0. 50	7. 04±0. 58	8. 09±0. 32	8. 07±0. 45	6. 48±0. 44	0. 00	
酚类	香芹酚	0. 09±0. 00	—	0. 11±0. 01	0. 20±0. 02	0. 18±0. 01	0. 01	1. 08
	对甲基苯酚	4. 85±0. 04	4. 75±0. 47	7. 04±0. 25	4. 38±0. 21	5. 48±0. 52	0. 00	0. 89
	愈创木酚	0. 98±0. 06	0. 91±0. 04	0. 84±0. 02	0. 98±0. 06	1. 02±0. 03	0. 02	0. 78
	甲基麦芽酚	0. 94±0. 07	1. 01±0. 09	0. 92±0. 04	1. 01±0. 01	0. 98±0. 09	0. 01	0. 58
	4-乙基苯酚	1. 42±0. 10	1. 62±0. 12	1. 99±0. 06	1. 36±0. 09	1. 53±0. 15	0. 01	0. 85
	4-乙基-2-甲氧基苯酚	0. 38±0. 02	0. 53±0. 02	0. 22±0. 03	0. 63±0. 05	0. 39±0. 01	0. 00	1. 10
	4-乙烯基-2-甲氧基苯酚	1. 24±0. 10	1. 53±0. 09	2. 39±0. 08	0. 91±0. 08	1. 11±0. 09	0. 00	0. 85
	香兰素	1. 32±0. 10	0. 92±0. 06	2. 11±0. 07	0. 82±0. 07	0. 72±0. 07	0. 00	0. 77
	丁香酚	0. 23±0. 02	0. 22±0. 02	0. 09±0. 00	0. 53±0. 02	0. 25±0. 01	0. 00	1. 17
	异丁香酚	0. 55±0. 04	0. 53±0. 02	0. 74±0. 04	0. 43±0. 03	0. 29±0. 02	0. 00	0. 84
	小计	12. 00±0. 55	12. 02±0. 93	16. 45±0. 60	11. 25±0. 64	11. 95±1. 00	0. 00	
烯炔类	(+)-柠檬烯	1. 53±0. 10	1. 52±0. 24	1. 58±0. 01	2. 38±0. 43	2. 56±0. 19	0. 00	0. 91
	γ -松油烯	0. 10±0. 01	0. 15±0. 01	0. 13±0. 01	0. 02±0. 00	0. 19±0. 01	0. 01	1. 36
	$\pm$ - β -桉油烯	0. 08±0. 01	0. 09±0. 00	0. 08±0. 01	0. 04±0. 00	0. 04±0. 00	0. 02	1. 01
	小计	1. 71±0. 12	1. 76±0. 25	1. 79±0. 03	2. 44±0. 43	2. 79±0. 20	0. 00	
杂环类	2-甲基吡啶	0. 91±0. 08	0. 86±0. 07	0. 75±0. 04	1. 48±0. 14	1. 95±0. 05	0. 00	0. 97
	2-甲基吡嗪	0. 34±0. 02	0. 59±0. 02	0. 14±0. 02	0. 53±0. 04	0. 65±0. 02	0. 00	0. 81
	3-甲基吡啶	3. 52±0. 24	3. 39±0. 26	3. 5±0. 10	3. 37±0. 15	4. 04±0. 26	0. 01	1. 05
	2,3-二甲基吡啶	0. 45±0. 03	0. 55±0. 04	0. 14±0. 02	0. 29±0. 01	0. 64±0. 06	0. 01	1. 01
	2-乙基吡啶	0. 35±0. 01	0. 55±0. 04	0. 18±0. 01	0. 43±0. 04	0. 52±0. 01	0. 00	0. 81
	2,6-二甲基吡嗪	0. 26±0. 03	0. 61±0. 06	0. 39±0. 02	0. 33±0. 02	0. 38±0. 01	0. 02	1. 12
	2,3-二甲基吡嗪	0. 12±0. 01	0. 19±0. 01	0. 07±0. 00	0. 15±0. 01	0. 20±0. 01	0. 01	0. 84
	2,4-二甲基吡啶	0. 68±0. 07	0. 55±0. 04	0. 16±0. 02	0. 29±0. 02	0. 45±0. 02	0. 00	1. 08
	2-乙烯基吡啶	0. 10±0. 00	0. 11±0. 01	0. 26±0. 01	0. 18±0. 01	0. 16±0. 01	0. 01	0. 96
	3-乙基吡啶	0. 94±0. 03	0. 88±0. 10	0. 86±0. 04	0. 95±0. 06	1. 12±0. 08	0. 02	0. 92
	5-乙基-2-甲基吡啶	0. 76±0. 02	0. 83±0. 02	0. 34±0. 04	0. 66±0. 01	0. 60±0. 02	0. 01	0. 90
	2,5-二甲基吡啶	0. 63±0. 06	0. 84±0. 03	1. 40±0. 06	0. 98±0. 06	0. 18±0. 00	0. 00	1. 06
	3-乙烯基吡啶	3. 19±0. 10	2. 46±0. 24	2. 63±0. 16	3. 43±0. 17	3. 57±0. 24	0. 00	0. 97
	2,3,5-三甲基吡啶	0. 39±0. 04	0. 39±0. 04	0. 59±0. 03	0. 06±0. 00	0. 32±0. 01	0. 00	1. 07
	2-乙基-3-甲基吡嗪	0. 10±0. 00	0. 19±0. 02	0. 10±0. 00	0. 12±0. 01	0. 17±0. 02	0. 00	0. 83
	2,3,5-三甲基吡嗪	0. 08±0. 00	0. 24±0. 02	0. 15±0. 02	0. 13±0. 00	0. 09±0. 00	0. 01	1. 16
	2-乙酰基吡啶	0. 15±0. 01	0. 17±0. 02	0. 18±0. 02	0. 14±0. 01	0. 13±0. 01	0. 03	0. 71
	2,3-环戊烯并吡啶	0. 43±0. 02	0. 98±0. 10	0. 45±0. 03	0. 52±0. 01	0. 67±0. 02	0. 01	1. 04
	8-甲基喹啉	0. 28±0. 01	0. 14±0. 01	0. 48±0. 04	0. 16±0. 01	0. 16±0. 00	0. 00	0. 79
	3-甲基喹啉	0. 30±0. 00	0. 16±0. 01	0. 27±0. 02	0. 32±0. 02	0. 25±0. 02	0. 01	1. 11
	6-甲基喹啉	0. 20±0. 01	0. 12±0. 02	1. 08±0. 04	0. 69±0. 06	0. 67±0. 06	0. 00	0. 98
	2,6-二甲基喹啉	0. 03±0. 00	0. 08±0. 01	0. 11±0. 00	0. 09±0. 00	0. 09±0. 01	0. 01	1. 14
	3-丁基吡啶	0. 37±0. 02	0. 19±0. 01	0. 19±0. 01	0. 21±0. 02	0. 24±0. 01	0. 01	1. 20
	小计	14. 58±0. 81	15. 07±1. 20	14. 33±0. 75	15. 51±0. 88	17. 25±0. 95	0. 00	
	总计	60. 37±3. 43	67. 45±4. 90	74. 38±3. 61	69. 01±4. 57	69. 98±4. 67	0. 00	

注:化合物通过 NIST20 谱库检索,匹配度不小于 85%,—表示未检测到。

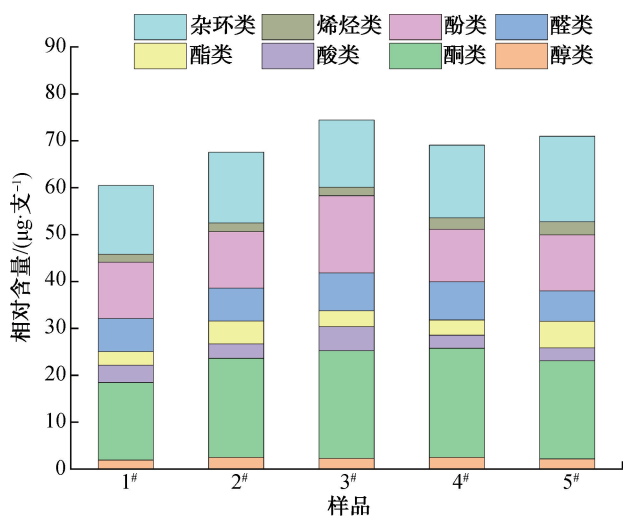


图 1 不同烟丝结构卷烟烟气香味成分相对含量

Fig. 1 Relative abundance of aroma compounds in cigarette smoke with different cut tobacco structures

由图 2 可知,5 种样品中 3[#]样品为一组,其他 4 种样品为一组,1[#]和 2[#]样品,4[#]和 5[#]样品处于同一分支,由此可知 1[#]、2[#]样品,4[#]、5[#]的挥发性香味相对含量较为相似,具有较高的相关性。

2.3.3 总香味成分 PLS-DA 分析 以烟丝结构为自变量,89 种香味成分的相对含量作为因变量,建立 PLS-DA 模型,以实现不同卷烟样品香味成分的有效区分。拟合模型的 R^2X 、 R^2Y 、 Q^2 分别为 0.947、0.998、0.994, $R^2X-R^2Y < 0.3$, 且 3 个参数均接近 1, 说明该模型可靠,预测能力好。不同卷烟样品香味成分 PLS-DA 得分图、置换检验图和 VIP 值图见图 3。由图 3a) 可知,1[#] 和 2[#] 样品位于第一象限,3[#] 样品均位于第三象限,4[#] 样品和 5[#] 样品位于第四象限,说明不同烟丝结构卷烟样品烟气香味成分之间差

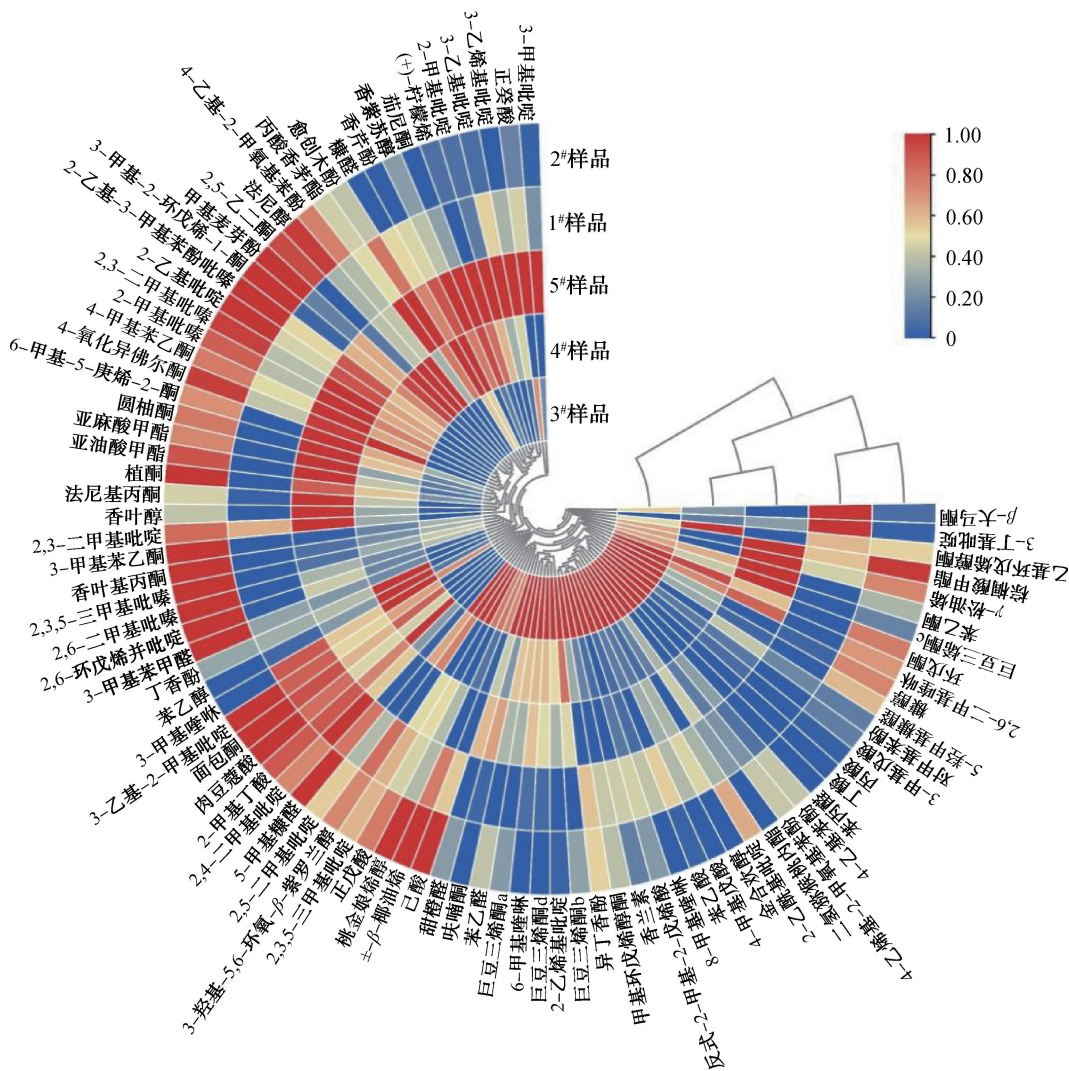


图2 不同烟丝结构卷烟烟气香味成分聚类热图

Fig. 2 Hierarchical clustering heatmap of aroma compounds across cut tobacco structures

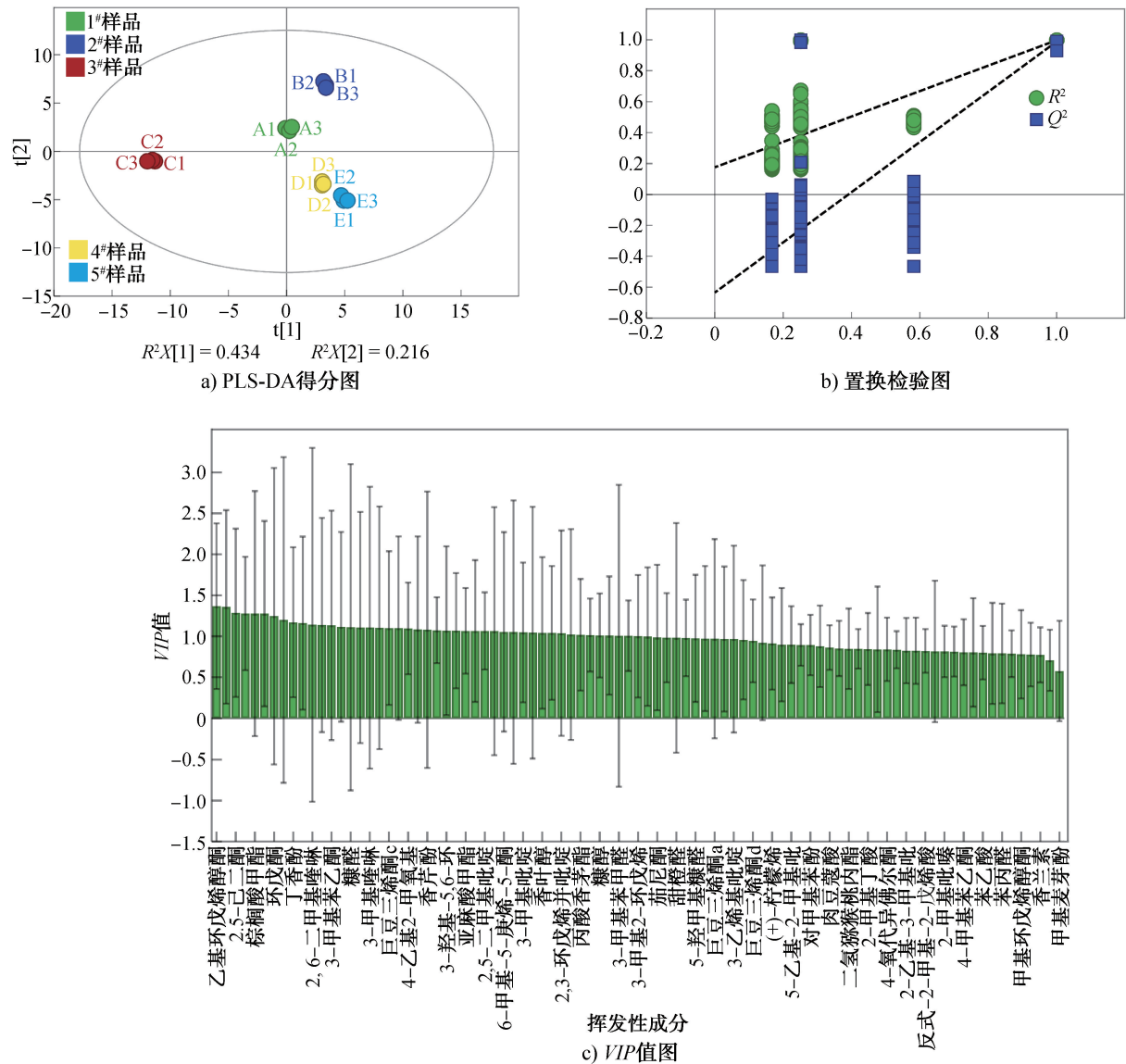


图 3 不同卷烟样品香味成分 PLS-DA 得分图、置换检验图和 VIP 值图
Fig. 3 PLS-DA score plots, permutation validation, and VIP analysis of aroma compounds across cigarette samples

异明显;1#和2#样品,4#样品和5#样品的香味成分差异较小,与 GC-MS 聚类分析结果相一致。对建立的 PLS-DA 模型进行 200 次响应置换检验,结果如图 3b)所示,置换检验得到 R^2 为 0.172, Q^2 为-0.755,回归直线 Q^2 与 Y 轴的截距为负值,表明该模型不存在过拟合现象。

VIP 值表示香味成分对区分 5 种样品的贡献大小, $VIP>1$,表明该物质在判别过程中起重要作用。由图 3c)可知,共鉴定出 44 个差异香味成分($P<0.05$, $VIP>1$),其中醇类 5 种、醛类 4 种、酮类 12 种、酯类 4 种、萜烯类 2 种、酸类 3 种、酚类 3 种,杂环类 11 种。

2.4 感官评价结果

不同卷烟样品感官评价描述及总得分见表 9。

表 9 不同卷烟样品感官评价描述及总得分
Table 9 Sensory evaluation descriptions and total scores of different cigarette samples

样品编号	香气描述	总分/分
1#	烟气略欠透发性,润感略弱	88.5
2#	香气略弱,烟气浓度稍差	89.0
3#	卷烟感官品质最佳,卷烟香气质感好,烟气绵长飘逸,香气量充足,润感较好	91.0
4#	烟气相对平淡,香气稍欠丰富,细腻程度不够,刺激性有所增大	88.0
5#	5#样品感官品质总体接近 3#样品,但烟气上扬感略弱	90.5

由表 9 可知,5 种卷烟样品感官得分为 88.0~91.0 分,整体平均得分排序为:3# 样品>5# 样品>2# 样品>1# 样品>4# 样品,即整丝率为 84% 的卷烟样品的感官品质明显优于其他卷烟样品。

综上可知,感官评价得分结果与燃烧特性总得分、烟气香味成分总含量分析结果基本一致。已有研究^[31]表明,卷烟燃烧特性相对较好时,其整体感官品质表现也较佳,本文研究结果与之相一致,这可能是由于烟丝结构配比适宜时,烟丝分布更加均匀,烟丝不易出现结团现象^[30],使燃烧更加充分,提升了烟气香气质量、甜润感和细腻程度,进而影响卷烟的整体感官品质。

3 结论

本研究采用 CRITIC 赋权法结合方差分析、PLS-DA 等化学计量学方法,研究了不同烟丝结构对中支卷烟燃烧特性及烟气香味成分的影响,并通过感官评价进行验证。结果表明,当烟丝整丝率为 84%、长丝率为 68% 时,卷烟燃烧性能综合得分最高,烟灰色泽最白,包灰紧实,自由燃烧速率适中,持灰能力最佳。整丝率过高(89%)或过低(79%)均会导致包灰松散、燃烧速率失衡,表明烟丝结构均匀性对燃烧稳定性具有显著影响。烟气中 89 种香味成分总含量随整丝率增加呈先升高后降低的趋势,整丝率为 84% 时,总含量最高(74.38 μg·支⁻¹),其中烯烃类物质与整丝率呈正相关,酸类、酚类及醛类物质呈先增加后减小趋势,杂环类物质则呈先减小后增加趋势;通过 PLS-DA 模型筛选出 44 种关键差异香味成分(VIP>1),包括苯乙醇、巨豆三烯酮、甲基麦芽酚等,可为香气品质调控提供靶向依据。整丝率为 84% 的卷烟样品感官得分最高,其香气绵长飘逸、润感突出,与燃烧特性总得分及香味成分总含量呈显著正相关,说明适宜的烟丝结构可通过优化燃烧均匀性促进香味成分充分释放,进而提升感官体验。因此,中支卷烟烟丝结构宜控制整丝率 84% 并搭配长丝率 68%,同时适当提高中丝率与短丝率,以改善烟丝分布均匀性,减少结团现象。本研究建立的 CRITIC-PLS-DA 综合评价模型,有助于烟丝结构的精准量化调控,

并为中支卷烟制丝工艺参数优化提供数据支撑。

参考文献:

[1] 李乾,程亮,袁韵然,等. 中支卷烟加工技术与管理的思考[J]. 中国质量,2022(10):46-50.

[2] HOU J W, WANG D D, WANG D J. Research on adjusting size proportion of cut tobacco [J]. IOP Conference Series(Materials Science and Engineering), 2020,892(1):012116.

[3] 王坤,叶鸿宇,单书江. 基于多元统计分析的中支卷烟机工艺参数优化[J]. 科技创新与应用,2020,10(20):103-104,106.

[4] 郭华诚,胡仙妹,高尊华,等. 针辊式烟丝结构调控设备参数变化对细支烟卷制品质的影响[J]. 轻工学报,2024,39(2):122-126.

[5] 邹志锋,张齐,李希强,等. 卷烟纸参数对中支卷烟逐口通风率的影响[J]. 中国造纸 2024,43(3):97-103.

[6] 唐小雪,潘连华,黄宇亮,等. 卷烟纸参数对中支卷烟常规烟气成分释放量及其符合度的影响[J]. 轻工学报,2023,38(2):102-109.

[7] 魏甲欣,李琪,马飞,等. 基于图像识别的烟丝结构检测及烟丝组分分析[J]. 轻工学报,2022,37(3):82-87.

[8] 王亮,夏平宇,罗玮,等. 烟丝结构分布对细支卷烟燃烧锥落头的影响[J]. 烟草科技,2018,51(11):79-84.

[9] 潘著,崔晓梦,叶蔚,等. 烟丝结构对细支卷烟质量影响研究进展[J]. 农产品加工,2021(18):75-78.

[10] 许艳冉,刘舒畅,穆林,等. 烟丝和卷烟机参数对卷烟包灰性能的影响[J]. 烟草科技,2020,53(12):67-74.

[11] 王道宽,连芬燕,刘雯,等. 卷烟包灰性能的影响因素[J]. 烟草科技,2013(4):12-15.

[12] 王孝峰,郭东锋,张晓宇,等. 卷烟燃烧包灰与烟丝化学成分的关系[J]. 烟草科技,2022,55(2):45-51.

[13] 郑丰,肖翠翠,王小平,等. 卷烟纸特性对卷烟静态包灰性能的影响[J]. 烟草科技,2020,53(3):82-88.

[14] 王孝峰,张劲,李延岩,等. 卷烟燃烧速率与其包灰性能关系分析[J]. 烟草科技,2021,54(10):70-76.

[15] 朱波,关欣,张东,等. 基于细支卷烟物理指标的烟丝尺寸分析[J]. 安徽农学通报,2021,27(18):114-116.

[16] 朱成文,王瑞,徐如彦,等. 定长切丝对细支卷烟危害性指数的影响[J]. 烟草科技,2020,53(4):82-88.

[17] 刘静,赵佳成,高辉,等. 不同切丝宽度烟丝在干燥过程中香味成分的变化[J]. 云南农业大学学报(自然科学),2018,33(1):79-89.

[18] 国家烟草专卖局. 烟丝整丝率、碎丝率的测定方法:YC/T 178—2003[S].

[19] 国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 卷烟和滤棒物理性能的测定 第 5 部分 卷烟吸阻和滤棒压降:GB/T 22838.5—2009[S]. 北京:中

- 国标准出版社,2009.
- [20] 李欢,王建民,王豪礼,等. 卷烟纸参数对卷烟持灰能力的影响[J]. 食品与机械,2021,37(6):207-212.
- [21] 张红涛,毛罕平. 四种客观权重确定方法在粮虫可拓分类中的应用比较[J]. 农业工程学报,2009,25(1):132-136.
- [22] 周沅桢,和小娟,王泽宇,等. 基于 CRITIC 赋权法的细支烟物理指标综合质量评价研究[J]. 包装工程,2022,43(9):176-183.
- [23] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会. 卷烟 用常规分析用吸烟机测定 总粒相物和焦油: GB/T 19609—2024[S]. 北京:中国标准出版社,2024.
- [24] 潘立宁,王冰,刘绍锋,等. 辅助材料参数对卷烟主流烟气中酸性香味成分释放量的影响[J]. 烟草科技,2014,47(3):46-50.
- [25] 陈晨,郭春生,何山,等. 不同风格类型卷烟中性香味成分差异化研究[J]. 化学试剂,2020,42(5):552-556.
- [26] 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.
- [27] 国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 卷烟 第4部分 感官技术要求:GB 5606.4—2005[S]. 北京:中国标准出版社,2005.
- [28] 任发军,胡发志,郭春晖,等. 不同规格卷烟物质指标影响因素研究进展[J]. 湖南文理学院学报(自然科学版),2021,33(4):83-87.
- [29] 邵宁,徐秀峰,万永华,等. 卷烟烟丝结构分布及其与物理质量的关系[J]. 南方农业学报,2017,48(5):883-888.
- [30] 楚晗,范磊,王天怡,等. 基于短支卷烟物理质量稳定的烟丝尺寸优化设计[J]. 食品与机械,2019,35(6):212-215,221.
- [31] 邵明,张洪召,高复高,等. 不同切丝宽度中支卷烟的包衣性能、主流烟气及感官品质变化规律[J]. 河南农业科学,2023,52(10):172-180.

Effects of cut tobacco structure on combustion characteristics and smoke aroma components of medium-sized cigarettes

CHAI Wujun¹, ZHENG Shanshan¹, YOU Jinqing¹, LI Maosong¹, LU Chengfei¹, XUE Jingjing², YANG Jing²

1. Technology Center, China Tobacco Zhejiang Industrial Co., Ltd., Ningbo 315000, China;

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

Abstract: This study investigates the impact of varying cut tobacco structures on the combustion characteristics of medium-sized cigarettes. A comprehensive evaluation was conducted using analysis of variance (ANOVA) and the CRITIC method. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was employed to quantify the aroma compounds in cigarette smoke, while partial least squares-discriminant analysis (PLS-DA) and cluster analysis were utilized to elucidate the disparities in these compounds. Sensory quality evaluation was subsequently performed. The results revealed that cigarettes with a whole-cut tobacco ratio of 84% and a long-cut tobacco ratio of 68% achieved the highest CRITIC composite score, indicative of optimal combustion performance. A total of 89 volatile aroma compounds were identified in the cigarette smoke. The total content of these compounds initially increased and then decreased with an increasing whole-cut tobacco ratio, reaching a maximum at 84%. Distinct trends were observed across different categories of aroma compounds: olefins content increased with the whole-cut tobacco ratio, whereas acids, phenols, and aldehydes initially increased before decreasing. Conversely, heterocyclic compounds exhibited a decreasing-then-increasing trend. PLS-DA and cluster analysis confirmed significant disparities in volatile aroma components among cigarettes with diverse tobacco structures. Sensory evaluation corroborated that the cigarette sample with an 84% whole-cut tobacco ratio exhibited the best overall quality, aligning with the findings from combustion performance and aroma compound analyses.

Key words: cut tobacco structure; medium-sized cigarette; combustion characteristic; aroma component; CRITIC method; PLS-DA; sensory quality

[责任编辑:王晓波 贾学伟]