

王冰,范忠,李河霖,等.通风分配对主流烟气代表性酚类香味成分释放量的影响[J].轻工学报,2022,37(4):58-65.

WANG B,FAN Z,LI H L,et al. Effect of ventilation on the release of typical phenolic flavor components in mainstream cigarette smoke[J]. Journal of Light Industry,2022,37(4):58-65. DOI:10.12187/2022.04.008



通风分配对主流烟气代表性酚类香味成分释放量的影响

王冰¹,范忠²,李河霖³,刘绍峰¹,陈志燕²,刘鸿²,彭斌¹,蔡君兰¹

1. 中国烟草总公司郑州烟草研究院,河南 郑州 450001;
2. 广西中烟工业有限责任公司技术中心,广西 南宁 530000;
3. 吉林烟草工业有限责任公司技术中心,吉林 延吉 133000

摘要:卷制具有不同滤嘴通风率和卷烟纸透气度的常规卷烟和细支卷烟,考查滤嘴通风率、纸通风率及通风分配对主流烟气中9种酚类香味成分释放量的影响。结果表明:1)滤嘴通风率、纸通风率与烟气中9种酚类香味成分释放量均呈显著负相关,随着通风率的增加,分子量较小的麦芽酚等的释放量降低率较高,而分子量较大的丁香酚的释放量降低率较小;2)对于常规卷烟和细支卷烟,纸通风率对烟气中9种酚类香味成分释放量的影响大于滤嘴通风率;3)滤嘴通风率、纸通风率及总通风率对常规卷烟烟气中9种酚类香味成分释放量的影响大于细支卷烟;4)在总通风率一致的情况下,高滤嘴通风率搭配低纸通风率比低滤嘴通风率搭配高纸通风率的卷烟中9种酚类香味成分释放量要高。

关键词:常规卷烟;细支卷烟;通风分配;主流烟气;酚类香味成分

中图分类号:TS411.2 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-1553(2022)04-0058-08

0 引言

卷烟通风技术是降低焦油释放量较为直接、有效的途径,其原理是将空气引入主流烟气,降低经燃烧锥进入烟支的气流速率,稀释烟气,改变烟丝燃烧环境和化学成分传输过程^[1]。卷烟通风的实现包含两个方面,一是卷烟纸通风,即使用高透气度卷烟纸稀释烟气;二是滤嘴通风,通过在接装纸上打孔或选择高透气度成型纸实现。通风技术可以减少烟气有害成分,但同时也降低了卷烟香味成分,导致卷烟烟味变淡、香气减弱,弱化了卷烟产品原有风格,影

响了卷烟烟气感官品质^[2]。卷烟通风分配是指相同总通风率条件下的纸通风率和滤嘴通风率的组合搭配,适宜的通风分配可以提高卷烟感官品质。

部分酚类物质是烟叶中的重要致香成分,在烟支燃吸期间,通过蒸发直接进入烟气,对烟气香味产生影响,增加烟气的奇异味道,且不易被其他致香剂消减^[3]。例如,麦芽酚、乙基麦芽酚是烟草焦甜香的特征成分^[4],乙基麦芽酚是麦芽酚的同系物,其增香能力比麦芽酚强,有更浓的香味和更强的挥发性,是国家标准^[5]中允许使用的食品用合成香料,可作为烟草、食品、饮料、香精、果酒、日用化妆品等

收稿日期:2021-11-02

基金项目:中国烟草总公司重点实验室项目(110201603006);广西中烟工业有限责任公司科技创新项目(GXZYCX2017C004)

作者简介:王冰(1979—),女,河南省郑州市人,中国烟草总公司郑州烟草研究院高级工程师,主要研究方向为烟草有害成分及香味成分。E-mail:ycyjywb790211@sina.com

通信作者:蔡君兰(1972—),女,河南省郑州市人,中国烟草总公司郑州烟草研究院研究员级正高级工程师,主要研究方向为烟草有害成分及香味成分。E-mail:Caijunlan@sina.com

的香味改良剂^[6]。丁香酚是具有辛香风格的天然香料的重要香味成分,主要用于配制薄荷、坚果、辛香型食品香精和烟用香精^[7]。愈创木酚、4-乙基愈创木酚、4-乙基苯酚、2,6-二甲基苯酚、2,6-二甲氧基苯酚是烟熏香的重要成分,苔黑酚是树苔净油和浸膏的主要成分^[8-9],将其应用于卷烟加香后,可掩盖烟草杂气和泥土气息,明显增加烟气浓度,改善口腔和喉部的舒适感。

目前,对于烟气中酚类物质的研究多集中于烟气中简单酚对人体健康的影响方面^[10-11],而卷烟通风分配对烟气香味成分释放的影响,多涉及烟气中醛、酮、酸、酯及氮杂环类碱性物质的研究^[12-14],对重要酚类香味成分的对比分析则鲜有报道^[15],且未将滤嘴通风与纸通风一起作为通风的不同形式综合考虑,无法为卷烟通风设计提供系统的数据支持。鉴于此,本文拟以9种代表性酚类香味物质(麦芽酚、乙基麦芽酚、丁香酚、愈创木酚、4-乙基愈创木酚、4-乙基苯酚、2,6-二甲基苯酚、2,6-二甲氧基苯酚、苔黑酚)为研究目标,考查滤嘴通风率、纸通风率及通风分配对常规卷烟和细支卷烟烟气中酚类香味物质释放量的影响,探索卷烟主流烟气酚类香味成分的传输规律,为卷烟通风设计的优化和香味成分补偿技术提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料和仪器

1.1.1 试剂和仪器 主要试剂:麦芽酚、乙基麦芽酚、丁香酚、愈创木酚、4-乙基愈创木酚、4-乙基苯酚、2,6-二甲基苯酚、2,6-二甲氧基苯酚、苔黑酚,纯度均>98.0%,百灵威公司产;乙酸苯乙酯(纯度>98.0%)、乙酸乙酯(色谱纯),美国Sigma Aldrich公司产。

主要仪器:Aglient 7890-5975型GC-MS仪器,美国安捷伦公司产;Borgwaldt RM20 H型20孔道转盘型吸烟机,德国Borgwaldt KC GMBH公司产;KQ-700DE型数控超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司产;CP2245电子天平,德国Sartorius公司产;0.45 μm有机相滤膜,上海安谱科学仪器有限公司产。

1.1.2 卷烟样品 采用相同烟丝,卷制具有不同滤嘴通风率和卷烟纸透气度的常规卷烟和细支卷烟,常规卷烟滤嘴通风通过预打孔装纸实现,细支卷烟滤嘴通风通过在线打孔方式实现,卷烟样品设计方案见表1。

表1 卷烟样品设计方案
Table 1 The design scheme of cigarette samples

常规卷烟			细支卷烟		
样品编号	滤嘴通风率/%	卷烟纸透气度/CU	样品编号	滤嘴通风率/%	卷烟纸透气度/CU
N ₁	0	20	S ₁	0	20
N ₂	0	40	S ₂	0	40
N ₃	0	60	S ₃	0	50
N ₄	0	80	S ₄	0	80
N ₅	9	20	S ₅	20	20
N ₆	9	40	S ₆	20	40
N ₇	9	60	S ₇	20	50
N ₈	9	80	S ₈	20	80
N ₉	22	20	S ₉	30	20
N ₁₀	22	40	S ₁₀	30	40
N ₁₁	22	60	S ₁₁	30	50
N ₁₂	22	80	S ₁₂	30	80
N ₁₃	30	20	S ₁₃	40	20
N ₁₄	30	40	S ₁₄	40	40
N ₁₅	30	60	S ₁₅	40	50
N ₁₆	30	80	S ₁₆	40	80

依据《卷烟和滤棒物理性能》(GB/T 22838—2009)^[16]对卷烟质量、开式吸阻、滤嘴通风率、总通风率等卷烟物理参数进行测定;依据《卷烟 用常规分析用吸烟机测定总粒相物和焦油》(GB/T 19609—2004)^[17]对卷烟焦油释放量进行测定。卷烟样品的物理参数及焦油释放量如表2所示。由表2可知,所有烟支质量基本一致,细支卷烟变异系数为1.4%,常规卷烟变异系数为0.9%,滤嘴通风率基本达到设计要求,纸通风率随卷烟纸透气度升高而增加,卷烟样品符合设计要求。

1.2 实验方法

参照文献^[11]对烟气中9种酚类化合物进行分析,将卷烟样品置于(22±1)℃,相对湿度为(60±2)%的环境中平衡48 h,然后选择(平均质量±0.02)g的烟支作为测试烟支。采用直线式吸烟机按照ISO标准条件抽吸卷烟,即每60 s抽吸一口,

表2 卷烟样品物理参数及焦油释放量

Table 2 The physical parameters and tar release of cigarette samples

样品 编号	质量/ mg	开式 吸阻/Pa	总通风 率/%	滤嘴通 风率/%	纸通 风率/%	焦油释放量/ (mg·支 ⁻¹)
N ₁	860.9	1202	3.5	0.3	3.2	1.00
N ₂	853.1	1178	6.5	0.3	6.2	0.97
N ₃	865.9	1180	10.1	0.3	9.8	0.90
N ₄	867.0	1189	12.4	0.4	12.0	0.89
N ₅	866.4	1108	14.5	11.6	2.9	0.94
N ₆	862.0	1063	19.1	13.0	6.1	0.93
N ₇	866.6	1078	20.9	12.4	8.5	0.86
N ₈	851.9	1062	21.9	12.9	9.0	0.86
N ₉	871.6	971	30.1	28.0	2.1	0.81
N ₁₀	855.2	941	31.1	26.4	4.7	0.78
N ₁₁	867.6	974	33.5	26.6	6.9	0.75
N ₁₂	848.7	942	33.2	25.6	7.6	0.74
N ₁₃	853.9	901	35.5	33.5	2.0	0.77
N ₁₄	863.1	912	36.9	32.3	4.6	0.75
N ₁₅	862.5	901	39.2	33.3	5.9	0.70
N ₁₆	873.4	911	42.0	34.2	7.8	0.70
S ₁	550.0	1981	6.8	0.7	6.1	0.91
S ₂	555.3	1953	12.7	0.3	12.4	0.89
S ₃	559.9	1951	15.6	0.6	15.0	0.86
S ₄	561.4	1942	23.4	0.4	23.0	0.81
S ₅	566.5	1843	24.6	17.4	7.2	0.85
S ₆	565.1	1708	29.5	19.6	9.9	0.83
S ₇	569.7	1676	31.5	20.6	10.9	0.82
S ₈	551.2	1584	35.2	18.7	16.5	0.78
S ₉	566.1	1605	33	28.1	4.9	0.8
S ₁₀	547.1	1578	35.4	27.4	8.0	0.81
S ₁₁	569.0	1561	37.6	29.2	8.4	0.8
S ₁₂	568.4	1501	42.6	27.3	15.3	0.74
S ₁₃	554.6	1377	41.0	37.1	3.9	0.76
S ₁₄	556.8	1360	46.0	39.1	6.9	0.73
S ₁₅	559.9	1345	45.3	37.8	7.5	0.74
S ₁₆	552.5	1317	48.2	36.0	12.2	0.71

每口抽吸容量 35 mL,抽吸持续时间 2 s。用直径 44 mm 的剑桥滤片捕集卷烟主流烟气总粒相物,每张滤片收集 5 支卷烟的总粒相物。

将捕集 5 支卷烟主流烟气粒相物的剑桥滤片放入 50 mL 锥形瓶中,加入 10 mL 乙酸乙酯萃取溶液,并准确加入 50 μ L 内标溶液(1 mg/mL 的乙酸苯乙酯),密封膜密封,超声萃取 20 min,取萃取液,过 0.45 μ m 微孔滤膜,对滤液进行 GC-MS 分析,选择离子监测(SIM)定量分析检测目标成分。

仪器分析条件如下:色谱柱为 DB-5 MS(60 m \times 0.25 μ m \times 0.25 mm);程序升温为初始温度 60 $^{\circ}$ C,然后 2 $^{\circ}$ C/min 升至 150 $^{\circ}$ C,保持 5 min,再以 10 $^{\circ}$ C/min 升至 250 $^{\circ}$ C,以 20 $^{\circ}$ C/min 升至 280 $^{\circ}$ C 保持 10 min;进样量 1 μ L;进样口温度 290 $^{\circ}$ C;分流比 10:1;载气 He,流速 1.5 mL/min;传输线温度 290 $^{\circ}$ C;电离方式 EI;离子源温度 230 $^{\circ}$ C;电离能量 70 eV;四极杆温度 150 $^{\circ}$ C;质谱质量扫描范围为 26~400 amu;监测模式为全扫描模式和选择离子扫描模式。

为验证酚类香味成分分析方法的精密度和准确度,选择样品 N₁₄ 进行平行实验,每天 1 次,连续 5 次,并在样品实际含量水平、样品实际含量的 1/2 水平及样品实际含量的 2 倍水平进行回收率实验。

2 结果与讨论

2.1 酚类香味成分分析方法的表征结果

9 种酚类香味成分质谱参数、相对标准偏差(RSD)及回收率如表 3 所示。由表 3 可知,9 种酚类香味成分定量分析的变异系数在 3.6%~8.3%范

表3 9种酚类香味成分质谱参数、RSD及回收率

Table 3 MS parameters, RSD and recycling rates for 9 phenolic aroma components

香型	名称	分子量	定量定性离子	RSD/%	回收率/%
焦甜香	麦芽酚	126	126,71	3.8	92~100
	乙基麦芽酚	140	140,125	5.2	90~101
烟熏香	愈创木酚	124	124,81	3.6	94~102
	4-乙烯基愈创木酚	150	150,107	3.6	88~94
	2,6-二甲基苯酚	122	122,107	4.2	89~96
	2,6-二甲氧基苯酚	154	154,111	6.2	95~104
	4-乙基苯酚	122	107,77	4.3	93~101
树苔香	丁香酚	164	164,149	5.6	98~106
	苔黑酚	142	124,95	8.3	89~101

围内,加标回收率约为 88%~106%,说明本文所用酚类香味成分分析方法具有良好的精密度及准确度,可用于卷烟烟气酚类香味成分的分析研究。

2.2 卷烟烟气中酚类香味成分的释放规律

在滤嘴通风率约为 0(N_1-N_4 、 S_1-S_4)的条件下,考查纸通风率对卷烟烟气中 9 种酚类香味成分释放量的影响。将纸通风率与卷烟烟气中 9 种酚类香味成分释放量进行线性拟合,结果如表 4 所示, D_{PN} 、 D_{PS} 分别表示常规卷烟、细支卷烟中纸通风率每增加 1% 酚类香味成分释放量的降低率。由表 4 可知,对于常规卷烟和细支卷烟,9 种酚类成分释放量与纸通风率均呈显著负相关(线性方程斜率为负值, $R^2 \geq 0.89$),即随着卷烟纸透气度的增加,主流烟气中 9 种酚类香味成分释放量降低,其主要原因可能是纸通风率随着卷烟纸透气度的增加而增加,从燃烧锥后面进入卷烟的气流也增加,燃烧锥的抽吸容量及产生的烟量随之减少。主流烟气成分通过卷烟纸向外扩散的程度也随透气度的增加而增加,从而减少了其在主流烟气中的释放量,该方面对分子量较小的化合物的影响更大。因此,实验结果中分子量较小的麦芽酚、4-乙基苯酚、愈创木酚、苔黑酚降低率较高;分子量较大的丁香酚降低率较低。另外,卷烟的阴燃速率随卷烟纸自然透气度的增加而增加,这将导致通过抽吸燃烧的烟丝量即抽吸口数减少,烟气成分也会随之降低^[18-19]。

在各卷烟纸透气度下(N_5-N_{16} 、 S_5-S_{16}),将 9 种酚类香味成分释放量与滤嘴通风率进行线性拟

合,结果如表 5 所示,其中 D_{FN} 、 D_{FS} 分别表示常规卷烟、细支卷烟中滤嘴通风率每增加 1% 酚类香味成分释放量的降低率。由表 5 可知,对于常规卷烟和细支卷烟,在不同卷烟纸透气度下,9 种酚类香味成分释放量与滤嘴通风率均呈显著负相关(线性方程斜率为负值, $R^2 \geq 0.80$),即烟气中 9 种酚类香味成分释放量随滤嘴通风率的增加而降低,主要是因为烟气滤嘴通风让环境烟气进入烟支,相当于降低了抽吸容量,因此抽吸时消耗的烟丝量减少,主流烟气成分释放量相应减少^[20]。其中,分子量较小的麦芽酚、乙基麦芽酚降低率较高,分子量较大的丁香酚降低率较低。这是因为滤嘴通风使得烟气流速降低,烟气在烟支内的停留时间延长,使得更多低分子量成分扩散出烟支^[21]。

2.3 通风率对不同卷烟酚类香味成分释放量的影响

由表 4 可知,纸通风率每增加 1%,常规、细支卷烟中 9 种酚类香味成分释放量降低率分别为 0.9%~2.6% 和 0.5%~1.0%,两者释放量降低率之比(即 D_{PN}/D_{PS})为 1.6~2.7,因此纸通风率对常规卷烟 9 种酚类香味成分释放量的影响大于细支卷烟。在常规、细支卷烟中,愈创木酚、乙基麦芽酚释放量降低率差异较大,比值 ≥ 2.5 ,丁香酚释放量降低率差异较小,比值为 1.6。

由表 5 可知,滤嘴通风率每增加 1%,常规、细支卷烟中 9 种酚类香味成分释放量降低率分别为 0.6%~1.1% 和 0.2%~0.7%,两者释放量降低率之

表 4 纸通风率与酚类香味成分释放量线性拟合结果
Table 4 Regression equation parameters of releases of phenolic flavor components with cigarette paper ventilation rate

化合物	常规卷烟				细支卷烟				D_{PN}/D_{PS}
	斜率	截距	R^2	$D_{PN}/\%$	斜率	截距	R^2	$D_{PS}/\%$	
麦芽酚	-0.039 4	2.224 2	0.958 9	2.0	-0.015 8	1.902 1	0.988 6	0.9	2.3
乙基麦芽酚	-0.001 7	0.106 4	0.994 4	1.6	-0.000 5	0.069 6	0.974 3	0.7	2.5
2,6-二甲基苯酚	-0.018 4	1.503 8	0.959 7	1.2	-0.006 1	1.154 3	0.963 6	0.5	2.2
4-乙基苯酚	-0.088 2	5.254 7	0.970 7	1.8	-0.038 0	3.926 3	0.908 3	1.0	1.8
2,6-二甲氧基苯酚	-0.044 9	2.348 3	0.974 4	1.1	-0.006 0	1.374 7	0.971 5	0.6	1.8
丁香酚	-0.017 6	1.539 2	0.958 3	1.1	-0.010 6	1.183 9	0.886 3	0.7	1.6
愈创木酚	-0.030 4	1.330 1	0.968 8	2.6	-0.011 1	1.174 7	0.990 7	1.0	2.7
4-乙烯基愈创木酚	-0.030 6	3.175 6	0.958 5	0.9	-0.017 6	2.490 4	0.968 7	0.5	1.8
苔黑酚	-0.040 8	2.714 0	0.962 9	1.7	-0.014 1	1.516 1	0.986 8	1.0	1.7

表5 滤嘴通风率与酚类香味成分释放量线性拟合结果

Table 5 Regression equation parameters of releases of phenolic flavor components with cigarette filter ventilation rate

卷烟纸透光度/CU	化合物	常规卷烟				细支卷烟				D_{FN}/D_{FS}
		斜率	截距	R^2	$D_{FN}/\%$	斜率	截距	R^2	$D_{FS}/\%$	
20	麦芽酚	-0.021 9	2.098 6	0.996 5	1.1	-0.012 7	1.875 6	0.941 8	0.7	1.5
	乙基麦芽酚	-0.000 9	0.101 8	0.995 9	0.9	-0.000 4	0.067 2	0.980 4	0.5	1.6
	2,6-二甲基苯酚	-0.011 2	1.465 2	0.991 4	0.8	-0.004 1	1.116 7	0.989 4	0.4	2.1
	4-乙基苯酚	-0.044 4	4.874 3	0.943 0	0.8	-0.017 8	3.717 4	0.952 3	0.5	1.7
	2,6-二甲氧基苯酚	-0.013 8	2.235 0	0.987 7	0.6	-0.004 4	1.347 9	0.980 3	0.4	1.5
	丁香酚	-0.011 0	1.533 9	0.934 4	0.7	-0.007 8	1.120 2	0.995 2	0.6	1.1
	愈创木酚	-0.008 6	1.228 8	0.993 5	0.7	-0.002 7	1.103 3	0.963 8	0.3	2.8
	4-乙烯基愈创木酚	-0.019 8	3.096 8	0.995 8	0.6	-0.006 4	2.425 9	0.916 5	0.4	1.5
	苔黑素	-0.022 2	2.608 9	0.998 6	0.8	-0.007 7	1.530 8	0.976 4	0.5	1.6
40	麦芽酚	-0.021 9	1.991 5	0.998 3	1.1	-0.013 1	1.801 5	0.898 8	0.7	1.5
	乙基麦芽酚	-0.000 8	0.096 5	0.929 9	0.9	-0.000 4	0.064 8	0.982 6	0.6	1.6
	2,6-二甲基苯酚	-0.010 9	1.426 4	0.951 7	0.8	-0.004 0	1.097 4	0.957 9	0.4	2.1
	4-乙基苯酚	-0.046 6	4.688 4	0.968 9	1.0	-0.020 5	3.621 4	0.970 7	0.6	1.6
	2,6-二甲氧基苯酚	-0.011 3	2.008 5	0.867 4	0.6	-0.006 8	1.318 5	0.981 5	0.5	1.2
	丁香酚	-0.010 3	1.465 0	0.910 2	0.7	-0.007 2	1.077 5	0.967 5	0.6	1.1
	愈创木酚	-0.007 2	1.139 6	0.963 2	0.7	-0.001 8	1.059 4	0.802 1	0.2	3.7
	4-乙烯基愈创木酚	-0.021 4	3.037 3	0.989 9	0.7	-0.005 8	2.310 3	0.915 1	0.4	1.8
	苔黑素	-0.021 3	2.464 6	0.970 2	0.8	-0.001 5	1.267 1	0.983 8	0.2	2.7
60/50	麦芽酚	-0.019 6	1.879 9	0.997 4	1.1	-0.012 2	1.768 9	0.940 3	0.7	1.6
	乙基麦芽酚	-0.000 7	0.090 6	0.917 6	0.8	-0.000 3	0.062 7	0.970 9	0.5	1.7
	2,6-二甲基苯酚	-0.009 2	1.316 9	0.987 5	0.7	-0.003 4	1.061 0	0.988 2	0.3	2.2
	4-乙基苯酚	-0.040 1	4.376 7	0.960 7	0.9	-0.016 6	3.347 9	0.971 8	0.6	1.5
	2,6-二甲氧基苯酚	-0.015 5	1.898 7	0.938 8	0.8	-0.008 0	1.300 9	0.994 5	0.6	1.3
	丁香酚	-0.009 9	1.385 6	0.933 5	0.7	-0.007 1	1.058 2	0.985 4	0.7	1.1
	愈创木酚	-0.006 0	1.077 9	0.940 8	0.6	-0.001 2	1.030 5	0.834 3	0.2	3.9
	4-乙烯基愈创木酚	-0.018 7	2.883 3	0.971 6	0.7	-0.004 8	2.214 5	0.883 9	0.3	2.3
	苔黑素	-0.019 0	2.363 6	0.988 9	0.8	-0.003 2	1.263 3	0.921 6	0.3	2.8
80	麦芽酚	-0.017 8	1.751 1	0.976 2	1.0	-0.010 9	1.646 2	0.934 1	0.6	1.5
	乙基麦芽酚	-0.000 7	0.087 4	0.975 9	0.9	-0.000 3	0.059 9	0.958 7	0.5	1.8
	2,6-二甲基苯酚	-0.009 9	1.314 3	0.988 4	0.7	-0.003 1	1.023 6	0.835 4	0.3	2.3
	4-乙基苯酚	-0.030 9	4.083 0	0.971 6	0.8	-0.014 5	3.086 5	0.865 3	0.5	1.6
	2,6-二甲氧基苯酚	-0.019 9	1.948 2	0.950 9	1.0	-0.007 9	1.247 7	0.950 2	0.7	1.4
	丁香酚	-0.010 1	1.361 9	0.977 8	0.7	-0.006 6	1.002 2	0.961 8	0.6	1.1
	愈创木酚	-0.006 0	1.038 6	0.970 6	0.6	-0.002 0	0.995 6	0.941 3	0.2	3.0
	4-乙烯基愈创木酚	-0.021 4	2.858 0	0.993 2	0.8	-0.003 7	2.111 7	0.829 0	0.3	2.7
	苔黑素	-0.017 7	2.227 0	0.992 3	0.8	-0.004 1	1.239 3	0.955 5	0.3	2.5

比(即 D_{FN}/D_{FS})为 1.1~4.6,因此滤嘴通风率对常规卷烟 9 种酚类香味成分释放量的影响大于细支卷烟。在常规、细支卷烟中,愈创木酚释放量降低率差异较大,比值为 2.8~3.9,丁香酚释放量降低率差异较小,比值为 1.1。

滤嘴通风率和纸通风率对常规卷烟 9 种酚类香味成分释放量的影响均大于细支烟,分析其原因可

能是细支烟横截面积仅为常规卷烟的 48.5%(23/47.4),在标准抽吸条件下,细支烟的气体流速远大于常规卷烟,所以各香味成分在细烟支中的散失、截留时间均小于常规卷烟,因此通风率的降低对常规卷烟的影响大于细支卷烟。细支烟的圆周相对较小,单位烟丝与空气的接触面积较大,烟丝燃烧相对充分,因此滤片截留的香味成分变化幅度较小,这与

杨松等^[22-23]的研究结果基本一致。

2.4 不同通风方式对卷烟酚类香味成分释放量的影响

选择卷烟纸透气度较低(N_1 、 N_5 、 N_9 、 N_{13} 、 S_1 、 S_5 、 S_9 、 S_{13})、滤嘴通风率近似为0(N_1 — N_4 、 S_1 — S_4)的卷烟,用以分别考查滤嘴通风率及纸通风率对对卷烟烟气中9种酚类香味成分释放量的影响,结果如表6所示。由表6可知,对于常规卷烟,纸通风率、滤嘴通风率每增加1%,二者引起9种酚类香味成分释放量降低率之比为1.5~3.7;对于细支卷烟,纸通风率、滤嘴通风率每增加1%,二者引起9种酚类香味成分释放量降低率之比为1.1~3.3。因此,虽然9种酚类香味成分的释放量与纸通风率、滤嘴通风率均显著负相关,但二者对烟气中酚类香味成分释放量降低率的影响程度是不同的,纸通风率的影响要大于滤嘴通风率。分析其原因可能是:虽然纸通风、滤嘴通风均能降低烟丝燃烧量,但纸通风率的增加能直接加速烟气成分向外扩散,滤嘴通风率的增加仅延长了烟气在烟支内的停留时间,从加速烟气向外扩散角度来看,纸通风率的作用更明显^[22-23]。

2.5 不同通风分配对烟气中9种酚类香味成分释放量影响

选择总通风率约为34%的两组常规卷烟(N_{12} 、 N_{13})、总通风率约为42%的两组细支卷烟(S_{12} 、 S_{13}),考查在总通风率相同时,不同通风分配对烟气中9种酚类香味成分释放量的影响,结果如表7所示。由表7可知,对于常规卷烟,9种酚类香味成分

释放量为 N_{13} (滤嘴通风率较高)高于 N_{12} (滤嘴通风率较低);对于细支卷烟,9种酚类香味成分释放量为 S_{13} (滤嘴通风率较高)高于 S_{12} (滤嘴通风率较低)。这说明在总通风率相同的情况下,不论常规卷烟还是细支卷烟,高滤嘴通风率搭配低纸通风率比低滤嘴通风率搭配高纸通风率更有利于烟气中9种酚类香味成分的释放。

另外,相同总通风率条件下,采用高滤嘴通风率搭配低纸通风率时,9种酚类香味成分释放量增加幅度不同,乙基麦芽酚、4-乙基苯酚、2,6-二甲氧基苯酚的增加幅度较大,2,6-二甲基苯酚、丁香酚增加幅度较小。在总通风率增加相同时,常规卷烟中9种酚类香味成分释放量增加率为1.89%~14.29%,

表6 滤嘴通风率、纸通风率对卷烟烟气中9种酚类香味成分释放量影响比较

Table 6 Comparison of the effects of filter and paper ventilation rate on the release of nine phenols in normal and slim mainstream cigarette smoke

化合物	常规卷烟			细支卷烟		
	$D_{PN}/$ %	$D_{FN}/$ %	$D_{PN}/$ D_{FN}	$D_{PS}/$ %	$D_{FS}/$ %	$D_{PS}/$ D_{FS}
麦芽酚	2.0	1.1	1.8	0.9	0.7	1.3
乙基麦芽酚	1.6	0.9	1.8	0.7	0.5	1.4
2,6-二甲基苯酚	1.2	0.8	1.5	0.5	0.4	1.3
4-乙基苯酚	1.8	0.8	2.3	1.0	0.5	2.0
2,6-二甲氧基苯酚	1.1	0.6	1.8	0.6	0.4	1.5
丁香酚	1.1	0.7	1.6	0.7	0.6	1.1
愈创木酚	2.6	0.7	3.7	1.0	0.3	3.3
4-乙基愈创木酚	0.9	0.6	1.5	0.5	0.4	1.3
苕黑素	1.7	0.8	2.1	1.0	0.5	2.0

表7 不同通风分配对9种酚类香味成分释放量的影响

Table 7 Effects of different ventilation distribution on nine phenols release

化合物	常规卷烟			细支卷烟		
	释放量/ $(\mu\text{g}\cdot\text{支}^{-1})$		释放量增加率/%	释放量/ $(\mu\text{g}\cdot\text{支}^{-1})$		释放量增加率/%
	N_{12}	N_{13}		S_{12}	S_{13}	
麦芽酚	1.310	1.371	4.66	1.259	1.342	6.59
乙基麦芽酚	0.063	0.072	14.29	0.051	0.055	7.84
2,6-二甲基苯酚	1.060	1.080	1.89	0.958	0.969	1.15
4-乙基苯酚	3.240	3.573	10.28	2.810	3.024	7.62
2,6-二甲氧基苯酚	1.580	1.753	10.95	1.065	1.177	10.52
丁香酚	1.087	1.130	3.96	0.850	0.900	5.88
愈创木酚	0.940	1.002	6.60	0.881	0.934	6.02
4-乙基愈创木酚	2.319	2.424	4.53	1.994	2.160	8.32
苕黑素	1.720	1.863	8.31	1.150	1.226	6.61

细支卷烟释放量增加率则为 1.15%~10.52%。这说明总通风率的改变对常规卷烟烟气中酚类香味成分释放量的影响要大于细支卷烟。

3 结论

本文卷制了具有不同滤嘴通风率和纸透气度的常规卷烟和卷烟细支卷烟,利用 GC-MS 法分析了所制卷烟样品烟气中具有典型焦甜香味、强烈烟熏香味及树苔香等 9 种代表性酚类香味成分的释放量,考查了滤嘴通风率、纸通风率及通风分配对卷烟烟气中 9 种酚类香味成分释放量的影响。研究结果表明:滤嘴通风率、纸通风率与烟气中 9 种酚类香味成分释放量均呈显著负相关,分子量较小的焦甜香乙基麦芽酚随通风率增加其降低率较高;而分子量较大的烟熏香味的丁香酚降低率较小。对于常规卷烟和细支卷烟,纸通风率、滤嘴通风率对烟气成分含量下降的影响是不同的,纸通风率的影响要大于滤嘴通风率。滤嘴通风率、纸通风率及总通风率对常规卷烟烟气中 9 种酚类香味成分释放量的影响大于细支卷烟。在总通风率一致的情况下,高滤嘴通风率搭配低纸通风率设计的卷烟比低滤嘴通风率搭配高纸通风率的卷烟 9 种酚类香味成分释放量更高。

本文研究结果可为卷烟企业应用不同通风分配参数组合开发低焦油细支卷烟产品提供技术支撑,对促进“高香气、低焦油、低危害”的细支卷烟产品的发展具有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 金勇,王诗太,李克,等. 卷烟滤嘴在降焦减害中的研究进展[J]. 烟草科技,2016,49(11):98-104.
- [2] 于川芳,罗登山,王芳,等. 卷烟“三纸一棒”对烟气特征及感官质量的影响[J]. 中国烟草学报,2001,7(2):1-7.
- [3] 缪明明,陈永宽,刘志华,等. 不同风格特征烟叶化学成分研究[M]. 昆明:云南大学出版社,2016.
- [4] 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.
- [5] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准:GB 2760—2014[S]. 北京:中国标准出版社,2014.
- [6] 周惠健,刘佩,刘嘉琼,等. 食品中乙基麦芽酚检测方法的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报,2021,12(8):3266-3272.
- [7] 李远根,寇天舒. 丁香酚在主流烟气中的迁移率研究[J]. 安徽农业科学,2017,45(12):85-86.
- [8] 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.
- [9] 黄延俊,苏明亮,张建平,等. 细支卷烟中 5 种树苔香味物质的气相色谱:质谱法测定[J]. 分析测试学报,2019,38(2):188-193.
- [10] HOFFMANN D, HOFFMANN I, EL-BAYOUMY K. The less harmful cigarette: A controversial issue. A tribute to Ernst L. Wynder[J]. Chemical Research in Toxicology, 2001, 14(7):767-790.
- [11] 宋凌勇,赵琪,黄世杰,等. 气相色谱-质谱法同时测定卷烟主流烟气中 15 种酚类成分[J]. 理化检验:化学分册,2020,56(10):1085-1090.
- [12] 蔡君兰,韩冰,张晓兵,等. 滤嘴通风度对卷烟主流烟气中一些香味成分释放量的影响[J]. 烟草科技,2011(9):54-60.
- [13] 楚文娟,胡少东,田海英,等. 滤嘴参数对细支卷烟主流烟气中代表性香味成分释放量的影响[J]. 中国烟草学报,2020,26(1):1-7.
- [14] 谢玉龙,朱先约,蔡君兰,等. 滤嘴通风对卷烟烟气酸性成分的影响[J]. 烟草科技,2018,51(3):30-36.
- [15] 田海英,张博,楚文娟,等. 不同圆周及滤嘴通风率对卷烟主流烟气酚类成分释放量影响的气质联用分析[J]. 化学试剂,2020,42(6):666-672.
- [16] 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. 卷烟和滤棒

- 物理性能的测定:GB/T 22838—2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [17] 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.卷烟用常规分析用吸烟机测定总粒相物和焦油:GB/T 19609—2004[S].北京:中国标准出版社,2004.
- [18] 闰克玉.卷烟烟气化学[M].郑州:郑州大学出版社,2002:21-96.
- [19] 颜水明.气体扩散对卷烟燃烧温度分布及CO释放量的影响研究[D].长沙:湖南师范大学,2015.
- [20] BROWNE C L, KEITH C H, ALLEN R E. The effect of filter ventilation on the yield and composition of mainstream and sidestream smokes [J]. Contributions to Tobacco Research, 1980, 10(2):81-90.
- [21] 连芬燕,李斌,黄朝章.滤嘴通风对卷烟燃烧温度及主流烟气中七种有害成分的影响[J].湖北农业科学,2014,53(17):4074-4078.
- [22] 杨松,岳保山,孙培建,等.通风对细支烟主流烟气常规成分及7种有害成分释放量的影响[J].烟草科技,2020,53(12):37-46.
- [23] YAMAMOTO T, SUGA Y, TOKURA C, et al. Effect of cigarette circumference on formation rates of various components in mainstream smoke [J]. Beitrage Zur Tabakforschung, 1985, 13(2):81-87.

Effect of ventilation on the release of typical phenolic flavor components in mainstream cigarette smoke

WANG Bing¹, FAN Zhong², LI Helin³, LIU Shaofeng¹, CHEN Zhiyan²,
LIU Hong², PENG Bin¹, CAI Junlan¹

1. Zhengzhou Tobacco Research Institute of CNTC, Zhengzhou 450001, China;

2. Technology Center, China Tobacco Guangxi Industrial Co., Ltd., Nanning 530000, China

3. Technology Center, China Tobacco Jilin Industrial Co., Ltd., Yanji 133000, China

Abstract: Normal and slim cigarettes with different filter ventilation and cigarette paper air permeability were rolled. The effects of filter ventilation, cigarette paper ventilation and ventilation distribution on nine phenolic aroma components release from mainstream cigarette smoke were investigated. The results showed the filter ventilation rate, paper ventilation rate negatively correlated to the releases of nine phenolic aroma components in cigarette smoke, and with the increase of ventilation rate, the decrease rate of maltol with caramel flavour and smaller molecular weight was higher, while the decrease rate of eugenol with smoky flavor and larger molecular weight was lower. No matter normal or small cigarettes, the paper and filter ventilation rate have different effects on the decrease of smoke composition, and the paper ventilation rate has greater influence than the filter ventilation rate. The effects of filter ventilation rate, paper ventilation rate and ventilation distribution on the release of nine phenolic aroma components in conventional cigarette smoke were greater than those in slim cigarette smoke. When the total ventilation rate was the same, the release of 9 phenolic aroma components in cigarette smoke with high filter ventilation rate and low paper ventilation rate was higher than that with low filter ventilation rate and high paper ventilation rate.

Key words: normal cigarette; slim cigarette; ventilation distribution; cigarette mainstream smoke; phenolic flavor components

(责任编辑:吴晓亭)