

# 沟槽滤嘴对卷烟香气的选择性截留研究

## Study on grooved filter's selective retention to flavor in mainstream smoke

鲁平<sup>1</sup> 顾亮<sup>1</sup> 王建民<sup>2</sup> 李明哲<sup>1</sup>

LU Ping<sup>1</sup> GU Liang<sup>1</sup> WANG Jian-min<sup>2</sup> LI Ming-zhe<sup>1</sup>

李国栋<sup>1</sup> 高明奇<sup>1</sup> 纪朋<sup>1</sup> 胡少东<sup>1</sup>

LI Guo-dong<sup>1</sup> GAO Ming-qi<sup>1</sup> JI Peng<sup>1</sup> HU Shao-dong<sup>1</sup>

(1. 河南中烟工业有限责任公司技术中心, 河南 郑州 450000; 2. 郑州轻工业学院食品与生物工程学院, 河南 郑州 450002)

(1. Technology Center of China Tobacco Henan Industry Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450000, China; 2. College of Food and Biology Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou, Henan 450002, China)

**摘要:**以普通醋纤、内沟槽、外沟槽 3 种滤嘴作为研究对象, 使用吸烟机抽吸卷烟后, 同时蒸馏萃取滤片和滤嘴, GC/MS 分析萃取液中香气成分, 用数据分析方法进行定量分析。结果表明:① 滤嘴和剑桥滤片中共有且平行试验相对误差较小的香味物质共 96 种;② 对各类香味成分的截留效率都是沟槽滤嘴高于普通醋纤滤嘴;③ 卷烟主流烟气中香气成分的截留表现为较强的选择性, 且以正向选择为主, 但其选择性又会因滤嘴而异。

**关键词:**沟槽滤嘴; 香气物质; 选择性截留

**Abstract:** Normal acetate fiber filter, inside grooved filter and outside grooved filter were chosen as objects in the research. Cigarettes were smoked by smoking machine and a method of SDE-GC/MS was used to analyze flavor composition of extraction liquid. Quantitative and relative analysis was made via data analysis method. The results showed that the number of common and minor error flavor in filter and Cambridge filter was 96. To all kinds of flavors, the retention efficiency of grooved filter was higher than normal acetate fiber filter. Retention of flavor compounds in mainstream smoke showed strong selectivity. The selectivity was mainly positive, but changed with different filters.

**Keywords:** grooved filter; flavor composition; selective retention

自中式卷烟提出以来, 降焦减害一直是中国烟草的目标<sup>[1-3]</sup>。卷烟行业在加工技术方面进行了较多的研究和应用, 如改进卷烟纸自然透气度<sup>[4]</sup>、多种形式的滤嘴<sup>[5-6]</sup>、打孔

稀释<sup>[7]</sup>、膨胀丝及烟草薄片<sup>[8-9]</sup>等新技术。但是一般降焦技术没有特定的选择性, 卷烟香味随着焦油量降低相应淡化, 不能满足吸烟者的感官需求。

沟槽滤嘴是近年来开发出的新型卷烟滤嘴<sup>[10-11]</sup>, 由于其降焦减害效果较普通醋纤滤嘴显著而备受青睐, 中国越来越多的卷烟生产企业正在进行尝试性应用。沟槽滤嘴是由一种特殊结构的沟槽纯纤维素纸包裹醋酸纤维丝束滤芯制成(见图 1)。特殊的材料和结构决定了其对卷烟香味物质的截留行为不同于普通醋纤滤嘴, 对卷烟感官质量的影响也不相同。对于沟槽滤嘴在降焦减害上的研究<sup>[12-14]</sup>相对较多, 但是从化学角度分析其对卷烟主流烟气中香味成分的影响还未见报道, 王建民等<sup>[15]</sup>曾研究了沟槽滤嘴对卷烟感官质量的影响。本试验拟研究沟槽滤嘴对卷烟香气成分的截留行为的影响, 以为卷烟材料的设计和应用提供数据支撑。

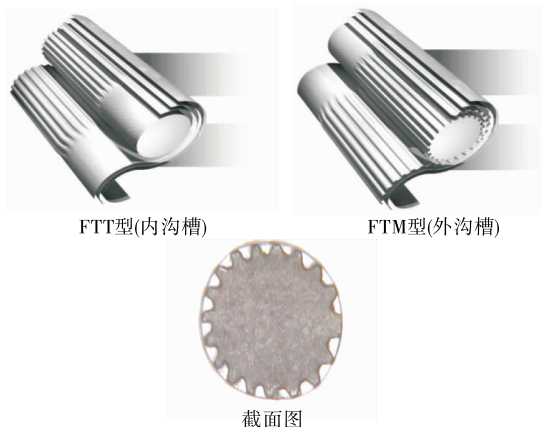


图 1 沟槽滤嘴结构示意图

Figure 1 Structure of grooved filter

**作者简介:**鲁平, 女, 河南中烟工业有限责任公司技术中心工程师, 本科。

**通信作者:**胡少东(1988—), 男, 河南中烟工业有限责任公司技术中心工程师, 硕士。E-mail: 412497128@qq.com

**收稿日期:**2017-09-08

# 1 材料与方法

## 1.1 材料与仪器

### 1.1.1 材料与试剂

外沟槽滤棒:120 mm/24.3 mm/2 800 Pa,江苏南通醋酸纤维公司;

内沟槽滤棒:120 mm/24.3 mm/2 800 Pa,江苏南通醋酸纤维公司;

醋纤滤棒:120 mm/24.3 mm/2 800 Pa,江苏南通醋酸纤维公司;

横纹卷烟纸:50 CU/29 g/m<sup>2</sup>,牡丹江恒丰纸业公司;

不打孔接装纸:68 mm,牡丹江恒丰纸业公司;

二氯甲烷:色谱纯,美国迪马科技股份有限公司;

氯化钠:分析纯,天津市科密欧化学试剂开发中心;

无水乙醇:分析纯,天津市大茂化学试剂厂;

无水硫酸钠:分析纯,天津市德恩化学试剂有限公司;

乙酸苯乙酯:色谱纯,TCI(上海)化成工业发展有限公司。

2,3-戊二酮、甲基吡嗪、环己酮、2,3-二甲基吡嗪、柠檬烯、苯甲醇、苯乙醛、吡啶、异丁香酚:色谱纯,比利时 Acros Organics 公司;

糠醛、3-乙基吡啶、4-甲基愈创木酚:色谱纯, Tokyo Kasei Kogyo Co., Ltd.。

### 1.1.2 主要仪器设备

吸烟机:LM5+型,德国 Borgwaldt-KC 公司;

气相色谱-质谱联用仪:GC6890-MS5973N 型,美国 Agilent 公司;

电子天平:LA-230S 型,感量 0.000 1 g,北京赛多利斯仪器有限公司;

恒温恒湿箱:宾达 LP-11 型,德国 BINDER 公司;

台式恒温振荡器:THZ-C 型,太仓市华美生化仪器厂;

低温冷却液循环泵:DLSB-5/10 型,郑州凯鹏实验仪器有限公司;

超声波清洗器:KQ2200B 型,昆山市超声波仪器有限公司;

同时蒸馏萃取仪:YZ100 型,郑州凯鹏实验仪器有限公司。

## 1.2 方法

1.2.1 不同滤嘴卷烟的制作 在卷烟烟丝配方、卷烟纸(透气度 50 CU、克重 29 g/m<sup>2</sup>)、接装纸(宽度 68 mm、不打孔)不变的前提下,选用不同材质结构、同一规格(长度 120 mm、圆周 24.3 mm、压降 2 800 Pa)滤棒,进行烟支卷制,烟支规格 84 mm(30 mm+54 mm)。滤棒的材质结构分别为:醋纤滤

棒,滤嘴 30 mm 醋纤;内沟槽滤棒,滤嘴 30 mm(10 mm 醋纤+20 mm 沟槽);外沟槽滤棒,滤嘴 30 mm(20 mm 沟槽+10 mm 醋纤)。

1.2.2 滤嘴对香气成分的截留 用吸烟机抽吸卷烟<sup>[16]</sup>,将抽吸后的卷烟滤棒放入圆底烧瓶中,加入 NaCl 溶液,加热至沸腾<sup>[17]</sup>。另一浓缩瓶中加入 CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>,置于 60 °C 恒温水浴锅中。采用低温冷却循环泵作为同时蒸馏萃取仪的冷凝水源,萃取 1.5 h,提取香味物质。按照文献<sup>[18]</sup>设置参数,进行 GC/MS 分析。

卷烟燃烧后,香气物质分别在滤嘴和滤片上被截留,滤嘴对香气物质的截留效率(R<sub>X</sub>)表示截留物质占滤嘴和滤片总截留物质的比例,按式(1)计算:

$$R_X = \frac{M_2}{M_1 + M_2} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

R<sub>X</sub>——各类物质截留效率,%;

M<sub>1</sub>——主流烟气中各类物质含量,μg/支。

M<sub>2</sub>——滤嘴中的各类物质含量,μg/支。

截留效率根据 Davis 等<sup>[19]</sup>提出的滤嘴选择性公式:

$$S_X = \frac{1-E}{1-R_X}, \quad (2)$$

式中:

S<sub>X</sub>——滤嘴对 X 物质的选择性系数;

E——总粒相物截留效率,%;

R<sub>X</sub>——X 物质的截留效率,%。

## 1.3 数据分析

利用公式计算滤棒的截留效率和选择性截留效率,按照选择性截留系数的大小进行聚类分析。

# 2 结果与分析

## 2.1 滤嘴对香气成分的截留

滤嘴和剑桥滤片中共有、且平行试验相对误差较小的香味物质共 96 种,其中包括酸类物质 2 种、醛类 9 种、酯类 2 种、酮类 31 种、烃类 14 种、含氧杂环类 6 种、含氮杂环类 21 种、酚类 4 种、醇类 7 种。由表 1 可知,相同滤嘴对不同种类香味物质、不同滤嘴对同类香味物质的截留效率均存在差异。各类别物质的截留效率为 32.9%~87.1%,对各类香味成分的截留效率排序都是沟槽滤嘴高于普通醋纤纤维滤嘴,2 种沟槽滤嘴之间无显著规律。

## 2.2 不同滤嘴对香气成分截留的选择性分析

2.2.1 对香气的截留效率分类 利用 K-Means 聚类方法,按照选择性系数的数值范围,将 96 种成分分成 5 类,并对每一类的截留效率和选择性截留系数进行统计分析,见表 2~4。

表 1 不同滤嘴对香味物质的截留效率

Table 1 Efficiency of retention to flavor component

| 种类  | 酸类    | 醛类    | 酯类    | 酮类    | 烃类    | 含氧杂环类 | 含氮杂环类 | 酚类    | 醇类    | 总量    |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 醋纤  | 48.27 | 84.24 | 32.90 | 62.69 | 58.22 | 71.37 | 69.63 | 68.31 | 51.21 | 65.11 |
| 内沟槽 | 58.95 | 85.74 | 42.85 | 69.82 | 69.28 | 73.42 | 73.49 | 71.91 | 53.79 | 70.52 |
| 外沟槽 | 53.14 | 87.10 | 40.48 | 69.17 | 68.35 | 75.34 | 75.46 | 74.51 | 61.89 | 72.00 |
| 数量  | 2     | 9     | 2     | 31    | 14    | 6     | 21    | 4     | 7     | 96    |

根据聚类和分析结果,按照选择性截留系数的大小依次为:第 5 类为强选择性(++) ,选择性截留系数在 3.0 以上,香味物质截留效率约为总粒相物的 1.5~1.7 倍,相对总粒相物,香味物质更多的在滤嘴中被截留;第 4 类为中等选择性(+),选择性截留系数为 1.2~3.0,香味物质截留效率约为总粒相物的 1.2~1.5 倍;第 3 类为非选择性(0),选择性截留系数为 0.9~1.2,香味物质截留效率约为总粒相物的 0.9~1.1 倍;第 2 类为负向中等选择性(-),选择性截留系数为 0.66~0.9,香味物质截留效率约为总粒相物的 0.7~0.9 倍;第 1 类为负向强选择性(--) ,选择性截留系数在 0.65 以下,香味物质截留效率约为总粒相物的 0.4~0.6 倍,相对总粒相物,香味物质更少的在滤嘴中被截留。

2.2.2 香气成分在滤嘴上的选择截留性 依据选择性截留系数分类结果评价各种香味物质的选择性截留特性,结果(见表 5~8)表明,96 种半挥发性成分按其截留特性可分为以下几类:

表 2 普通醋酸纤维滤嘴截留效率聚类分析

Table 2 Cluster analysis of normal acetate fiber filter

| 类别 | 样本数 | 截留效率/% |       |       | 选择性系数 |      |
|----|-----|--------|-------|-------|-------|------|
|    |     | 中值     | 最小    | 最大    | 最小    | 最大   |
| 1  | 2   | 24.39  | 22.69 | 26.09 | 0.62  | 0.65 |
| 2  | 16  | 38.73  | 31.29 | 44.44 | 0.70  | 0.87 |
| 3  | 16  | 49.64  | 46.31 | 58.20 | 0.90  | 1.15 |
| 4  | 45  | 74.86  | 61.86 | 83.90 | 1.26  | 2.99 |
| 5  | 17  | 88.20  | 84.28 | 95.17 | 3.07  | 9.98 |

(1) 同时能被 3 种滤嘴选择性截留(选择性截留等级在中等至强选择性之间)的成分 54 种,占 56.3%,其中醛类 6 种,酮类 16 种,烃类 6 种,含氧杂环类 6 种,含氮杂环类 13 种,酚类 2 种,醇类 5 种。

(2) 同时能被 3 种滤嘴负选择性截留(选择性截留等级在负向中等至强选择性之间)的成分 11 种,占 11.5%,其中

表 3 内沟槽滤嘴截留效率聚类分析

Table 3 Cluster analysis of inside grooved filter

| 类别 | 样本数 | 截留效率/% |       |       | 选择性系数 |      |
|----|-----|--------|-------|-------|-------|------|
|    |     | 中值     | 最小    | 最大    | 最小    | 最大   |
| 1  | 4   | 33.22  | 26.81 | 39.37 | 0.54  | 0.65 |
| 2  | 11  | 52.48  | 49.25 | 55.38 | 0.78  | 0.89 |
| 3  | 23  | 61.41  | 56.00 | 65.92 | 0.90  | 1.16 |
| 4  | 45  | 80.63  | 67.32 | 86.27 | 1.21  | 2.88 |
| 5  | 13  | 89.19  | 86.93 | 94.86 | 3.02  | 7.68 |

表 4 外沟槽滤嘴截留效率聚类分析

Table 4 Cluster analysis of outside grooved filter

| 类别 | 样本数 | 截留效率/% |       |       | 选择性系数 |       |
|----|-----|--------|-------|-------|-------|-------|
|    |     | 中值     | 最小    | 最大    | 最小    | 最大    |
| 1  | 3   | 29.64  | 25.22 | 34.48 | 0.57  | 0.65  |
| 2  | 14  | 46.98  | 41.66 | 52.17 | 0.73  | 0.89  |
| 3  | 19  | 57.62  | 52.83 | 64.89 | 0.90  | 1.21  |
| 4  | 33  | 79.68  | 67.66 | 85.71 | 1.31  | 2.97  |
| 5  | 27  | 89.14  | 86.32 | 95.86 | 3.11  | 10.27 |

表 5 正选择性截留的成分

Table 5 Positive selectively retained component

| 成分                  | 醋纤滤嘴卷烟            |                | 内沟槽滤嘴卷烟           |                | 外沟槽滤嘴卷烟           |                |
|---------------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|
|                     | R <sub>x</sub> /% | S <sub>x</sub> | R <sub>x</sub> /% | S <sub>x</sub> | R <sub>x</sub> /% | S <sub>x</sub> |
| 3-糠醛                | 92.81             | 6.70           | 92.98             | 5.53           | 93.99             | 7.07           |
| 糠醛                  | 92.79             | 6.69           | 92.02             | 4.95           | 93.77             | 6.82           |
| 5-甲基糠醛              | 88.03             | 4.03           | 87.66             | 3.20           | 90.23             | 4.35           |
| 苯乙醛                 | 77.47             | 2.14           | 80.93             | 2.07           | 82.27             | 2.40           |
| 5-羟甲基糠醛             | 74.71             | 1.91           | 80.20             | 1.99           | 81.17             | 2.26           |
| 4-甲基-3-环己烯-1-甲醛     | 72.77             | 1.77           | 77.69             | 1.77           | 79.79             | 2.10           |
| 3-戊烯-2-酮            | 79.55             | 2.36           | 85.28             | 2.68           | 87.50             | 3.40           |
| 环戊酮                 | 80.23             | 2.44           | 84.38             | 2.53           | 86.32             | 3.11           |
| 环己酮                 | 80.53             | 2.48           | 84.51             | 2.55           | 86.81             | 3.22           |
| 2-环戊烯-1,4-二酮        | 82.81             | 2.80           | 82.77             | 2.29           | 85.08             | 2.85           |
| 2-庚酮                | 73.42             | 1.81           | 79.31             | 1.91           | 82.56             | 2.44           |
| 2-甲基-2-环戊烯-1-酮      | 84.28             | 3.07           | 85.02             | 2.64           | 88.02             | 3.55           |
| 2,5-己二酮             | 86.90             | 3.68           | 86.06             | 2.83           | 88.41             | 3.67           |
| α-环己烯酮              | 76.08             | 2.02           | 78.39             | 1.83           | 81.82             | 2.34           |
| 2,3-二甲基-2-环戊烯酮      | 81.12             | 2.55           | 83.72             | 2.43           | 86.45             | 3.14           |
| 3-甲基-2-环戊烯-1-酮      | 86.39             | 3.54           | 86.04             | 2.83           | 88.79             | 3.79           |
| 2-羟基-3-甲基-2-环戊烯-1-酮 | 76.27             | 2.03           | 78.55             | 1.84           | 77.53             | 1.89           |
| 2,3-二甲基-2-环戊烯-1-酮   | 75.59             | 1.98           | 77.06             | 1.72           | 80.55             | 2.19           |
| 苯乙酮                 | 78.37             | 2.23           | 82.38             | 2.24           | 84.07             | 2.67           |
| 3-乙基-2-羟基-2-环戊烯-1-酮 | 81.49             | 2.60           | 80.51             | 2.03           | 81.40             | 2.28           |

续表 5

| 成分           | 醋纤滤嘴卷烟   |       | 内沟槽滤嘴卷烟  |       | 外沟槽滤嘴卷烟  |       |
|--------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
|              | $R_x/\%$ | $S_x$ | $R_x/\%$ | $S_x$ | $R_x/\%$ | $S_x$ |
| 1-萘酮         | 63.79    | 1.33  | 68.39    | 1.25  | 71.30    | 1.48  |
| 2-甲基茚满-1-酮   | 69.21    | 1.57  | 79.52    | 1.93  | 75.79    | 1.76  |
| 苯乙烯          | 75.53    | 1.97  | 83.27    | 2.36  | 85.71    | 2.97  |
| 对薄荷烯         | 71.93    | 1.72  | 77.67    | 1.77  | 79.32    | 2.06  |
| 1-苯基-1-丙炔    | 78.94    | 2.29  | 84.91    | 2.62  | 84.81    | 2.80  |
| 别罗勒烯         | 71.71    | 1.70  | 80.30    | 2.01  | 79.90    | 2.11  |
| 1,2-二氢萘      | 77.20    | 2.11  | 78.22    | 1.81  | 79.90    | 2.11  |
| 萘            | 73.06    | 1.79  | 76.05    | 1.65  | 79.03    | 2.03  |
| 4,7-二甲基-1H-茚 | 64.62    | 1.36  | 73.52    | 1.49  | 72.28    | 1.53  |
| 2-甲基呋喃       | 81.52    | 2.61  | 84.68    | 2.58  | 86.75    | 3.21  |
| 2,5-二甲基呋喃    | 77.08    | 2.10  | 78.68    | 1.85  | 80.99    | 2.24  |
| 2-乙基呋喃       | 83.90    | 2.99  | 85.97    | 2.82  | 87.61    | 3.43  |
| 2-乙酰基呋喃      | 88.07    | 4.04  | 88.00    | 3.29  | 90.47    | 4.46  |
| 2-甲基苯并呋喃     | 75.09    | 1.93  | 77.27    | 1.74  | 82.55    | 2.44  |
| 吡嗪           | 78.18    | 2.21  | 84.21    | 2.50  | 87.50    | 3.40  |
| 吡啶           | 84.76    | 3.16  | 87.64    | 3.20  | 89.80    | 4.17  |
| 吡咯           | 95.17    | 9.98  | 94.86    | 7.68  | 95.86    | 10.27 |
| 2-乙酰基吡嗪      | 69.51    | 1.58  | 76.84    | 1.71  | 81.82    | 2.34  |
| 2-甲基吡啶       | 81.19    | 2.56  | 82.32    | 2.23  | 84.78    | 2.79  |
| 甲基吡嗪         | 86.70    | 3.62  | 88.69    | 3.49  | 90.38    | 4.42  |
| 3-甲基吡啶       | 81.97    | 2.67  | 83.93    | 2.46  | 86.99    | 3.27  |
| 2-乙酰基吡咯      | 85.56    | 3.34  | 87.69    | 3.21  | 89.39    | 4.01  |
| 2-乙基吡啶       | 79.77    | 2.38  | 81.45    | 2.13  | 85.28    | 2.89  |
| 2,3-二甲基吡嗪    | 85.11    | 3.24  | 86.27    | 2.88  | 89.80    | 4.17  |
| 2,5-二甲基吡啶    | 78.37    | 2.23  | 80.00    | 1.98  | 83.01    | 2.50  |
| 2-甲氧基吡啶      | 89.44    | 4.56  | 89.58    | 3.79  | 89.19    | 3.93  |
| 2-甲氧基-3-甲基吡嗪 | 73.23    | 1.80  | 76.89    | 1.71  | 79.18    | 2.04  |
| 愈创木酚         | 78.16    | 2.21  | 80.07    | 1.98  | 82.89    | 2.48  |
| 4-甲基愈创木酚     | 75.79    | 1.99  | 84.29    | 2.51  | 85.28    | 2.89  |
| 2-甲基-3-戊醇    | 80.41    | 2.46  | 85.19    | 2.67  | 87.29    | 3.34  |
| 糠醇           | 88.33    | 4.13  | 86.93    | 3.02  | 88.64    | 3.74  |
| 5-甲基糠醇       | 88.17    | 4.07  | 87.32    | 3.12  | 88.58    | 3.72  |
| 4-甲基苯甲醇      | 81.94    | 2.67  | 85.31    | 2.69  | 86.72    | 3.20  |
| $\beta$ -苯乙醇 | 86.60    | 3.60  | 89.01    | 3.59  | 90.63    | 4.54  |

表 6 负选择性截留的成分

Table 6 Negative selectively retained component

| 成分                | 醋纤滤嘴卷烟   |       | 内沟槽滤嘴卷烟  |       | 外沟槽滤嘴卷烟  |       |
|-------------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
|                   | $R_x/\%$ | $S_x$ | $R_x/\%$ | $S_x$ | $R_x/\%$ | $S_x$ |
| 3-甲基-2-丁烯醛        | 34.93    | 0.74  | 39.37    | 0.65  | 34.48    | 0.65  |
| 4-甲基-2,5-二甲氧基苯甲醛  | 39.43    | 0.80  | 50.60    | 0.80  | 46.95    | 0.80  |
| 邻苯二甲酸二乙酯          | 41.37    | 0.82  | 50.81    | 0.80  | 50.84    | 0.86  |
| 亚麻酸甲酯             | 22.69    | 0.62  | 31.82    | 0.58  | 25.22    | 0.57  |
| 巨豆三烯酮 C           | 40.79    | 0.81  | 51.16    | 0.81  | 49.48    | 0.84  |
| 巨豆三烯酮 D           | 43.56    | 0.85  | 53.83    | 0.86  | 51.46    | 0.88  |
| 对己基苯乙酮            | 39.19    | 0.79  | 51.03    | 0.81  | 46.13    | 0.79  |
| 2,3,6-三甲基-1,4-萘二酮 | 36.52    | 0.76  | 49.25    | 0.78  | 41.66    | 0.73  |
| 岩兰草酮              | 35.57    | 0.75  | 54.22    | 0.86  | 48.53    | 0.83  |
| 西柏三烯-4,6-二醇       | 26.09    | 0.65  | 26.81    | 0.54  | 29.21    | 0.60  |
| 黑松醇               | 31.29    | 0.70  | 34.89    | 0.61  | 45.58    | 0.78  |

表 7 无选择性截留的成分  
Table 7 Non-selectivelyretained component

| 名称            | 醋纤滤嘴卷烟   |       | 内沟槽滤嘴卷烟  |       | 外沟槽滤嘴卷烟  |       |
|---------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
|               | $R_X/\%$ | $S_X$ | $R_X/\%$ | $S_X$ | $R_X/\%$ | $S_X$ |
| 2-戊酮          | 47.71    | 0.92  | 57.25    | 0.92  | 60.47    | 1.08  |
| 乙基异丁酮         | 54.55    | 1.06  | 61.90    | 1.04  | 64.06    | 1.18  |
| 香叶基丙酮         | 46.51    | 0.90  | 64.15    | 1.10  | 63.27    | 1.16  |
| $\gamma$ -松油烯 | 56.96    | 1.12  | 62.17    | 1.04  | 64.15    | 1.19  |
| 2,3-二甲基吡啶     | 48.93    | 0.94  | 61.70    | 1.03  | 56.44    | 0.98  |
| 异丁香酚          | 58.20    | 1.15  | 65.18    | 1.13  | 64.66    | 1.20  |

表 8 选择性截留不一致的成分  
Table 8 Different selectivelyretained component

| 名称             | 醋纤滤嘴卷烟   |       | 内沟槽滤嘴卷烟  |       | 外沟槽滤嘴卷烟  |       |
|----------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
|                | $R_X/\%$ | $S_X$ | $R_X/\%$ | $S_X$ | $R_X/\%$ | $S_X$ |
| 3,4-二甲氧基肉桂酸    | 46.60    | 0.90  | 59.77    | 0.98  | 53.07    | 0.91  |
| 3-甲基肉桂酸        | 49.59    | 0.96  | 58.25    | 0.95  | 53.18    | 0.91  |
| 2,3,4,5-四甲基苯甲醛 | 44.53    | 0.87  | 63.37    | 1.08  | 52.17    | 0.89  |
| 2,3-戊二酮        | 52.36    | 1.01  | 58.18    | 0.94  | 59.20    | 1.04  |
| 过氧化乙酰丙酮        | 66.79    | 1.45  | 62.99    | 1.07  | 67.78    | 1.32  |
| $\beta$ -大马酮   | 61.86    | 1.26  | 75.00    | 1.58  | 63.02    | 1.15  |
| 7-甲基茚酮         | 49.53    | 0.96  | 61.05    | 1.01  | 54.66    | 0.94  |
| 巨豆三烯酮 A        | 44.44    | 0.87  | 55.29    | 0.88  | 58.94    | 1.04  |
| 巨豆三烯酮 B        | 46.37    | 0.90  | 54.59    | 0.87  | 52.83    | 0.90  |
| (+)-柠檬烯        | 51.26    | 0.99  | 64.72    | 1.12  | 69.02    | 1.37  |
| 1,2,3-三甲基茚     | 51.31    | 0.99  | 63.04    | 1.07  | 58.90    | 1.03  |
| 1,2,3,4-四甲基萘   | 41.32    | 0.82  | 57.99    | 0.94  | 47.99    | 0.82  |
| 4,4'-二甲基联苯     | 42.86    | 0.84  | 61.40    | 1.02  | 50.83    | 0.86  |
| 对称八氢萘          | 46.31    | 0.90  | 67.32    | 1.21  | 51.46    | 0.88  |
| 菲              | 40.64    | 0.81  | 61.08    | 1.01  | 49.55    | 0.84  |
| 2,3-二氢苯并呋喃     | 62.14    | 1.27  | 64.13    | 1.10  | 64.19    | 1.19  |
| 2,3-二甲基吡啶      | 35.96    | 0.75  | 51.16    | 0.81  | 56.38    | 0.97  |
| 3-乙基吡啶         | 63.83    | 1.33  | 65.92    | 1.16  | 73.61    | 1.61  |
| 2-甲氧基-3-甲基吡啶   | 73.23    | 1.80  | 76.89    | 1.71  | 79.18    | 2.04  |
| 吡啶             | 77.31    | 2.12  | 78.23    | 1.81  | 81.21    | 2.26  |
| 3-甲基吡啶         | 62.29    | 1.28  | 61.51    | 1.03  | 62.73    | 1.14  |
| 2-苯基吡啶         | 51.23    | 0.99  | 58.18    | 0.94  | 64.89    | 1.21  |
| 3-甲基-4-苯基吡啶    | 52.05    | 1.01  | 55.38    | 0.89  | 56.59    | 0.98  |
| 2,3-联吡啶        | 44.73    | 0.87  | 56.00    | 0.90  | 52.02    | 0.89  |
| 4-乙炔基愈创木酚      | 62.13    | 1.27  | 62.56    | 1.06  | 67.66    | 1.31  |

醛类 2 种,酯类 2 种,酮类 5 种,醇类 2 种。

(3) 3 种滤嘴均不能选择性截留的成分 6 种,占 6.2%,其中酮类 3 种,烃类 1 种,含氮杂环类 1 种,酚类 1 种。

(4) 选择性在不同滤嘴上表现不一致的 25 种成分,占 31.3%。

在 96 种香气物质中,对于 3 种滤嘴,71 种香气物质的截留行为表现出较强的选择性,且以正向选择为主,但是选择性因滤嘴不同而不同。其他 25 种香气物质在 3 种滤嘴上的

截留行为表现不一致,无明显规律。

### 3 结论

(1) 能被 3 种滤嘴截留的香气物质有 96 种,各类别香味物质的过滤效率为 32.9%~87.1%,其中醛类的截留效率最高,酯类的截留效率最低。

(2) 对各类别香味物质的截留效率都是沟槽滤嘴高于普通醋纤滤嘴,内沟槽滤嘴和外沟槽滤嘴之间无明显规律。

(3) 滤嘴对香味物质的过滤具有较强的选择性,且以正

向选择为主,但其选择性又会因滤嘴而异。总之,滤嘴不仅影响主流烟气中半挥发性成分的总量,同时也会影响其构成。

(4) 在后续工作中,可以针对不同香味物质在不同滤嘴上的选择性截留情况,结合滤嘴结构,进一步探讨其形成原因。

### 参考文献

- [1] 王彦亭. 依靠科技进步,促进中式卷烟发展[J]. 中国烟草学报, 2005, 11(1): 8-12.
- [2] 郑新章, 张仕华, 邱纪青. 卷烟降焦减害技术研究进展[J]. 烟草科技, 2003(11): 8-13.
- [3] 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): 98-106.
- [4] 张国强, 黄朝章. 卷烟纸的透气度设计参数对卷烟主流烟气中氨释放量及焦油含量的影响[J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2014, 29(5): 39-43.
- [5] 黄小雷, 刘文, 陈雪峰, 等. 复合材料滤嘴棒与醋酸纤维滤嘴棒减害效果差异的机理分析[J]. 中国造纸, 2013, 32(10): 42-46.
- [6] 李艳平, 文建辉, 彭斌, 等. 不同结构滤嘴的烟碱截留效率和空间分布模式[J]. 烟草科技, 2013(2): 57-61.
- [7] 金勇, 王诗太, 李克, 等. 接装纸打孔参数对卷烟烟气焦油及7种有害成分释放量影响的PLS回归分析[J]. 烟草科技, 2016, 49(4): 37-44.
- [8] 邱晔, 卢伟, 王建, 等. 造纸法烟草薄片对卷烟一氧化碳释放量影响研究[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2010, 32(S1): 130-133.
- [9] 邱晔, 王建, 卢伟. 国内外造纸法烟草薄片的烟气主要有害物释放量研究及其烟气危害性评估[J]. 现代科学仪器, 2010(3): 85-88.
- [10] 东传斌, 朱红, 金钟国, 等. 异性同轴芯沟槽滤棒: 中国, CN202311167U[P]. 2012-07-11.
- [11] 喻赛波, 金勇, 刘琦, 等. 一种可降低卷烟主流烟气中酚类化合物的沟槽滤棒纤维素纸添加剂及应用: 中国, CN103141941A[P]. 2013-06-12.
- [12] 刘丁伟, 程传玲, 鲁平, 等. 沟槽滤嘴对卷烟主流烟气中简单酚类物质的截留行为研究[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(18): 4 348-4 350.
- [13] 谢兰英, 钟科军, 刘琦, 等. 纤维素纸沟槽滤嘴选择性降低卷烟烟气中有害成分[J]. 烟草科技, 2017, 50(5): 45-52.
- [14] 李海锋, 汤德芳, 王辉, 等. 沟槽滤嘴对中试低焦油卷烟主流烟气的影响[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(28): 14 022-14 024.
- [15] 王建民, 王晓斌, 苏东赢, 等. 沟槽滤嘴对卷烟感官品质及风格的影响[J]. 烟草科技, 2015, 48(7): 70-74.
- [16] 国家烟草专卖局. GB/T 19609—2004 卷烟用常规分析用吸烟机测定总粒相物和焦油[S]. 北京: 中国国家标准化管理委员会, 2004: 1-14.
- [17] 靳志富, 刘丁伟, 韩明, 等. 沟槽滤嘴截留挥发性烟气成分的同时蒸馏萃取条件研究[J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2012, 27(2): 37-39.
- [18] 宗东岳, 王建民, 靳志富. 沟槽滤嘴对卷烟香味物质的截留率研究[J]. 广东化工, 2014, 41(21): 39-40.
- [19] DAVIS H, GEORGE W. A dimensionless measure of filter selectivity: geometrical factors in cigarette construction which influence this measure[J]. Beitr Tabakforsch Int, 1965, 3(3): 203-214.
- (上接第122页)
- [2] 于文喜, 胡长鹰, 王志伟. 天然可食/可降解抑菌膜研究进展[J]. 功能材料, 2015, 46(17): 17 001-17 007.
- [3] ZHANG Hong-cai, JUNG J Y, ZHAO Yan-yun. Preparation and characterization of cellulose nanocrystals films incorporated with essential oil loaded  $\beta$ -chitosan beads[J]. Food Hydrocolloids, 2017(69): 164-172.
- [4] 刘晓伟, 王利强, 廖祝胜, 等. 微胶囊技术在食品包装中的研究进展[J]. 包装工程, 2017, 38(1): 149-155.
- [5] 王卉, 张明凯, 胡锐, 等. 精油在食品抗菌包装中的应用研究进展[J]. 食品工业, 2015, 36(7): 219-222.
- [6] 岳淑丽, 万达, 张义珂. 肉桂精油微胶囊抗菌纸的研制及对圣女果的保鲜效果研究[J]. 包装工程, 2015, 36(13): 47-51.
- [7] 李芳, 王全杰, 肖振峰. 艾蒿油微胶囊的制备及其在聚氨酯中的抗菌性研究[J]. 中国皮革, 2012, 41(1): 25-29.
- [8] 闫丹丹, 钱怡. 含微胶囊的抗菌淀粉膜制备工艺及性能研究[J]. 包装工程, 2016, 37(9): 26-30.
- [9] 郝喜海, 孙森, 邓靖, 等. 丁香精油微胶囊抗菌包装薄膜[J]. 塑料, 2012, 41(1): 64-66.
- [10] 张慧芸, 郭新宇, 康怀彬, 等. 添加适量丁香精油提高大豆分离蛋白膜性能[J]. 农业工程学报, 2014, 30(4): 247-254.
- [11] 邓靖, 谭兴和, 薛琼. 丁香精油  $\beta$ -环糊精微胶囊制备工艺条件的优化[J]. 包装工程, 2010(11): 19-22.
- [12] 刘楠楠, 陈雪峰, 刘俊杰. 复凝聚法制备葱油香精微胶囊[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(2): 103-107.
- [13] 孙爱兰, 谭天伟, 周荣琪, 等. 壳聚糖香精微胶囊的制备[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(3): 60-63.
- [14] CHO S Y, LEE S Y, RHEE C. Edible oxygen barrier bilayer film pouches from corn zein and soy protein isolate for olive oil packaging[J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(8): 1 234-1 239.
- [15] 董增, 孙朋朋, 王海潮, 等. 可食性大豆分离蛋白膜制备与性质[J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 187-191.
- [16] 刘婧, 胡长鹰, 曾少甫. 壳聚糖/尼泊金酯共混膜的制备及性能研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(3): 131-136.
- [17] 余丽丽, 杨星昊, 李春成. 白术挥发油/ $\beta$ -环糊精包合物的表征[J]. 中国药学杂志, 2005, 40(2): 13-16.
- [18] 李伟, 张宁, 侯建平.  $\beta$ -环糊精与香精包合物的制备及紫外光谱和差热分析[J]. 天中学刊, 2000(5): 16-19.
- [19] 程玉娇, 应丽莎, 李大虎, 等. 迷迭香大豆分离蛋白膜的制备及其性能[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 33-38.
- [20] 孙森. 基于丁香精油/ $\beta$ -环糊精微胶囊的聚乙烯醇抗菌膜的制备及性能研究[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2012.