

## 口感导向的烟气甜香味成分的剖析

熊骏威<sup>1</sup>, 张 玮<sup>1</sup>, 曹晓卫<sup>2</sup>, 岳宝华<sup>3</sup>, 梁德民<sup>1</sup>, 鲍辰卿<sup>1</sup>, 费 婷<sup>1\*</sup>

(1.上海烟草集团有限责任公司技术中心,上海 201315; 2.上海师范大学 化学与材料科学学院,  
上海 200234; 3.上海大学 理学院,上海 200444)

**摘 要:**对云南红河烟叶单料烟的烟气甜香味成分进行了分析,利用凝胶渗透色谱(GPC)分离其烟气粒相物的水溶性组分,并对所得流分进行感官味觉评价,同时结合电子舌评价结果定位出甜香味特征流分,采用气相色谱-质谱法(GC/MS)定性甜香味流分中的化学成分.结果表明:特征流分中具有甜香味的成分主要为吡喃酮类、呋喃类、呋喃酮类和环戊烯酮类化合物.该研究方法可为剖析烟气中关键的甜香味成分和提高卷烟的感官舒适性提供一定的参考价值.

**关键词:**烟气; 甜香味; 凝胶渗透色谱(GPC); 电子舌; 感官评价

**中图分类号:** O 65    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1000-5137(2021)04-0487-08

### Sensory-oriented identification and analysis of sweet aroma components in cigarette smoke

XIONG Junwei<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>1</sup>, CAO Xiaowei<sup>2</sup>, YUE Baohua<sup>3</sup>,  
LIANG Demin<sup>1</sup>, BAO Chenqing<sup>1</sup>, FEI Ting<sup>1\*</sup>

(1.Technology Center, Shanghai Tobacco Group Co., Ltd., Shanghai 201315, China;

2.College of Chemistry and Materials Science, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China;

3.College of Sciences, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

**Abstract:** In this work, the sweet aroma components in cigarette smoke from Yunnan Honghe region were analyzed. The water-soluble components were separated from the particulate matter of cigarette smoke by gel permeation chromatography (GPC). The sweet aroma characteristic components were identified by the sensory taste and electronic tongue evaluations and were analyzed by gas chromatography mass spectrometry (GC/MS). The results showed that pyranones, furans, furanones and cyclopentenones were directly contributed to sweet aroma. This method is helpful to identify the key sweet aroma ingredients of cigarette smoke and

收稿日期: 2020-09-22

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(21706156)

作者简介: 熊骏威(1990—),男,工程师,主要从事烟草化学分析技术研究. E-mail: xiongjw@sh.tobacco.com.cn

\*通信作者: 费 婷(1987—),女,高级工程师,主要从事烟草化学分析与应用技术研究. E-mail: feit@sh.tobacco.com.cn

引用格式: 熊骏威,张玮,曹晓卫,等.口感导向的烟气甜香味成分的剖析[J].上海师范大学学报(自然科学版),2021,50(4):487-494.

Citation format: XIONG J W, ZHANG W, CAO X W, et al. Sensory-oriented identification and analysis of sweet aroma components in cigarette smoke [J]. Journal of Shanghai Normal University (Natural Sciences), 2021, 50(4): 487-494.

this work can provide some reference for improving the sensory comfort of cigarette.

**Key words:** cigarette smoke; sweet aroma scent; gel permeation chromatography(GPC); electronic tongue; sensory evaluation

## 0 引言

卷烟烟气成分十分复杂,已知化学成分的数量超过6 000种.在卷烟烟气直接分析难以准确聚焦产品具体感官品质特征的物质基础情况下,感官导向分离成为关联卷烟烟气分析与感官品质的重要技术手段,是烟草感官组学分析领域的重要技术环节.在食品感官组学分析领域,研究者以感官导向的分离技术为基础,在产品感官品质的化学本质剖析层面取得了一系列重大进展<sup>[1]</sup>.针对美拉德反应产物,研究者获得了带来清凉感的化学特征组分,鉴定出3-甲基-2-(1-吡咯烷基)-2-环戊烯-1-酮、5-甲基-2-(1-吡咯烷基)-2-环戊烯-1-酮,以及2,5-二甲基-4-(1-吡咯烷基)-3(2H)-咪喃酮这3种清凉感关键成分<sup>[2]</sup>.在对胡萝卜苦味特征的研究中,研究者定位了胡萝卜提取物的苦味特征组分,鉴定出3种关键苦味成分<sup>[3]</sup>.研究者在对鱼子酱的感官导向分析中,精确定位了鱼子酱中咸味特征组分,并鉴定出一种咸味增强剂<sup>[4-6]</sup>.国内研究者利用相似的方法从巴马火腿酶解物和白腐乳中分离出多种味觉特征组分,并最终得到一系列呈味活性肽<sup>[7-8]</sup>.在相关研究的推动下,有越来越多对食品感官特征有重要贡献的成分被发现<sup>[9-11]</sup>.

近几年烟草行业研究人员在感官导向下的凝胶渗透色谱(GPC)分离基础上,成功获取了卷烟烟气、烟叶原料及天然香料等不同研究对象的多种香味特征组分,并明确了各组分香味特征的物质基础<sup>[12-18]</sup>.本文作者利用GPC分离主流烟气粒相物的水溶性组分,再通过味觉感官评价和电子舌评价定位甜香特征组分,用气相色谱-质谱法(GC/MS)定性甜香流分的组成,更加快速、准确地找到了甜香味中的化学成分类别.

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料和仪器

实验烟样:选取云南红河烟叶为原料卷制的单料烟.

仪器:Agilent 7890BGC/MS联用仪,配备Agilent 7693自动进样器、Agilent 5977A质谱检测器(美国Agilent科技有限公司);Waters e2695高效液相色谱仪,配备Waters 2414示差折光检测器、流分收集器(美国Waters公司);RM200A转盘式吸烟机(德国Borgwaldt KC公司);PB 303-S电子天平(瑞士METTLER TOLEDO公司);R-215型旋转蒸发器(瑞士Buchi公司);FreeZone 6 L冻干机(美国Labconco公司);TS-5000Z味觉分析系统(日本INSENT公司);凝胶色谱柱OHpak SB-2002.5(20 mm×300 mm,日本Shodex公司).

### 1.2 方法

#### 1.2.1 烟气粒相物水溶性组分的制备

参照文献[13],将卷烟样品在温度(22±1)℃和相对湿度(60±2)%的环境下平衡48 h<sup>[19]</sup>.按《ISO 3308:2000 Routine analytical cigarette-smoking machine-Definitions and standard conditions》和《GB/T 19609—2004 卷烟用常规分析用吸烟机测定总粒相物和焦油》规定的方法抽吸烟支,利用剑桥滤片收集20支卷烟的烟气粒相物.滤片置于锥形瓶中,加入无水乙醇萃取,合并萃取液;旋蒸除去乙醇,加入蒸馏水搅拌均匀,过滤,将水溶液冷冻干燥除去水分,得红棕色黏稠固体即为烟气粒相物的水溶性组分.

### 1.2.2 烟气粒相物水溶性组分的分离

将上述烟气粒相物水溶性组分溶于水,通过凝胶色谱分离。

凝胶色谱柱 OHpak SB-2002.5,内径 20.0 mm,长 300 mm;塔板数 $\geq 12\ 000$ ,粒径 10  $\mu\text{m}$ ;流动相为水,流速 1 mL $\cdot\text{min}^{-1}$ ,每隔 10 min 收集 1 个流分,共收集 30 个流分。

### 1.2.3 甜香味流分的确定

由味觉评价人员通过舌尖品尝的方式同时结合电子舌对各流分的味觉特征进行评价,确定含有甜香味的流分;合并筛选的流分,冷冻干燥后,得到甜香味特征组分。

### 1.2.4 甜香味流分中成分的定性分析

将分离评价后得到的各烤甜香特征流分分别溶于乙醇,GC/MS 分析定性。GC/MS 分析条件:色谱柱 DB-wax(30 m $\times$ 250  $\mu\text{m}\times 0.25$  m);载气 He;柱流量 1.5 L $\cdot\text{min}^{-1}$ ;进样量 1  $\mu\text{L}$ ;进样口温度 250  $^{\circ}\text{C}$ ;程序升温 40  $^{\circ}\text{C}$ (2 min)3  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  230  $^{\circ}\text{C}$  20 流模式,不分流;传输线温度 240  $^{\circ}\text{C}$ ;离子源 EI;电离能量 70 eV;离子源温度 230  $^{\circ}\text{C}$ ;四级杆温度 150  $^{\circ}\text{C}$ ;扫描模式为全扫描;质量扫描范围 20~40 amu。

## 2 结果和讨论

### 2.1 烟气粒相物水溶性组分味觉评价结果

将制备所得的烟气粒相物水溶性组分溶于水,加入到凝胶色谱柱中,用水作为流动相进行分离后,收集了 30 个流分,依次编号为 F1~F30。30 个流分的味觉评价结果列于表 1。其中,F1~F5 和 F22~F30 为浅黄色的液体,没有明显的味觉特征;F6~F21 颜色相对较深,其味觉依次表现为酸、甜和苦,其中的 F8~F16 流分,能明显感受到其中的甜味。

表 1 GPC 流分味觉评价结果

流分	味觉	流分	味觉	流分	味觉	流分	味觉	流分	味觉
F1	无	F7	焦酸	F13	烤甜	F19	焦油味	F25	无
F2	无	F8	焦甜	F14	烤甜	F20	浆糊味	F26	无
F3	无	F9	烤甜	F15	甜	F21	焦苦	F27	无
F4	无	F10	坚果香	F16	烤甜	F22	无	F28	无
F5	无	F11	焦甜	F17	淡	F23	无	F29	无
F6	浆糊	F12	烤甜	F18	涩苦	F24	无	F30	无

最先流出的 F1~F5 流分几乎没有甜香味觉特征,可能是由于大分子物质最先被洗脱出,其结构和体积不满足与味觉嗅觉受体发生相互作用的条件;而最后流出的 F22~F30 流分也无味觉特征,可能是其浓度很低所致。挑选其中具有甜香味的味觉流分 F8~F16,通过电子舌评价进行味觉验证。

表 2 为流分 F8~F16 的电子舌实验数据,所有数据均是以人工唾液(参比溶液)为标准的绝对输出值,电子舌测试人工唾液的状态模拟人口腔中只有唾液时的状态。其中无味点为参比溶液的输出,参比溶液由氯化钾和酒石酸组成味觉值,故酸味的无味点为-13,咸味的无味点为-6。以此为基准,对于常规食品样品来说,其味觉值低于无味点时说明样品无该味道,反之则有。对于烟气样品来说,由于其不是常规的食品样品,其实验结果不能完全按照食品样品的方法去分析,呈现的数值可能反映了烟溶解于水中的物质可引起传感器的应答,应答值有大有小。

将流分 F8~F16 的电子舌数据做成味觉雷达图,如图 1 所示,可以很清楚地看出,这些流分的甜味明显高过甜味无味点,可以验证这 9 个流分均有甜味。

表2 GPC流分的电子舌实验数据

流分	甜味	酸味	涩味	涩味回味	鲜味	丰富性	咸味
无味点	0	-13.00	0	0	0	0	-6.00
F8	19.32	-19.04	-1.12	0.13	3.91	1.51	-19.70
F9	20.13	-19.35	-2.79	0.08	4.07	1.53	-19.86
F10	19.82	-17.37	-2.08	0.10	3.61	1.47	-20.01
F11	18.62	-20.06	-1.58	0.09	4.34	1.50	-19.64
F12	18.88	-22.87	-2.59	0.06	5.04	1.48	-18.76
F13	19.40	-14.82	-3.53	0.05	3.31	1.51	-20.31
F14	20.02	-18.10	-2.80	0.06	4.04	1.58	-20.52
F15	19.64	-19.29	-1.84	0.09	3.98	1.52	-20.56
F16	19.54	-17.54	-3.18	0.06	3.57	1.54	-20.44

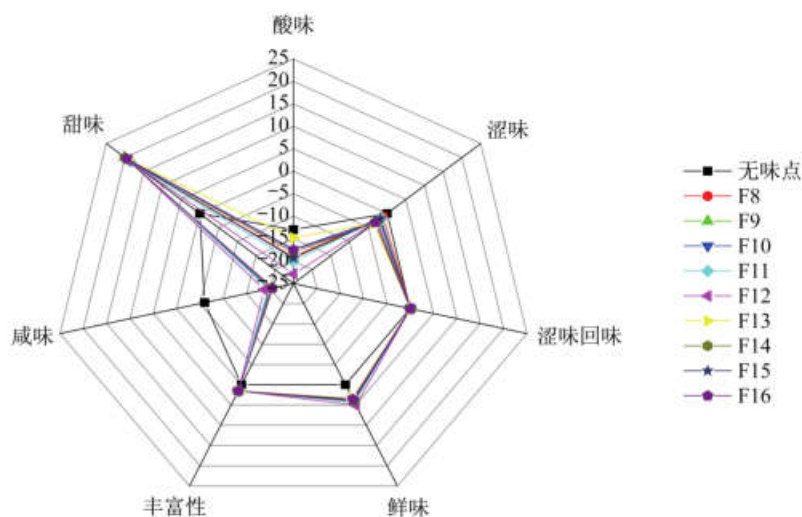


图1 甜味流的味觉雷达图

将9个流分样品的甜味制成折线图(图2),从数值上看,9个样品的甜味值在18.62~20.13之间,其中F11和F12的甜味值最小,另外几个样品的差异较大,流分留作下一步逐个进行分析。

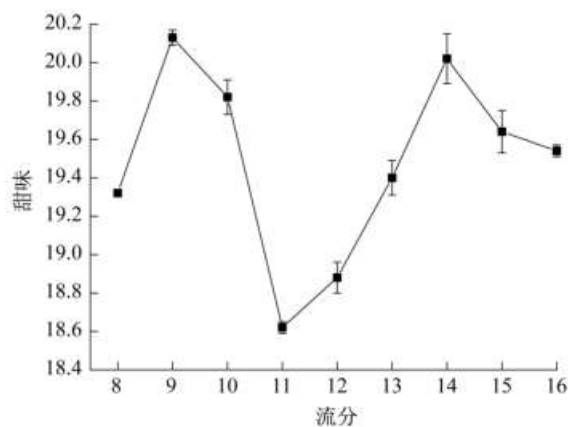


图2 甜味流的折线图

## 2.2 甜香味流分的分析

对上述甜香流分适当合并,并进行GC/MS分析,结果如表3~6所示.非甜香物质或明显无甜香味的成分不进行味觉描述.

表3 流分F8~F10的GC/MS分析结果

编号	保留时间/min	化合物名称	匹配度	参考味道
1	12.7	Dihydro-2-methyl-3(2H)-furanone	88.8	焦糖香
2	15.2	2-Methylfuran	88.3	淡淡的烟熏样甜
3	17.0	1-Hydroxy-2-butanone	97.8	无
4	17.9	2(5H)-Furanone	90.2	甜润的、透发的焦糖香
5	22.8	2-Acetyl-2-methyltetrahydrofuran	89.3	无
6	26.0	Propylene glycol	87.9	甜
7	31.3	2(5H)-Furanone	97.8	焦糖香
8	35.9	4-Methyl-5H-furan-2-one	95.1	纯正的蜜糖样、草莓样香
9	41.3	Furaneol	96.4	焦糖香
10	41.7	5-Acetyldihydro-2(3H)-furanone	92.6	极淡的蜜甜香
11	49.9	Glycerin	99.1	甜
12	54.7	5-Hydroxymethylfurfural	98.6	类似咖啡糖甜香

表4 流分F11和F12的GC/MS分析结果

编号	保留时间/min	化合物名称	匹配度	参考味道
1	17.0	1-Hydroxy-2-butanone	88.1	无
2	26.1	Propylene glycol	92.7	甜
3	28.6	2-Furanmethanol	92.8	无
4	31.3	2(5H)-Furanone	93.8	焦糖香
5	35.8	4-Methyl-5H-furan-2-one	94.0	纯正的蜜糖样、草莓样香
6	41.3	Furaneol	97.2	焦糖香
7	49.9	Glycerin	97.3	甜
8	54.7	5-Hydroxymethylfurfural	97.8	类似咖啡糖样香
9	70.2	D-Allose	97.9	阿洛糖,甜
10	80.4	1,6-anhydro-beta-D-Glucopyranose	99.3	无

从表3~6中可以看出,流分中主要含有呋喃类、呋喃酮类、吡喃酮类和环戊烯酮类等结构.通过对甜香特征流分的成分分析和文献对比,认为吡喃酮类、呋喃酮类、呋喃类和环戊烯酮类化合物是流分甜香味的重要来源.还有极少的一些醇类如丙三醇、丙二醇,单糖阿洛糖等也对甜味有一定的贡献.卷烟燃烧的过程很复杂,很难确定它们的形成机理.呋喃类和吡喃类物质主要与烟草总糖、还原糖及糖氮比有较强的正相关,糖类物质可能是它们的主要前体物.反应过程主要经历异构化、双键断裂和脱水3个步骤,即己糖在特定条件下会生成烯醇互变异构体中间产物,再进一步脱水生成5-羟甲基糠醛<sup>[20]</sup>;而5-羟甲基糠醛发生降解则有可能生成糠醛、5-甲基糠醛和其他呋喃类化合物.某些还原性单糖经过自身降解可能产生酮类化合物.还有一些酮类化合物也可能通过美拉德反应产生;其自身进一步降解,则有可能生成其他一系列呋喃酮类、吡喃酮类、环戊烯酮类和糠醛类化合物<sup>[21]</sup>.

表5 流分F13和F14的GC/MS分析结果

编号	保留时间/min	化合物名称	匹配度	参考味道
1	11.0	2-Methylfuran	93.9	无
2	12.7	Dihydro-2-methyl-3(2H)-furanone	87.8	焦糖香
3	17.0	1-Hydroxy-2-butanone	97.9	无
4	19.2	5-Methyl-2(3H)-furanone	91.1	无
5	26.0	Propylene glycol	97.4	甜
6	28.6	2-Furanmethanol	98.0	无
7	30.5	3,4-Dimethyl-2,5-furandione	91.0	焦香烟熏香
8	31.3	2(5H)-Furanone	94.7	焦糖香
9	41.3	Furaneol	97.7	焦糖香
10	41.7	5-Acetyldihydro-2(3H)-furanone	89.8	极淡的蜜甜香
11	70.2	D-Allose	88.9	无
12	73.1	1,6-Anhydro-beta-D-glucopyranose	86.9	无

表6 流分F15和F16的GC/MS分析结果

编号	保留时间/min	化合物名称	匹配度	参考味道
1	5.8	2,3-Dihydrofuran-	88.3	焦糖香
2	17.9	2(5H)-Furanone	87.1	甜润的、透发的焦糖香
3	19.2	5-Methyl-2(3H)-furanone	94.0	无
4	20.6	3-Furaldehyde	97.6	甜的、谷物的、类似面包的、发酵的、焦糖的、辛辣的香韵
5	23.2	Dihydro-3-methylene-2,5-furandione	85.4	焦糖香、坚果香
6	30.5	3,4-Dimethyl-2,5-furandione	89.3	焦糖香、烟熏香
7	35.3	Furaneol	86.0	焦糖香
8	40.0	2-Furylhydroxymethylketone	95.9	无
9	41.3	Furaneol	97.5	焦糖香
10	41.7	5-Acetyldihydro-2(3H)-furanone	86.5	极淡的蜜甜香
11	51.8	2,3-Dihydro-benzofuran	90.1	甜润的草甜香,并有干草、焦糖、桂皮样的香韵
12	54.7	5-Hydroxymethylfurfural	97.6	类似咖啡糖样香
13	57.1	Dihydro-4-hydroxy-2(3H)-furanone	95.0	无

所定性的具有甜香味的成分,都可能对烟气味觉产生直接贡献.这几类化合物并不能代表烟气甜香味的全部,要想全面深入地了解甜味组分的成分和各组分对于整体甜味的贡献,应结合它们的味觉阈值和在烟气内的含量两个方面,同时还需要尽可能得到定性化合物的标准品.

### 3 结 论

利用GPC,结合味觉感官评价和电子舌验证,对云南红河烟叶单料烟主流烟气粒相物的水溶性组分进行了感官导向分析,完成了甜香味流分中部分化学成分的剖析.结果表明:烟气粒相物水溶性组分中的甜香成分主要为吡喃酮类、呋喃酮类、呋喃类和环戊烯酮类化合物.该研究方法可为剖析烟气中关键的甜香味成分,提高卷烟的感官舒适性提供一定的参考价值.

## 参考文献:

- [ 1 ] TOELSTEDE S, HOFMANN T. Sensomics mapping and identification of the key bitter metabolites in gouda cheese [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(8):2795-2804.
- [ 2 ] OTTINGER H, BARETH A, HOFMANN T. Characterization of natural "cooling" compounds formed from glucose and L-Proline in dark malt by application of taste dilution analysis [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(3):1336-1344.
- [ 3 ] CZEPA A, HOFMANN T. Structural and sensory characterization of compounds contributing to the bitter Off-Taste of carrots and carrot puree [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(13):3865-3873.
- [ 4 ] STARK T, HOFMANN T. Application of a molecular sensory science approach to alkylated cocoa (theobroma cacao): structure determination and sensory activity of nonenzymatically C-glycosylated flavan-3-ols [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(25):9510-9521.
- [ 5 ] SONNTAG T, KUNERT C, HOFMANN T. Sensory-guided identification of N-(1-Methyl-4-oxoimidazolidin-2-ylidene)- $\alpha$ -amino acids as contributors to the thick-Sour and mouth-drying orosensation of stewed beef juice [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58(10):6341-6350.
- [ 6 ] SCHINDLER A, DUNKEL A, BACKES M, et al. Discovery of salt taste enhancing arginyl dipeptides in protein digests and fermented fish sauces by means of a sensomics approach [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(23):12578-12588.
- [ 7 ] 党亚丽, 张中健, 闫小伟, 等. 巴马火腿酶解物中呈味肽的分离纯化及其结构研究 [J]. *食品科学*, 2010, 31(13):127-132.
- DANG Y L, ZHANG Z J, YAN X W, et al. Isolation, purification and structural identification of flavor peptides from enzymolyzed parma ham [J]. *Food Science*, 2010, 31(13):127-132.
- [ 8 ] 廖顺, 胡雪潇, 金二庆, 等. 白腐乳中呈味肽的分离与鉴定 [J]. *食品科学*, 2017, 38(9):113-119.
- LIAO S, HU X X, YU E Q, et al. Separation and identification of flavor peptides in white fermented bean curd [J]. *Food Science*, 2017, 38(9):113-119.
- [ 9 ] TOELSTEDE S, DUNKEL A, HOFMANN T. A Series of kokumi peptides impart the long-lasting mouthfulness of matured gouda cheese [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, 57(4):1440-1448.
- [ 10 ] HOFMANN T, CZERNY M, CALLIGARIS S, et al. Model studies on the influence of coffee melanoidins on flavor volatiles of coffee beverages [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(5):2382-2386.
- [ 11 ] OTTINGER H, SOLDI T, HOFMANN T. Discovery and structure determination of a novel maillard-derived sweetness enhancer by application of the comparative taste dilution analysis [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(4):1035-1041.
- [ 12 ] 申玉姝, 曹晓卫, 于洁, 等. 基于 GA-SVM 算法烟叶部位致香成分差异性分析 [J]. *上海师范大学学报(自然科学版)*, 2019, 48(4):420-426.
- SHEN Y S, CAO X W, YU J, et al. Difference analysis of aroma components in tobacco leaves based on GA-SVM [J]. *Journal of Shanghai Normal University(Natural Sciences)*, 2019, 48(4):420-426.
- [ 13 ] 张启东, 刘俊辉, 柴国璧, 等. 主流烟气颗粒物水溶性组分中烤甜香成分分析 [J]. *烟草科技*, 2014(6):54-59.
- ZHANG Q D, LIU J H, CHAI G B, et al. Analysis of components with roasted sweet aroma in water-soluble portion of mainstream cigarette smoke particulate matter [J]. *Tobacco Science and Technology*, 2014(6):54-59.
- [ 14 ] 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.

- ZHU H, CHAI G B, CHI G J, et al. Sensory-oriented analysis of smoky components in mainstream cigarette smoke [J]. Tobacco Science & Technology, 2017, 50(1):41-49.
- [15] 王丁众, 张启东, 刘俊辉, 等. 烟气苦味成分的感官导向鉴定和液相色谱-高分辨质谱分析 [J]. 质谱学报, 2016, 37(5):414-421.
- WANG D Z, ZHANG Q D, LIU J H, et al. Sensory-oriented identification and LC-HRMS analysis of bitter compounds in cigarette smoke [J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 37(5):414-421.
- [16] 张启东, 刘俊辉, 张文娟, 等. 初烤烟叶提取物中关键甜味成分的感官导向分析 [J]. 烟草科技, 2016, 49(6):58-64.
- ZHANG Q D, LIU J H, ZHANG W J, et al. Sensory-oriented analysis of key sweet taste components in cured tobacco extract [J]. Tobacco Science and Technology, 2016, 49(6):58-64.
- [17] 迟广俊, 刘俊辉, 鲍峰玉, 等. 初烤烟叶提取物中酸味关键成分的感官导向分析 [J]. 烟草科技, 2015, 48(12):27-32.
- CHI G J, LIU J H, BAO F Y, et al. Sensory-oriented analysis of key sour taste components in cured tobacco extract [J]. Tobacco Science and Technology, 2015, 48(12):27-32.
- [18] 杨鹏元, 洪广峰, 马宇平, 等. 焦麦芽烤甜香关键成分的确定及制备工艺优化 [J]. 中国烟草科学, 2016, 37(5):68-74.
- YANG P Y, HONG G F, MA Y P, et al. Determination of key components of the roasted sweet aroma in burnt malt extracts and optimization of its preparation process [J]. Chinese Tobacco Science, 2016, 37(5):68-74.
- [19] 黄志, 陶立奇, 沙云菲, 等. 梗丝掺配对卷烟主流烟气气相物中香味成分的影响 [J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2019, 47(2):55-60.
- HUANG Z, TAO L Q, SHA Y F, et al. Influence of additive proportion of cut stem on the aroma components in mainstream cigarette smoke [J]. Journal of Henan Normal University, 2019, 47(2):55-60.
- [20] 张玉玉, 宋弋, 李全宏. 食品中糠醛和5-羟甲基糠醛的产生机理、含量检测及安全性评价研究进展 [J]. 食品科学, 2012, 33(5):275-280.
- ZHANG Y Y, SONG G, LI Q H. A review on formation mechanism, determination and safety assessment of furfural and 5-hydroxymethylfurfural (HMF) in foods [J]. Food Science, 2012, 33(5):275-280.
- [21] YAYLAYAN A, MANDEVILLE S. Stereochemical control of maltolformation in maillard reaction [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1994, 42(3):771-775.

(责任编辑:郁慧)