

气相色谱-质谱-嗅辨法辨析4种 芹菜籽油树脂中关键香气成分

鲍辰卿¹, 顾文博¹, 杨程², 张天童¹, 俞森文¹, 梁德民¹,
高建宏², 乔枳¹, 李德国^{1*}

(1. 上海烟草集团有限责任公司技术中心, 上海 201315; 2. 上海牡丹香精香料有限公司技术中心, 上海 201210)

摘要: **目的** 基于气相色谱-质谱-嗅辨法(gas chromatography-mass spectroscopy-olfactometry, GC-MS/O)研究芹菜籽油树脂的香气质量, 分析4种不同芹菜籽油树脂的关键香气成分。**方法** 采用GC-MS/O分析4种芹菜籽油树脂, 通过强度法结合质谱库检索确定4种芹菜籽油树脂的关键香气成分, 描述香气轮廓并评价各自香气风格。**结果** 在16倍稀释因子浓度下嗅辨4种芹菜籽油树脂, 各辨别出13种、11种、10种和15种关键香气成分, 其中共性化合物为川芎内酯(药草香)、瑟丹内酯(药草香)、戊酸(药草香)、丁苯酚(芹菜香)、柠檬烯二醇(芹菜香)、L-香芹醇(芹菜香)、戊基苯(芹菜香)、 α -瑟林烯(茶香)、 β -瑟林烯(茶香)、芳樟醇(甜香)。特征化合物为苯戊酮(籽实香)。**结论** 通过香气轮廓描述, 辨识出芹菜籽油树脂具有药草香、芹菜香、茶香、甜香和籽实香特征, 同时为芹菜籽油树脂的质量鉴别和调香应用提供参考。

关键词: 芹菜籽油树脂; 气相色谱-质谱-嗅辨法; 关键香气成分; 香气轮廓

Identification of key aroma components in 4 kinds of celery seed oleoresin by gas chromatography-mass spectroscopy-olfactometry

BAO Chen-Qing¹, GU Wen-Bo¹, YANG Cheng², ZHANG Tian-Tong¹, YU Sen-Wen¹,
LIANG De-Min¹, GAO Jian-Hong², QIAO Cong¹, LI De-Guo^{1*}

(1. Technology Center of Shanghai Tobacco Group Co., Ltd., Shanghai 201315, China; 2. Technology Center of Shanghai Peony Flavors and Fragrances Co., Ltd., Shanghai 201210, China)

ABSTRACT: Objective To study the aroma quality of celery seed oleoresin based on gas chromatography-mass spectroscopy-olfactometry (GC-MS/O), and analyze the key aroma components of 4 different kinds of celery seed oleoresins. **Methods** The 4 kinds of celery seed oleoresin were analyzed by GC-MS/O, and the key aroma components of the 4 kinds of celery seed oleoresin were identified by intensity method combined with mass spectrometry library retrieval to describe the aroma profile and evaluate the respective aroma styles. **Results** It showed that 13, 11, 10, 15 kinds of aroma components were identified by smelling 4 kinds of celery seed oleoresins at 16 times dilution concentration. The common compounds were senkyunolide (herb flavor), sedanolide (herb flavor), valeric acid (herb flavor), butanophenol (celery flavor), limonenediol (celery flavor), L-carvitol (celery flavor),

基金项目: 上海烟草集团有限责任公司科技项目(K2021-1-009P)

Fund: Supported by the Science and Technology Project of Shanghai Tobacco Group Co., Ltd., (K2021-1-009P)

***通信作者:** 李德国, 调香师, 主要研究方向为天然香原料质量。E-mail: lidegu@sh.tobacco.com.cn

***Corresponding author:** LI De-Guo, Flavorist, Technology Center of Shanghai Tobacco Group Co., Ltd., No.3733, Xiupu Road, Pudong New District, Shanghai 201315, China. E-mail: lidegu@sh.tobacco.com.cn

pentylbenzene (celery flavor), α -serinene (tea flavor), β -serinene (tea flavor), linalool (sweet flavor). The individual compound was phenylpentanone (seed fragrant). **Conclusion** Through the aroma profile description, it is identified that celery seed oleoresin has the characteristics of herb fragrance, celery flavor, tea flavor, sweet flavor and seed flavor. At the same time, it provides a reference for the quality identification and flavoring application of celery seed oleoresin.

KEY WORDS: celery seed oleoresins; gas chromatography-mass spectroscopy-olfactometry; key aroma components; aroma image

0 引言

芹菜籽中含有较高含量的芹菜甲素(即丁苯酚)和总肽内酯(包括瑟丹内酯等)^[1], 丁苯酚有神经保护作用^[2-4]和药理作用^[5-6], 瑟丹内酯有抗癌作用^[7]。由于具有广阔的药物活性应用前景, 国内外对于芹菜籽油的提取方法及工艺优化^[1,8-13]、提取物的分离检测^[13-15]和药理作用^[15-17]的研究报道较多。研究表明超临界 CO₂ 萃取^[1,8,12]、水蒸气蒸馏提取^[1,9,10,13]、复合酶法提取^[11]、溶剂提取^[1]的方法都能被用于提取芹菜籽油或油树脂。芹菜籽油有抗氧化能力(即自由基清除能力)及酶抑制活性(即可能的降血糖能力), 能治疗和预防氧化应激相关疾病和高血糖^[15]。而且芹菜籽油呈现强烈的草本样香气^[13], 引起相关研究人员对芹菜籽中的挥发性化学成分的浓厚兴趣^[18-23]。

芹菜籽油作为食品调味品可用于食品加香中, 具有药草香气^[24-25], 包括芹菜籽精油、芹菜籽净油^[26]和芹菜籽油树脂。有研究者^[13]通过超声水蒸气蒸馏法提取得到芹菜籽油并用香气轮廓图表征, 得出芹菜籽油的香气除了强烈的草本样香气还有新鲜的、辛辣的、呈柑橘、叶青、苔藓、泥土和蘑菇的药香香气, 但是未能将这些香气与化合物对应起来。曾琼瑶等^[24]采用气相色谱-质谱联用仪结合保留指数考察了湖南芹菜籽挥发油成分, 发现主要成分为柠檬烯(44.679%)、 β -芹子烯(14.661%)、 α -芹子烯(5.939%)、3-正丁基苯酚(4.709%)、 β -蒎烯(2.525%)、 γ -芹子烯(2.073%)、月桂烯(1.215%)、苯戊酮(1.172%)、 β -桉叶油醇(0.827%)、 α -蒎烯(0.543%)和石竹烯氧化物(0.540%)。但是仅根据主要成分的含量来区分不同芹菜籽油并不能客观反映其香气风格和质量。将芹菜油树脂作为研究对象是因为油树脂能较多地保留香辛料中的芳香成分^[27-28]。而目前国内外未见有芹菜籽油树脂中关键香气成分的文獻报导。

气相色谱-质谱-嗅辨法(gas chromatography-mass spectroscopy-olfactometry, GC-MS/O)结合了仪器的分离检测的高分辨率和人的嗅觉辨识的高灵敏度, 作为鉴定食品中关键香气成分的方法已被广泛使用^[29-34]。由于香气成分的阈值各不相同, 以含量高低来确定关键香气成分的方法是欠科学的^[35-39], 因此, 通过对香气成分强度大小的描述更直观地描绘出样品的香气轮廓。本研究采用 GC-MS/O

分析 4 种芹菜籽油树脂, 通过 GC-MS/O 来辨识呈现关键香气的化合物, 将化合物和香气关联起来, 以香气成分的强度来确定并描述其中的关键香气成分, 归纳出芹菜籽油树脂的香气轮廓, 研究芹菜籽油树脂的香气质量和不同产地、加工方式带来的差异, 以期为辨识芹菜籽油树脂及其质量提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

4 种市售的芹菜籽油树脂, 1#号样品购自中国、2#号样品购自美国、3#号样品购自中国、4#号样品购自英国。无水乙醇(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司)

1.2 仪器与设备

7890B-7000C 气相色谱-质谱联用仪、HP-5MS 毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μ m)(美国 Agilent 公司); ODP3 嗅觉检测器(德国 Gerstel 公司)。

1.3 仪器参数

色谱条件: 载气: 氦气, 流速 1 mL/min; 进样口温度: 250°C; 程序升温条件: 初始温度 40°C, 以 5°C/min 升温至 150°C 并停留 2 min, 再以 20°C/min 升温至 230°C 并停留 2 min; 不分流; 溶剂延迟 9.5 min, 进样量: 1 μ L。质谱条件: 离子源为电子轰击离子源(electron impact ion source, EI); 电子轰击能量: 70 eV; 离子源温度: 230°C; 四极杆温度: 150°C; 接口温度: 280°C; 扫描范围(m/z): 35~400; 质谱检索图库: Nist14 谱库。Olfactometry 条件: 加热传输线 80 cm×25 mm, 温度为 150°C, 最大输出信号 1 V, 空气加湿器流速 8.0 mL/min。载气为氦气, 流速为 1 mL/min。

1.4 实验方法

分别用无水乙醇将 4 种芹菜籽油树脂稀释 16 倍, 摇匀后静置。嗅辨小组由 3 名具有调香背景的嗅辨员组成, 用闻香纸蘸取芹菜籽油树脂纯品嗅闻, 依据时间顺序描述闻到的香气, 记录各路香气类别。稀释样品经 GC-O 嗅探口嗅辨, 利用时间强度法, 即在嗅探口嗅辨到香气的同时记录起始时间和香气强度并描述香气。在感官状态良好的情况下采用相同方法分两天分别进行两次实验验证香气强度描述的准确性。

1.5 数据处理

各香气成分依据香韵归类并按香气强度排序。各路香韵的香气强度值按照表达该路香韵的香气成分香气强度值累加。制表、绘图均使用 Microsoft Office Excel 2013 软件。

2 结果与分析

2.1 芹菜籽油树脂中关键香气成分

各关键香气成分嗅辨起始时间在图1标注,如图1所

示,在相同浓度下,1#、2#、3#峰形相似,4#的成分出峰时间与其他3种基本保持一致,相对面积有差异。如表1所列,在16倍稀释因子浓度下嗅辨4种芹菜籽油树脂,各辨别出13种、11种、10种和15种关键香气成分,其中4#被嗅觉检测出的关键香气成分的种类最丰富,共性化合物有川芎内酯、瑟丹内酯、丁苯酚、 α -瑟林烯、 β -瑟林烯、柠檬烯二醇、*L*-香芹醇、戊基苯、芳樟醇、戊酸。戊酸由于处在溶剂延迟时间段未被质谱端检测到,在嗅探口被嗅辨感知,通过查阅文献结合香气描述确定^[24]。

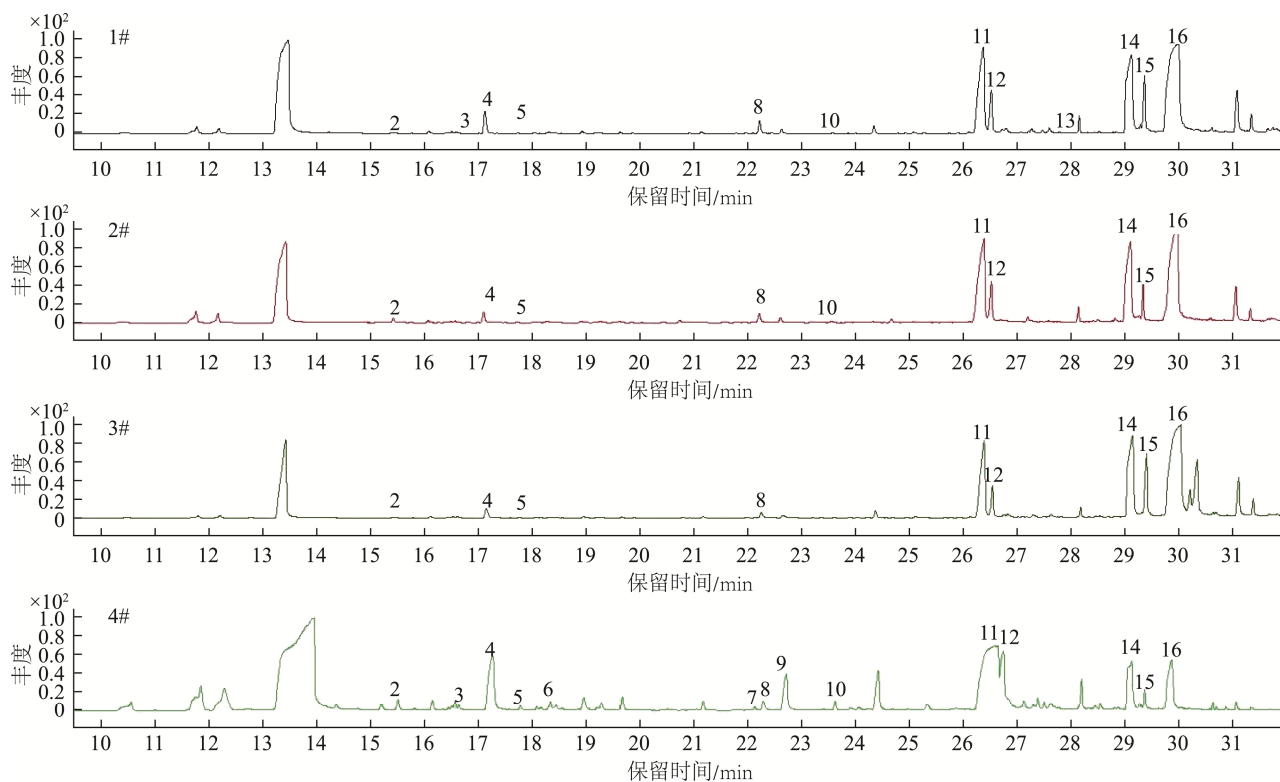


图1 4种芹菜籽油树脂总离子流图

Fig.1 Total ion flow diagram of 4 kinds of celery seed oleoresins

表1 4种芹菜籽油树脂中关键香气强度表

Table 1 Key aroma intensities of 4 kinds of celery seed oleoresins

编号	化合物名称	香气描述	嗅闻起始时间/min	香气强度值*			
				1#	2#	3#	4#
1	戊酸	似缬草样药草气	7.5	2	2	2	2
2	芳樟醇	清甜香、花香	15.5	2	2	2	2
3	未检出	独活样药草香气	16.6	1	/	/	1
4	戊基苯	甜的、清新的芹菜叶香气	17.1	1	1	1	1
5	<i>L</i> -香芹醇	芹菜样浓郁香气	17.8	2	2	2	3
6	(+)-二氢香芹醇	茶叶样清香香气	18.3	/	/	/	3
7	乙酸香芹酯	芹菜样籽实香气	22.1	/	/	/	1
8	柠檬烯二醇	芹菜样药草香气	22.2	1	1	1	1

表 1(续)

编号	化合物名称	香气描述	嗅闻起始时间/min	香气强度值*			
				1#	2#	3#	4#
9	苯戊酮	橡胶样油脂籽实香气	22.7	/	/	/	4
10	β -榄香烯	红豆沙样蜜甜香气	23.5	3	2	/	4
11	β -瑟林烯	红茶茶饼样清香香气	26.4	3	3	1	1
12	α -瑟林烯	青草、茶叶香气	26.9	2	2	1	1
13	未检出	似桃醛样果香香气	28.1	1	/	/	/
14	丁苯酚	持久的芹菜样香气	29	4	3	3	4
15	瑟丹内酯	芹菜样当归药草香气	29.3	4	3	4	3
16	川芎内酯	芹菜、当归药草甜香香气	29.7	4	3	3	3

注: *表示香气强度值从大到小划分为 4 档; /表示未检出。

2.2 4 种芹菜籽油树脂的香气风格

如表 2~5 所列, 结合感官评价: 4 种芹菜籽油树脂都是以芹菜香和药草香为主, 甜香、茶香为辅, 4#籽实香较为突出。1#具有持久的芹菜药草甜香香气, 并带有蜜甜茶香气; 2#具有协调的芹菜药草香气, 并带有茶样清香香气; 3#具有芹菜药草香气, 甜香和茶香气较弱, 区别于其他 3 种加工方式, 采用超临界 CO₂ 萃取的芹菜籽油树脂芹菜药草香气较纯净; 4#的籽实香气贯穿前中段香气, 具有茶香、甜香、芹菜香、药草香气, 并有籽实香气。

表 2 芹菜籽油树脂 1#中各路香韵香气强度排序表
Table 2 Ranking table of aroma intensity of each aroma in celery seed oleoresins 1#

香韵	所含关键香气成分	累计香气强度值
芹菜香	丁苯酚、瑟丹内酯、川芎内酯、L-香芹醇、戊基苯、柠檬烯二醇	16
药草香	瑟丹内酯、川芎内酯、戊酸、未检出、柠檬烯二醇	12
甜香	β -榄香烯、芳樟醇、川芎内酯、戊基苯	11
茶香	β -瑟林烯、 α -瑟林烯	5

注: 按所含关键香气成分^a对构成该路香韵的重要性排序, 下同。

表 3 芹菜籽油树脂 2#中各路香韵香气强度排序表
Table 3 Ranking table of aroma intensity of each aroma in celery seed oleoresins 2#

香韵	所含关键香气成分	累计香气强度值
芹菜香	丁苯酚、瑟丹内酯、川芎内酯、L-香芹醇、戊基苯、柠檬烯二醇	13
药草香	瑟丹内酯、川芎内酯、戊酸、柠檬烯二醇	9
甜香	β -榄香烯、芳樟醇、川芎内酯、戊基苯	8
茶香	β -瑟林烯、 α -瑟林烯	5

表 4 芹菜籽油树脂 3#中各路香韵香气强度排序表
Table 4 Ranking table of aroma intensity of each aroma in celery seed oleoresins 3#

香韵	所含关键香气成分	累计香气强度值
芹菜香	丁苯酚、瑟丹内酯、川芎内酯、L-香芹醇、戊基苯、柠檬烯二醇	14
药草香	瑟丹内酯、川芎内酯、戊酸、柠檬烯二醇	10
甜香	芳樟醇、川芎内酯、戊基苯	6
茶香	β -瑟林烯、 α -瑟林烯	2

表 5 芹菜籽油树脂 4#中各路香韵香气强度排序表
Table 5 Ranking table of aroma intensity of each aroma in celery seed oleoresins 4#

香韵	所含关键香气成分	累计香气强度值
芹菜香	丁苯酚、L-香芹醇、瑟丹内酯、川芎内酯、戊基苯、柠檬烯二醇	16
药草香	瑟丹内酯、川芎内酯、戊酸、柠檬烯二醇	10
甜香	β -榄香烯、芳樟醇、川芎内酯、戊基苯	10
籽实香	苯戊酮、乙酸香芹酯	5
茶香	β -瑟林烯、 α -瑟林烯	5

2.3 芹菜籽油树脂的香气轮廓

如图 2 所示, 4 种芹菜籽油树脂的香气轮廓存在差异。在各自的香气轮廓中, 1#在药草香和芹菜香特征方面较强; 2#在甜香方面较突出; 3#相较于其他 3 种香气强度并不突出但是主体香韵药草香特征并不弱; 4#通过嗅觉检测具有籽实香个性特征, 甜香特征、芹菜香特征和茶香特征较强。

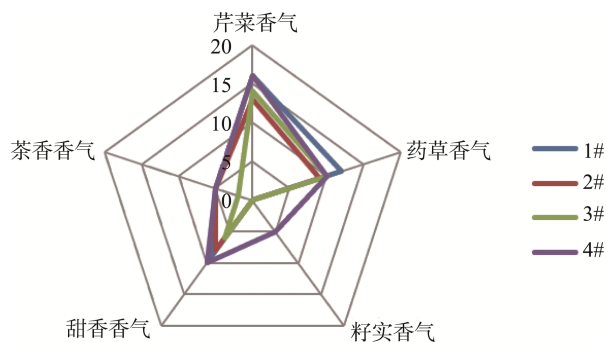


图2 4种芹菜籽油树脂的香气轮廓

Fig.2 Aroma profile of 4 kinds of celery seed oleoresins

如表6所列,按各组分对芹菜籽油树脂香气形象的主要性次序排列。4种芹菜籽油树脂的共同点是以丁苯酚为主、*L*-香芹醇、戊基苯、柠檬烯二酯为辅加强了药草香特征,产生一种甜的芹菜风味。以瑟丹内酯、川芎内酯这两种具有当归样药草香气的化合物为主,戊酸、柠檬烯二酯为辅呈现出药草香特征。以 β -瑟林烯、 α -瑟林烯为主构成了茶香特征。以 β -榄香烯、芳樟醇、川芎内酯、戊基苯增强了茶甜和药甜香气。其中4#以苯戊酮为主、乙酸香芹酯为辅组成了其类似橡胶的芹菜籽实香气,以(+)-二氢香芹醇突出了其中似红茶的发酵香气。

表6 对芹菜籽油树脂的香气特征起作用的各组分
Table 6 Components that contribute to the aroma characteristics of celery seed oleoresin

香韵特征	相关化合物
芹菜香特征	丁苯酚(芹菜甲素)、 <i>L</i> -香芹醇、戊基苯、乙酸香芹酯、柠檬烯二酯加强了药草香特征,产生一种甜的芹菜风味
药草香特征	瑟丹内酯、川芎内酯这两种主要的总肽内酯以及戊酸、柠檬烯二酯构成了当归样药草香韵
籽实香特征	苯戊酮、乙酸香芹酯
茶香特征	β -瑟林烯、 α -瑟林烯、(+)-二氢香芹醇构成了似红茶的发酵香气
甜香特征	β -榄香烯、芳樟醇、川芎内酯、戊基苯增强了茶甜和药甜香气

3 结论

本研究通过GC-MS/O对4种芹菜籽油树脂中的复杂香气进行分离,鉴定出16种关键香气成分。文献[25]中写到芹菜籽油树脂具有药草香香气,研究表明除药草香之外芹菜籽油树脂还具有芹菜香、茶香、甜香、籽实香的香气特征。通过嗅觉检测捕捉到了由于溶剂延迟被质谱检测遗

漏的共性关键香气成分戊酸。另外,利用强度加合来描述香气的评价方式可以区分不同芹菜籽油树脂的风格质量,这种评价方式操作简便但是对嗅辨员对于香气描述的要求较高,进一步应用于研究其他类型的天然香原料中以期验证该评价方式评价天然香原料质量的通用性。GC-MS/O能直观地辨识芹菜籽油树脂及其关键香气成分,同时为芹菜籽油树脂的质量鉴别和调香应用提供参考,同时验证了该方法在天然香原料关键香气成分辨识中的应用可靠性。

参考文献

- 熊淑婷,李卫民,高英,等.不同提取工艺芹菜籽油得率及芹菜甲素和总酚内酯含量的研究[J].广州中医药大学学报,2016,33(1):114-117.
- XIONG SP, LI WM, GAO Y, *et al.* Study on yield of celery seed oil and contents of methyl and total phthalide in celery by different extraction processes [J]. J Guangzhou Univ Tradit Chin Med, 2016, 33(1): 114-117.
- 于澍仁,尤胜权.芹菜甲素和乙素的抗惊厥作用[J].药学学报,1984,(8):566-570.
- YU SR, YOU SQ. Anticonvulsant effects of apigenin and ethyl apigenin [J]. Acta Pharm Sin, 1984, (8): 566-570.
- YANG S, YU CX, YANG ZF, *et al.* DL-3-*n*-butylphthalide-induced neuroprotection in rat models of asphyxia-induced cardiac arrest followed by cardiopulmonary resuscitation [J]. J Cell Physiol, 2021, 236(11): 7464-7472.
- SUN MY, JIANG CC, HAO XW, *et al.* Long-term L-3-*n*-butylphthalide pretreatment attenuates ischemic brain injury in mice with permanent distal middle cerebral artery occlusion through the nrf2 pathway [J]. Heliyon, 2022, 8(7): e09909-e09909.
- SHAYANI RM, MOOHEBATI M, MOHAMMAD ES, *et al.* Safety evaluation and biochemical efficacy of celery seed extract (*Apium graveolens*) capsules in hypertensive patients: A randomized, triple-blind, placebo-controlled, cross-over, clinical trial [J]. Inflammopharmacology, 2022, 30(5): 1669-1684.
- ZHANG YX, DAI JH, YAN LQ, *et al.* DL-3-*N*-butylphthalide promotes cartilage extracellular matrix synthesis and inhibits osteoarthritis development by regulating foxo3a [J]. Oxid Med Cell Longev, 2022: 9468040-9468040.
- WU CC, KUO YH, HSIEH SL. 345 sedanolide induces human liver tumor cellautophagy through regulation of nf-kbpathway [J]. Euro J Cancer, 2012, 48: S84-S84.
- 刘辉,刘长江,李斌.超临界萃取技术对芹菜籽油提取分离的研究[J].食品工业科技,2008,(6):228-229.
- LIU H, LIU CJ, LI B. Supercritical fluid extraction technology for extraction and separation of qin rapeseed oil research [J]. Sci Technol Food Ind, 2008, (6): 228-229.
- 徐恺.芹菜籽精油的提取与药渣生物炭的制备及其吸附性能研究[D].

- 锦州: 渤海大学, 2020.
- XU K. Extraction of essential oil from celery seed and preparation of biochar from pharmaceutical residue and its adsorption performance [D]. Jinzhou: Bohai University, 2020.
- [10] 唐克, 徐恺. 水蒸气蒸馏法提取芹菜籽精油的工艺及精油成分研究[J]. 现代中药研究与实践, 2018, 32(5): 50–54.
- TANG K, XU K. Extraction technology and composition analysis of celery seeds essential oil [J]. Res Pract Chin Med, 2018, 32(5): 50–54.
- [11] 徐国良, 李雄辉, 袁菊如, 等. 复合酶法提取芹菜籽油的新技术研究[J]. 生物化工, 2016, 2(1): 15–19.
- XU GL, LI XH, YUAN JR, *et al.* Study on new technology of compound enzyme extraction of celery seed oil [J]. Biol Chem Eng, 2016, 2(1): 15–19.
- [12] 阿依古丽·塔什波拉提, 郑建琨, 张静, 等. 超临界 CO₂ 萃取维药芹菜籽油药用成分[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(1): 149–151.
- AYIGULI TSBLT, ZHENG JK, ZHANG J, *et al.* Supercritical CO₂ extraction of medicinal components from celery seed oil [J]. Food Ferment Ind, 2010, 36(1): 149–151.
- [13] ZORGA J, KUNICKA SA, GRUSKA R, *et al.* Ultrasound-assisted hydrodistillation of essential oil from celery seeds (*Apium graveolens* L.) and its biological and aroma profiles [J]. Molecules, 2020, 25(22): 5322–5322.
- [14] 黄进丽, 魏鲜娥, 苏昭仑, 等. 高效液相色谱法同时测定芹菜籽提取物中芹菜苷和 3-甲氧基芹菜苷的含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(1): 253–257.
- HUANG JL, WEI XE, SU ZL, *et al.* Simultaneous determination of apigenin and 3-methoxyapigenin in celery seed extract by high performance liquid chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(1): 253–257.
- [15] ZHANG C, YU J, TU Q, *et al.* Antioxidant capacities and enzymatic inhibitory effects of different solvent fractions and major flavones from celery seeds produced in different geographic areas in China [J]. Antioxidants, 2022, 11(8): 1542–1542.
- [16] 祁伟, 董岩. 芹菜籽挥发油化学成分及其降低亚硝酸钠活性分析[J]. 食品工业科技, 2013, 34(10): 89–92.
- QI W, DONG Y. Celery seed essential oil chemical composition and analysis of the lower sodium nitrite [J]. J Food Sci Technol, 2013, 34(10): 89–92.
- [17] 李楠, 祖元刚, 王微. 芹菜籽精油的抑菌与抗氧化作用研究[J]. 中国调味品, 2012, 37(5): 28–31.
- LI N, ZU YG, WANG W. Study on antibacterial and antioxidant effects of celery seed essential oil [J]. China Cond, 2012, 37(5): 28–31.
- [18] DABRWSKA JA, KUNICKA SA, ŚMIGIELSKI KB. Biological, chemical, and aroma profiles of essential oil from waste celery seeds (*Apium graveolens* L.) [J]. J Essent Oil Res, 2020, 32(4): 308–315.
- [19] None. Fragrance raw materials monographs: Celery seed oil [J]. Food Chem Toxicol, 1974, 12(7–8): 849–850.
- [20] CU JQ, ZHANG ZJ, PU F, *et al.* GC/MS and GC/FTIR analysis of the essential oil of celery seed [J]. J Essent Oil Res, 2011, 2(1): 1–5.
- [21] 阿布力米提·伊力, 刘莉, 阿吉艾克拜尔·艾萨, 等. 维吾尔医常用药材—芹菜籽挥发油化学成分的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2004, (1): 36–37.
- ABRIMITI YL, LIU L, AJIAIKEBAIER AIS, *et al.* Study on chemical constituents of essential oil of celery seed, a common medicinal material in Uygur medicine [J]. Nat Prod Res Dev, 2004, (1): 36–37.
- [22] 张捷莉, 王君, 李铁纯, 等. 美国西芹菜籽挥发性成分的 GC/MS 分析[J]. 食品科学, 2002, (8): 225–227.
- ZHANG JL, WANG J, LI TC, *et al.* Analysis of volatile constituents in american celery seed by GC/MS [J]. Food Sci, 2002, (8): 225–227.
- [23] 徐杨斌, 朱瑞芝, 李智宇, 等. 芹菜籽油中挥发性成分的 GC-TOF/MS 分析[J]. 香料香精化妆品, 2020, (1): 4–8, 36.
- XU YB, ZHU RZ, LI ZY, *et al.* Analysis of volatile constituents in celery seed oil by GC-TOF/MS [J]. Flavour Frag Cosmet, 2020, (1): 4–8, 36.
- [24] 曾琼瑶, 龚瑞莹, 杨海玲, 等. GC/MS 结合保留指数分析湖南芹菜籽挥发油成分[J]. 中药新药与临床药理, 2016, 27(5): 677–680.
- ZENG QY, GONG RY, YANG HL, *et al.* GC/MS combining hunan celery seed essential oil retention index analysis [J]. Tradit Chin Drug Res Clin Pharmacol, 2016, 27(5): 677–680.
- [25] 周耀华, 肖作兵. 食用香精制备技术[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2007.
- ZHOU YH, XIAO ZB. Preparation technology of edible essence [M]. Beijing: China Textile Press, 2007.
- [26] 庞登红, 朱巍, 黄龙, 等. 芹菜籽净油的制备、成分分析及应用[J]. 香料香精化妆品, 2012, (2): 20–24.
- PANG DH, ZHU W, HUANG L, *et al.* Preparation, composition analysis and application of celery seed oil [J]. Flavour Frag Cosmet, 2012, (2): 20–24.
- [27] 陈燕, 倪元颖, 蔡同一. 生姜提取物-精油与油树脂的研究进展[J]. 食品科学, 2000, (8): 6–8.
- CHEN Y, NI YY, CAI TY. Research progress of ginger extract-essential oil and olefin [J]. Food Sci, 2000, (8): 6–8.
- [28] 王莹莹, 汪学德, 王东营, 等. 辣椒油树脂挥发性成分分析及其抗氧化活性研究[J]. 中国调味品, 2022, 47(9): 20–24, 49.
- WANG YY, WANG XD, WANG DY, *et al.* Study on volatile constituents and antioxidant activity of oleoresin of *Capsicum* spp. [J]. China Cond, 2022, 47(9): 20–24, 49.
- [29] 田怀香, 王璋, 许时婴. GC-O 法鉴别金华火腿中的风味活性物质[J]. 食品与发酵工业, 2004, (12): 117–123.
- TIAN HX, WANG Z, XU SY. Identification of flavor active substances in Jinhua Ham by GC-O method [J]. Food Ferment Ind, 2004, (12): 117–123.
- [30] 苗爱清, 吕海鹏, 孙世利, 等. 乌龙茶香气的 HS-SPME-GC-MS/GC-O 研究[J]. 茶叶科学, 2010, 30(S1): 583–587.
- MIAO AIQ, LV HP, SUN SL, *et al.* Study on the aroma of Oolong tea by HS-SPME-GC-MS /GC-O [J]. Tea Sci, 2010, 30(S1): 583–587.

- [31] 张青, 王锡昌, 刘源. GC-O 法在食品风味分析中的应用[J]. 食品科学, 2009, 30(3): 284–287.
ZHANG Q, WANG XC, LIU Y. Application of GC-O method in food flavor analysis [J]. Food Sci, 2009, 30(3): 284–287.
- [32] 吴天乐, 詹萍, 王鹏. 基于 GC-O-MS 结合化学计量学探究紫苏对鱼腥味的抑制作用[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(18): 9–18.
WU TL, ZHAN P, WANG P. Study on the inhibitory effect of *Perilla* on fish odor based on GC-O-MS and stoichiometry [J]. Food Res Dev, 2022, 43(18): 9–18.
- [33] 石华治, 王娟, 刘玉平, 等. 剁椒关键性香气成分分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(15): 3976–3983.
SHI HZ, WANG J, LIU YP, *et al.* Analysis of key aroma components of chopped pepper [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(15): 3976–3983.
- [34] 顾赛麒, 吴娜, 张晶晶, 等. MMSE-GC-O 结合 OAV 法鉴定蒸制崇明地区中华绒螯蟹中关键气味物质[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(3): 877–888.
GU SQ, WU N, ZHANG JJ, *et al.* Identification of key odors in Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) by MMSE-GC-O combined with OAV method [J]. J Food Saf Qual, 2014, 5(3): 877–888.
- [35] 欧阳珂, 张成, 廖雪利, 等. 基于感官组学分析玉米香型南川大茶树工夫红茶特征香气[J]. 茶叶科学, 2022, 42(3): 397–408
OUYANG K, ZHANG C, LIAO XL, *et al.* Based on analysis of sensory omics corn scent the nanchuan big tea time characteristics of black tea aroma [J]. J Tea Sci, 2022, 42(3): 397–408.
- [36] MA LH, MENG QR, CHEN F, *et al.* SAFE and SBSE combined with GC-MS and GC-O for characterization of flavor compounds in Zhizhonghe Wujiapi medicinal liquor [J]. J Food Sci, 2022, 87(3): 939–956.
- [37] LI J, XU YX, DU WB, *et al.* Comparative analysis of aroma compounds in Chinese traditional dry-rendered fat by HS/GC-IMS, SPME/GC-MS and SPME/GC-O [Z]. 2022.
- [38] MA LJ, GAO MM, ZHANG LQ, *et al.* Characterization of the key aroma-active compounds in high-grade Dianhong tea using GC-MS and GC-O combined with sensory-directed flavor analysis [J]. Food Chem, 2022, 378: 132058–132058.
- [39] LI JX, MIAO AQ, ZHAO GJ, *et al.* Assessment of the ‘taro-like’ aroma of pumpkin fruit (*Cucurbita moschata* D.) via E-nose, GC-MS and GC-O analysis [J]. Food Chem, 2022. DOI: org/10.1016/j.fochx.2022.100435

(责任编辑: 黄周梅 郑 丽)

作者简介



鲍辰卿, 硕士, 调香技术员, 主要研究方向为天然香原料质量。

E-mail: baochenqing@sh.tobacco.com.cn;



李德国, 调香师, 主要研究方向为天然香原料质量。

E-mail: lideguo@sh.tobacco.com.cn