

基于分子蒸馏分离云南冰糖脐橙“褚橙”精油结合 GC-MS 分析香气成分*

刘秀明, 李源栋, 张翼鹏, 李超, 高莉, 段焰青**

(云南中烟工业有限责任公司技术中心, 云南昆明 650202)

摘要:【目的】对分子蒸馏得到的云南冰糖脐橙精油香气成分进行分析, 为调香提供依据。【方法】选用云南特有地理品种冰糖脐橙的代表“褚橙”作为原料, 采用分子蒸馏技术对压榨得到的褚橙全果初油进行分离, 并对馏分进行 GC-MS 分析, 结果与 ISO 标准中甜橙油的主要化学成分比较, 最后对褚橙精油进行加香评价。【结果】褚橙精油中共鉴定出 58 种化学组分, 占褚橙精油化学成分的 97.344%; 其中, 醇类 7 种 (2.418%), 醛类 11 种 (3.403%), 酯类 2 种 (0.034%), 烷烯炔类 31 种 (90.959%), 酮类 3 种 (0.164%) 以及其他化合物 6 种 (0.521%), 烷烯炔类化合物含量占主要地位。主要化学成分包括柠檬烯 (76.769%)、月桂烯 (7.001%)、芳樟醇 (1.912%)、正癸醛 (1.112%), α -蒎烯 (3.046%)、桉烯 (1.783%) 和辛醛 (0.959%) 等。检测结果与 ISO 标准中甜橙油的主要化学成分进行对比, 发现甜橙油中 14 个主要化学成分在褚橙精油中均被检出, 但含量占比差异较大。将分离产物用于卷烟加香试验, 感官评吸表明: 添加褚橙精油的卷烟样品香气细腻度增加, 口腔舒适度提高, 甜味明显增加, 丰富性提高, 生津感较好, 口腔残留有所改善。【结论】分子蒸馏得到的褚橙精油与传统的甜橙油主要化学成分相近, 但所占比例差异较大。研究为卷烟调香中不同橙油的开发及应用提供参考依据。

关键词: 冰糖脐橙; 精油; 分子蒸馏; 香气成分; GC-MS

中图分类号: TS 426

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X (2019) 04-0631-06

Separated Bingtang Navel Orange Oil by Molecular Distillation and Analyzed Aroma Components Combined with GC-MS

LIU Xiuming, LI Yuandong, ZHANG Yipeng, LI Chao, GAO Li, DUAN Yanqing

(Technology Center, China Tobacco Yunnan Industrial Co., Ltd., Kunming 650202, China)

Abstract: [Purposes] The aroma components of the Bingtang navel orange essential oil obtained by molecular distillation was analyzed which aimed at providing a basis for flavoring. [Methods] Using Chu orange as the material, the oil was separated from peel and pulp by molecular distillation after squeezing, and the volatile components of orange oil were analyzed by using of gas chromatography spectrometry (GC-MS), and compared with the main chemical of orange oil in ISO standard, finally, flavor evaluation of orange oil was carried out. [Results] With the mass spectrometry library search, 58 compounds were identified which account for 97.344% in the volatile components of

收稿日期: 2018-03-27

修回日期: 2019-04-18

网络首发时间: 2019-07-19 11:35:20

*基金项目: 云南中烟工业有限责任公司科技项目 (2018CP04); 2015 年云南省技术创新人才项目 (2016HB009)。

作者简介: 刘秀明 (1985—) 女, 云南宣威人, 硕士, 工程师, 主要从事烟用香精香料研究。

E-mail: lxmhh2013@163.com

**通信作者 Corresponding author: 段焰青 (1973—), 男, 云南大理人, 博士, 研究员, 主要从事烟用香精香料及微生物产香研究。E-mail: dyanqing@yahoo.com.cn

网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.S.20190718.1550.003.html>



Chu orange oil. Among them, 7 were alcohols (2.418%), aldehydes 11 (3.403%), esters 2 (0.034%), alkanes 31 (90.959%), ketones 3 (0.164%) and other compounds 6 (0.521%), of which alkane content dominated. The major chemical constituents include limonene (76.769%), myrcene (7.001%), linalool (1.912%), decanal (1.112%), α -pinene (3.046%), sabinene (1.783%), aldehydes (0.959%), etc. Compared with the main chemical of orange oil in ISO standard, all the 14 main chemical components of Chu orange essential oil were detected. The test results were compared with the main chemical components of the orange oil in the ISO standard. It was found that the 14 main chemical components in the orange oil were detected in the Chu orange oil, but the content accounted for a big difference. Sensory evaluation showed that the orange juice added Chu orange refined oil sample refinement of the degree of increased oral comfort, significantly increased sweetness, richness improved, good sense of hygiene, oral residual improvement. [Conclusions] The main chemical components of the orange oil obtained by molecular distillation are similar to those of the traditional sweet orange oil, but their proportions are quite different. This study provides reference for the development and application of different orange oils in cigarette flavoring.

Keywords: Bingtang navel orange; oil; molecular distillation; aroma components; gas chromatography/mass spectrometry

橙油的提取方法有多种, 各有优势及缺点。萃取法^[1]制备精油, 其水萃取液、乙醇萃取液多有颜色, 不够纯净; 超临界流体萃取法, 需要高压设备, 溶剂是在常温常压下为气态的 CO_2 , 一般不易实现, 有时还必须用到辅助剂甲醇^[2-4]; 水蒸气蒸馏法, 因为橙皮直接浸于水中, 蒸出的水蒸气太多而橙皮精油成分相对较少, 出油率低^[5-6]。褚橙为冰糖脐橙的一种, 是云南地区的特有地理品种, 其含有多种有效成分, 可作为天然香料、食品添加剂和保健品、药品、化妆品等的原料^[7-9], 实用价值较高, 因此其挥发油的开发利用具有重要意义。

分子蒸馏技术 (molecular distillation) 是国际上一种新型、高效、精细的液—液分离技术。其原理是在高真空条件下, 根据不同物质分子的运动平均自由程不同的特点, 将各类物质分离开来。其技术不同于一般蒸馏技术, 具备蒸馏压强低、受热时间短、分离程度高等特点, 能大大降低高沸点物料的分离成本, 极好地保护热敏性物质的品质。特别在分离、纯化以及富集成分复杂的热敏性天然产物时, 分子蒸馏技术能有效避免热分解, 保护其主要有效成分以及产品完整性, 并且能避免分离过程中带入其他毒性物质, 保证产品的安全性, 因而在天然产物分离纯化方面具有很大的优越性, 尤其对于沸点高、热敏性和易氧化的天然提取物的分离具有无可比拟的优势^[10]。

目前, 分子蒸馏被一致认为是分离低挥发度和热稳定性低的物质的最安全方法, 已广泛应用于食品、医药、香精香料等领域^[11-13]。王萍等^[14]采用分子蒸馏技术对溶剂法制备的香料烟浸膏进行分离, 在不同温度段成功富集香料烟浸膏致香成分, 并进行 GC-MS 分析; 唐自文等^[15]考察了不同溶剂烟草萃取物对分子蒸馏分离的影响, 认为石油醚效果较好; 高旭等^[16]利用正交试验设计, 考察分子蒸馏技术的关键条件对烟叶碎片致香成分分离效果的影响, 并对其产品进行 GC-MS 分析和卷烟感官评吸。

本研究以云南特有的褚橙鲜果作为原料, 采用压榨法对橙皮及橙肉进行压榨, 油水分离后进行过滤和沉降, 冷冻脱水得到褚橙初油; 采用超滤膜对初油进行二次过滤, 去除色素和杂质, 采用三级分子蒸馏技术进行精制。采用 GC-MS 技术对分子蒸馏产物进行化学成分分析, 并与 ISO 标准中甜橙油的主要化学成分比较, 分析两者的差异; 将分离产物用于卷烟加香试验, 以期卷烟调香中不同橙油的开发及应用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 褚橙精油制备工艺流程

以褚橙鲜果作为原料, 分选及清洗后将果皮与果肉分开, 压榨果皮得到褚橙精油 1#, 压榨果

肉得褚橙精油2#,合并1#、2#褚橙精油,放入冷库冷冻,经滤布抽滤,得褚橙精油的初油产品。初油产品经分子膜过滤、脱除色素和蜡质,放入冷库冷冻24 h,经600目滤布抽滤脱除蜡质,然后采用6英寸刮膜式分子蒸馏仪(美国,POPE公司)进行分子蒸馏3次,具体为:一级重组分进行二级蒸馏,二级轻组分进行三级蒸馏保留轻组分,即去除部分小分子及大分子成分,得到褚橙精油精制产品。经试验优化后详细步骤及参数如下:第1次去除小分子杂质,设备参数为:真空度80 Pa,主蒸馏器温度45℃,预热温度25℃,冷凝水温度35℃;第2次去除大分子杂质,设备参数为:真空度40 Pa,主蒸馏器温度65℃,预热温度25℃,冷凝水温度30℃;第3次蒸馏可得到所需产品,设备参数为:真空度20 Pa,主蒸馏器温度60℃,预热温度25℃,冷凝水温度33℃。

投料褚橙1000 kg,压榨后进行油水分离,过滤后沉降,冷冻脱水得到初油40 kg。初油用超滤膜二次过滤,减压蒸馏后,多级分子蒸馏去除大分子成分,再经过二次蒸馏可得到褚橙精油30 kg,出油率为3%,安全存放于阴凉干燥处。

1.2 褚橙精油 GC-MS 分析

1.2.1 仪器条件

色谱条件:Agilent7890A/5975C气相色谱—质谱联用仪+自动进样器(美国,安捷伦科技有限公司),DB-5毛细管柱(60 m×0.25 mm×0.25 μm),载气为氦气(纯度99.999%),流速:1.0 mL/min。升温程序:初始温度60℃,保持6 min;以3℃/min的速率升温至180℃;再以10℃/min的速率升温至230℃,保持10 min。进样口温度:250℃,进样量:1.0 μL,分流比:10:1,溶剂延迟6 min。

质谱条件:离子源:电轰击电离(EI)源;离子源温度:230℃;四极杆温度:150℃;电离能量:70 eV;传输线温度:280℃;扫描范围(m/z):40~450,质谱检索图库:Nist11谱库。

1.2.2 样品的处理

准确称取褚橙精油0.20 g,用甲醇—二氯甲烷(体积比为1:4)混合溶液稀释到10 mL,进样前将其用0.45 μm有机相滤膜过滤,后直接进行GC-MS分析。

1.2.3 定性方法

褚橙精油经过GC-MS分析后,改变工作站

积分参数,确保色谱图中小峰尽可能被积到,利用仪器自带的Nist11质谱库对褚橙精油中的化学成分进行自动检索,对其进行定性,之后采用色谱峰面积归一化法计算得出各化学成分的相对百分含量。

1.3 感官评吸

以云烟某一品牌为样品,以10支为1组,准备1组对照样、3组添加褚橙精油和3组添加甜橙油的样品。将褚橙精油以3%的添加量加入凝胶中,凝胶在滤棒中的施加量为1.25 mg/mm制成烟支,甜橙油按相同的添加量和方法制成烟支。从卷烟评吸专家库中抽取9名专家分成3组,按照YC/T 497—2014^[17]中式卷烟风格感官评价方法进行感官评吸,汇总3组评吸结果并进行对比分析。

2 结果与分析

2.1 褚橙精油化学成分分析

褚橙精油中的化学成分经GC-MS检测得到总离子流色谱图(图1),其结果采用Nist11进行检索后对其定性,利用面积归一化计算得出橙油中各化学成分的相对百分含量(表1)。

通过质谱库检索和人工图谱解析,分析并确定了58种化合物,占褚橙精油中化学成分的97.344%;其中,醇类7种(2.418%),醛类11种(3.403%),酯类2种(0.034%),烷烯烃类31种(90.959%),酮类3种(0.164%),其他化合物6种(0.521%);主要化学成分包括柠檬烯(76.769%)、月桂烯(7.001%)、芳樟醇(1.912%)、正癸醛(1.112%)、 α -蒎烯(3.046%)、桉烯(1.783%)和辛醛(0.959%)等。从分析结果来看,橙油中烷烯烃类化合物含量占主导地位。

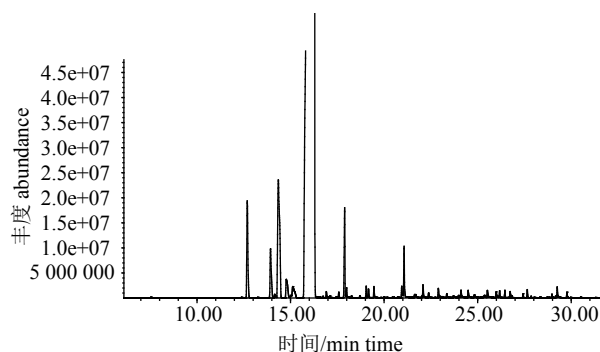


图1 褚橙精油 GC-MS 总离子流色谱图

Fig. 1 GC-MS total ion chromatogram of orange essential oil

表 1 褚橙精油 GC-MS 定性分析结果
Tab. 1 Qualitative analysis of GC-MS of Chu orange oil

化合物 compounds	保留时间/min time	相对含量/% relative content	化合物 compounds	保留时间/min time	相对含量/% relative content
己醛 hexanal	8.59	0.007	(Z)-香芹醇 cis-carveol	21.64	0.069
正壬烷 nonane	11.44	0.004	橙花醛 neral	22.08	0.302
庚醛 heptanal	11.53	0.005	香芹酮 carvone	22.38	0.125
α -侧柏烯 alpha-thujene	12.39	0.020	香叶醛 geranial	22.90	0.257
α -蒎烯 alpha-pinene	12.69	3.046	紫苏醛 perilla aldehyde	23.35	0.108
蒎烯 camphene	13.26	0.019	α -甜橙醛 alpha-sinensal	23.99	0.083
正庚醇 1-heptanol	13.70	0.003	乙酸橙花酯 neryl acetate	25.82	0.027
桉烯 sabinene	13.93	1.783	咕巴烯 copae	26.18	0.138
β -蒎烯 beta-pinene	14.16	0.129	β -芹子烯 beta-selinene	26.27	0.011
月桂烯 myrcene	14.35	7.001	白菖蒲油萜 calarene	26.46	0.146
正辛醛 octanal	14.78	0.959	乙酸癸酯 decyl acetate	26.62	0.007
α -水芹烯 alpha-phellandrene	15.03	0.080	(E)- α -香柠檬烯 trans-alpha-bergamotene	26.66	0.006
3-蒎烯 delta-3-carene	15.12	0.792	十二醛 dodecanal	26.74	0.153
柠檬烯 limonene	15.95	76.769	β -石竹烯 beta-caryophyllene	27.43	0.077
γ -松油烯 gamma-terpinene	16.74	0.034	α -芹子烯 alpha-selinene	27.50	0.003
正辛醇 1-octanol	16.92	0.135	大根香叶烯 D germacrene D	27.65	0.156
(Z)-水合桉烯 cis-sabinene hydrate	17.12	0.050	(E)- β -金合欢烯 (E)-beta-farnesene	27.86	0.032
2-蒎烯 2-carene	17.45	0.018	β -倍半水芹烯 beta-sesquiphellandrene	28.03	0.010
萜品油烯 terpinolene	17.58	0.105	别香橙烯 allo-aromadendrene	28.09	0.009
芳樟醇 linalool	17.89	1.912	α -蛇麻烯 alpha-humulene	28.35	0.019
正壬醛 nonanal	18.00	0.189	γ -依兰油烯 gamma-murolene	28.73	0.014
(E)-对孟-2, 8-二烯-1-醇 trans-p-mentha-2, 8-dien-1-ol	18.71	0.047	γ -芹子烯 gamma-selinene	29.04	0.016
氧化-1, 2-柠檬烯 limonene-1, 2-oxide	19.05	0.222	(E, E)- α -金合欢烯 (E, E)-alpha-farnesene	29.17	0.032
(E)-柠檬烯-1, 2-环氧化物 trans-limonene-1, 2-epoxide	19.17	0.197	巴伦西亚桔烯 valencene	29.26	0.235
β -甜橙醛 beta-sinensal	19.46	0.228	δ -杜松烯 delta-cadinene	29.78	0.125
4-松油醇 terpinen-4-ol	20.55	0.013	榄香醇 elemol	30.51	0.018
隐酮 cryptone	20.76	0.027	石竹烯氧化物 caryophyllene oxide	31.54	0.022
α -松油醇 alpha-terpineol	20.95	0.224	雅槛兰树油烯 eremophilene	31.60	0.003
正癸醛 decanal	21.07	1.112	圆柚酮 nootkatone	36.53	0.012

2.2 褚橙精油化学成分的香气评价

对褚橙精油中部分化学成分 (峰面积相对含量大于 0.1%) 进行香气评价 (表 2、3), 并与标准 ISO 3140:2005 甜橙油主要化学成分^[18]进行对比, 结果显示 (表 4): 褚橙精油中检出甜橙油的 14 个主要特征化合物, 且除 β -蒎烯和巴伦西亚桔烯在甜橙油含量范围内, 其他 12 个主要成分含量差异较大, 除柠檬烯含量低于甜橙油外, 其他成分均高于甜橙油。

2.3 感官评吸

感官评吸结果显示: 对照组卷烟香气量适中, 烟气浓度适中, 刺激性较大, 口腔辛辣感较强, 略有残留; 添加甜橙油的卷烟各方面有提

升, 在香气细腻度有所欠缺; 添加褚橙精油的卷烟样品香气细腻度增加, 口腔舒适度提高, 甜味明显增加, 丰富性提高, 生津感较好, 口腔残留有所改善。

3 讨论

香精是一个复杂的体系, 其香气特点是由不同成分相互协调产生的, 所含香气成分不同、占比不同均会导致香精香气变化。通过本研究发现褚橙全果精油与苦橙精油^[4]、甜橙油^[9]、橙叶油^[19]和脐橙果皮油^[10]等橘类植物精油主要成分相同, 但香气有差异, 其原因还在于所含主要成分的占比差异。不同香料提取分离技术对香精的香气影

表 2 褚橙精油香气评价

Tab. 2 Evaluation of aroma of Chu orange essential oil

成分 component	香气特征 aroma characteristics	成分 component	香气特征 aroma characteristics
α -蒎烯 alpha-pinene resin; rosin.	树脂香, 松香; 松脂味。	α -松油醇 alpha-terpineol	甜香, 铃兰花香, 白柠檬香; 稀释后的甜味很强。 sweet, fragrant orchid, white lemon scent; sweet after dilution is very strong.
桉烯 sabinene	辛香, 萜烯香和柑橘香。 spicy, terpene and citrus.	正癸醛 decanal	强烈的具有渗透性的橘子皮样和果甜香; 柑橘味道。 strong osmotic orange peel and fruity sweet; citrus flavor.
β -蒎烯 beta-pinene	干木香, 树脂香, 松香; 似松脂的味道。 dry woody, resinous, rosin; taste like rosin.	橙花醛 neral	强烈的柑橘香和柠檬香, 微有药草香和脂肪香。 intense citrus and lemon notes, slightly herbaceous and fatty.
月桂烯 myrcene	树脂香, 萜烯香; 膏香味, 药草味和柑橘味。 resin, terpene; creamy, herbal and citrus.	香芹酮 carvone	D-carvone-香芹酮: 香菜的气味; l-香芹酮: 荷兰薄荷的气味。 D-carvone: the smell of coriander; l-carvone: the smell of Dutch mint.
正辛醛 octanal	脂肪香, 水果香; 橘子和柑橘的甜味, 脂肪味。 fatty, fruity; orange and citrus sweet, fatty.	香叶醛 geranial	强烈的似柠檬的香味。 strong lemon-like aroma.
3-萜烯 3-carene	清新的刺鼻的萜烯气息。 fresh, pungent terpene breath.	紫苏醛 perilla aldehyde	辛香, 脂肪香, 药草香, 枯茗香和莳萝香。 spicy, fatty, herbaceous, withered musk and dill.
柠檬烯 limonene	烷烃气息, 柑橘香和松香。 alkane, citrus and rosin.	咕巴烯 copae	木香, 辛香。 woody, spicy.
正辛醇 octanol	橘子香, 玫瑰香, 蜡香, 甜香; 药草味、柑橘味和油味。 orange, rose, waxy, sweet; herb, citrus and oily.	十二醛 dodecanal	甜香, 脂蜡香, 柑橘香, 药草香, 稀释后有紫罗兰香。 sweet, fragrant, citrus, herbaceous, with violet after dilution.
萜品油烯 terpin	甜香, 松香, 微有茴香, 有悦人的气息。 sweet, rosin, slightly fennel, with a pleasant atmosphere.	巴伦西亚桔烯 valencene	柑橘香, 烷烃气味。 citrus, aroma smell.
芳樟醇 linalool	花香, 木香, 微弱的柑橘香; 花甜香味。 floral, woody, faint citrus; sweet scent.	δ -杜松烯 delta-cadinene	干木香, 略有辛香和焦香的特征香(混合物的香味)。 dry woody, slightly spicy and fragrant (aroma of the mixture).
正壬醛 nonanal	玫瑰花香, 脂蜡香; 稀释后具有柑橘味。 rose, fragrant, waxy; citrus-flavored after dilution.	α -甜橙醛 alpha-sinensal	橘子的特征香味。 the characteristic aroma of oranges.

表 3 褚橙精油致香成分

Tab. 3 Aroma components of Chu orange oil

类别 category	致香成分 fragrance ingredients
醇类 alcohol	芳樟醇、 α -松油醇、正辛醇、4-松油醇、正庚醇、檀香醇等 linalool, alpha-terpineol, octanol, terpinen-4-ol, 1-heptanol, elemol, et al.
酸类 acid	无明显致香成分 no obvious aroma components
醛类 aldehyde	正癸醛、正辛醛、正壬醛、十二醛、橙花醛、 α -甜橙醛等 decanal, octanal, nonanal, dodecanal, neral, alpha-sinensal, et al.
烷烯炔类 alkane olefins	α -蒎烯、桉烯、 β -蒎烯、月桂烯、3-萜烯、柠檬烯、萜品油烯、咕巴烯、巴伦西亚桔烯、 δ -杜松烯等 alpha-pinene, sabinene, beta-pinene, myrcene, limonene, terpin, copae, valencene, delta-cadinene, et al.
酯类 ester	乙酸橙花酯、乙酸癸酯等 neryl acetate, decyl acetate, et al.
酮类 ketones	香芹酮、圆柚酮等 carvone, nootkatone, et al.
其他 other	无明显的致香成分 no obvious aroma components

表 4 14 个主要化合物含量占比对比结果

Tab. 4 Comparison of the proportions of the 14 main compounds

成分 ingredient	相对含量/% relative content	最低/% the lowest	最高/% the highest	是否在范围内 Is it within range?
α -蒎烯 alpha-pinene	3.046	0.4	0.8	否 no
桉烯 sabinene	1.783	0.2	0.5	否 no
β -蒎烯 beta-pinene	0.129	0.02	0.15	是 yes
月桂烯 myrcene	7.001	1.5	3.5	否 no
正辛醛 octanal	0.959	0.1	0.3	否 no
柠檬烯 limonene	76.769	93.0	96.0	否 no
正壬醛 nonanal	0.189	0.01	0.06	否 no
芳樟醇 linalool	1.912	0.15	0.7	否 no
正癸醛 decanal	1.112	0.1	0.6	否 no
橙花醛 neral	0.302	0.05	0.1	否 no
香叶醛 geranial	0.257	0.1	0.2	否 no
巴伦西亚桔烯 valencene	0.235	0.01	0.3	是 yes
β -甜橙 beta-sinensa	0.228	0.01	0.05	否 no
α -甜橙醛 alpha-sinensa	0.083	0.01	0.04	否 no

响不同,这也是造成香气差异的原因之一。提取技术各有优劣,采用单一的提取分离手段,不能得到理想的香味成分物质。本研究采用多种方法相互协调,首先采用压榨法粗提取果皮及果肉中香味成分,然后采用分子蒸馏技术对压榨得到的褚橙全果初油进行分离得到精馏成分,从而除去香味中的部分杂气成分。对褚橙精油馏分进行 GC-MS 分析,共鉴定出 58 种化学组分,占褚橙精油中化学成分 97.344%,其中烷烃类化合物含量占主导地位;主要化学成分包括柠檬烯、月桂烯、芳樟醇、正癸醛、 α -蒎烯、桉烯和辛醛等,与 ISO 标准中甜橙油主要化学成分比较,甜橙油中 14 个主要化学成分在褚橙精油中均被检出,但含量占比差异较大。后期研究将对不同橙类原料采用相同的提取方式进行提取精制加工,再分析相关致香成分,一方面可提高橙类香精成分的可比性,另一方面也为卷烟调香中不同橙油的应用提供理论依据。

[参考文献]

- [1] 张文涛. 分离分析化学[M]. 上海: 华东理工大学出版社, 2007.
- [2] 郑鹏程, 方世辉. 茶叶香精油的提取制备方法[J]. 中国茶叶加工, 2008(2): 39.
- [3] 杜先锋, 朱林, 郭丽. 微胶囊双水相提取柑橘精油的工艺优化[J]. 农业工程学报, 2007, 23(1): 229. DOI: 10.3321/j.issn:1002-6819.2007.01.044.
- [4] 黄善松, 侯鹏娟, 李小兰, 等. 超临界提取苦橙精油的成分分析[J]. 湖北农业科学, 2016(12): 3182. DOI: 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2016.12.046.
- [5] 王馥. 橙皮香精油的提取与应用研究[J]. 科技创新导报, 2011(27): 77. DOI: 10.3969/j.issn.1674-098X.2011.27.064.
- [6] 李龙英, 金青哲, 朱跃进, 等. 茶叶籽油分子蒸馏脱酸工艺研究[J]. 中国油脂, 2014, 39(4): 19. DOI: 10.3969/j.issn.1003-7969.2014.04.005.
- [7] 陈丽君, 高建宏, 王申, 等. 气相色谱-质谱与嗅觉测量法联用分析橙油中致香物质[J]. 精细化工, 2012, 29(2): 142.
- [8] 董丽, 王翔. 甜橙油化学成分的 GC-MS 分析[J]. 乐山师范学院学报, 2003, 18(4): 39. DOI: 10.3969/j.issn.1009-8666.2003.04.013.
- [9] 吴均, 杨德莹, 李抒桐, 等. 甜橙精油的化学成分、抑菌和抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(14): 148. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2016.14.021.
- [10] 刘华, 葛发欢. 分子蒸馏技术在天然产物分离和其它领域的应用[J]. 中药材, 1999, 22(3): 152. DOI: 10.13863/j.issn1001-4454.1999.03.024.
- [11] 胡居吾, 陈兆星, 王璐, 等. 分子蒸馏技术分离纯化脐橙果皮油的工艺研究[J]. 生物化工, 2016, 2(5): 1.
- [12] 林文, 史益强, 黄德春, 等. 分子蒸馏分离米糠毛油中游离脂肪酸的工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(2): 68.
- [13] 邢红丽. 分子蒸馏技术的应用与发展[J]. 武汉工业学院学报, 2005, 24(1): 65. DOI: 10.3969/j.issn.1009-4881.2005.01.020.
- [14] 王萍, 杨俊鹏, 王娜, 等. 分子蒸馏处理香料烟浸膏制备烟用香料[J]. 香料香精化妆品, 2010(6): 31. DOI: 10.3969/j.issn.1000-4475.2010.06.008.
- [15] 唐自文, 孔宁川, 刘欣宇. 分子蒸馏分离烟草提取物溶剂选择性萃取试验研究[J]. 云南化工, 2003, 30(2): 46. DOI: 10.3969/j.issn.1004-275X.2003.02.018.
- [16] 高旭, 陈鹏, 洪林军, 等. 分子蒸馏技术在烟用香料提取分离中的应用[J]. 化学工程师, 2009, 169(10): 54. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1124.2009.10.017.
- [17] YC/T 497—2014. 卷烟中式卷烟风格感官评价方法[S].
- [18] 徐易. 通过机械加工获得的甜橙油 (ISO 3140: 2005)[J]. 香料香精化妆品, 2007(3): 52. DOI: 10.3969/j.issn.1000-4475.2007.03.014.
- [19] 李源栋, 刘秀明, 党立志, 等. GC/MS 法结合保留指数分析橙叶油中挥发性成分[J]. 浙江农业学报, 2016, 28(4): 665. DOI: 10.3969/j.issn.1004-1524.2016.04.19.

责任编辑: 何馨成