

固相微萃取优化/GC-MS 法分析不同年份陈皮的挥发性成分

丘芷柔¹, 陈彤¹, 贺丽苹², 郑家兴¹, 孙圣伟¹, 曹庸¹

(1. 华南农业大学食品学院, 广东广州 510642) (2. 华南农业大学分析测试中心, 广东广州 510642)

摘要: 为了最大化获取陈皮挥发性成分, 本文采用顶空固相微萃取 (HS-SPME) 结合气相色谱质谱联用仪 (GC-MS) 对不同年份陈皮进行分析。结果表明, 陈皮取样量为 2 g, 在 90 °C 中萃取 30 min 所得挥发性成分最多, 方法学考察中陈皮在 6 次平行试验中共有的色谱峰相对保留时间及相对峰面积的相对标准偏差 (RSD) 均低于 0.05%。三个不同年份陈皮中共检出 44 种挥发性成分, 相对含量较高的挥发性组分有 β -月桂烯、邻异丙基甲苯、D-柠檬烯、蒎品烯、 α -法尼烯、右旋香芹酮、香芹酚和 2-(甲氨基)苯甲酸甲酯, 其中含量最高的是陈皮的特征香气代表 D-柠檬烯。随着陈皮贮藏年限延长, 挥发性物质种类明显增多, 烃类、醛酮类和酚类等物质相对总量变化程度较大, 说明物质之间发生了相互转化, SPME 的优化方法适用于陈皮挥发性物质的提取。

关键词: 陈皮; 挥发性成分; 气相色谱质谱联用仪 (GC-MS); 顶空固相微萃取 (HS-SPME); 优化

文章编号: 1673-9078(2017)7-238-244

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.7.034

Analysis of the Volatile Compounds in Dried Tangerine Peel of Different Years by Optimized Solid Phase Micro-Extraction/Gas Chromatography-Mass Spectrometry

QIU Zhi-rou¹, CHEN Tong¹, HE Li-ping², ZHENG Jia-xing¹, SUN Sheng-wei¹, CAO Yong¹

(1. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou, 510642, China)

(2. Analysis and Testing Center, South China Agricultural University, Guangzhou, 510642, China)

Abstract: To obtain the maximum types of volatile compounds in dried tangerine peel, headspace solid phase micro-extraction (HS-SPME) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was used to analyze the peel samples of different years. The results showed that for 2 g of the samples, the maximum types of volatile compounds were obtained after 30 min of extraction at 90 °C. Methodological examinations showed that the relative standard deviations (RSDs) of the relative retention time and peak area of the common peaks of dried tangerine peel in six parallel experiments were both lower than 0.05%. Forty-four volatile compounds were detected in dried tangerine peel samples from three different storage years. The compounds with relatively high amounts include β -myrcene, isopropyl toluene, D-limonene, terpinene, alpha farnesene, dextral carvone, carvacrol, and 2-(methyl amino) benzoic acid methyl ester. The compound with the highest content was D-limonene, which contributes to the characteristic aroma of dried tangerine peel. With the increase in storage year, the number of types of volatile compounds increased remarkably. The relative amounts of hydrocarbons, aldehydes, ketones, and phenols changed significantly, which suggested that the mutual conversion occurred among the substances and the optimized SPME method could be applied to extract the volatile substances of dried tangerine peel.

Key words: Chenpi; volatile compounds; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); headspace solid phase micro-extraction (HS-SPME); optimization

陈皮为芸香科植物橘类的果皮, 或由橘类变性栽

收稿日期: 2016-12-07

基金项目: 广东省省级科技计划项目 (2013B051000071)

作者简介: 丘芷柔 (1993-), 女, 硕士研究生在读, 研究方向: 食品工程

通讯作者: 曹庸 (1966-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 功能性食品添加剂

与配料、保健食品

种植物果皮干燥后制成, 具有理气和中, 化痰止咳的功效, 适用于胸腹胀满和呕吐逆等症^[1]。陈皮的主要成分是挥发性陈皮油、黄酮类成分以及有机胺类^[2], 其中陈皮油具有平喘润肺、抗氧化及改善心血管系统等药理作用^[3], 且陈皮挥发性芳香物质具有抗菌抗癌功效^[4,5]。

目前在陈皮的研究当中,多采用传统的水蒸气蒸馏法^[3,6,7]及近年来兴起的超临界萃取技术^[8-10]提取陈皮的挥发性物质。采用固相微萃取技术优化技术提取陈皮中的挥发性成分较少见于报道。本研究采用顶空-固相微萃取(HS-SPME)^[11]提取陈皮的挥发性成分,并对萃取样品用量、萃取时间、萃取温度等参数进行优化,通过前处理的改善克服陈皮久置后挥发性物质难以测定的缺陷。此外,陈皮自古具有“陈久者良”的说法,导致消费者盲目选购贮藏年份高的陈皮。本文利用气相色谱-质谱联用(GC-MS)对不同贮藏年份陈皮的挥发性成分进行分离及鉴定分析,为陈皮“陈久者良”之说提供物质基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 来源

陈皮由广东江门新会收集得到,经华南农业大学植物教研室鉴定。

1.1.2 样品准备与加工保存

陈皮用纱布袋装,于实验前取样在粉碎机中粉碎,所得中药粉装入密封袋中,做好标记,并置于4℃冷库密封存储,待进一步使用。

1.2 主要仪器与设备

美国 Agilent 公司:气相色谱-质谱联用仪,型号 7890A-5975C;美国 SUPELCO 公司:固相微萃取仪-纤维头,型号 75 μm(PDMS/DVB 黑色)、25 mL SPME 专用采样瓶;德国 Sartorius:电子天平,型号 BS200S;浙江台州粮仪厂:粉碎机,型号 F-90。

1.3 GC-MS 测定条件

色谱条件:色谱柱为 DB-5 非极性弹性石英毛细管柱,程序升温为进样口温度为 260℃,流速为 1.0 mL/min,载气为高纯氮气(>99.999%);柱初温 70℃,保持 2 min,以 4℃/min 的速率上升到 210℃,保持 10 min,分流比为 50:1。

质谱条件:离子源为 230℃,电子能量 70 eV,MS 四级杆温度为 150℃。

1.4 固相微萃取优化实验方法

采用 HS-SPME 及 GC-MS 技术对陈皮挥发性成分进行测定,由于 2013 年陈皮贮藏年限较短,原料易得,样本量较大,采用四分法取样时更加均匀,有代表性,故选择 2013 年陈皮作为优化实验原料。

称取陈皮粉于采样瓶中,盖上聚四氟乙烯胶垫瓶盖,在磁力加热器上加热,待瓶内样品上部空间气体与下部液体达到动态平衡后,将已活化的固相微萃取针头穿过胶垫对瓶内挥发性成分进行吸附,再插入 GC 进样口解吸。

考察陈皮取样量、萃取时间、萃取温度对分析结果的影响,确定最优的萃取条件。

1.4.1 陈皮的取样量对出峰个数的影响

分别称取 0.5 g、1 g、2 g 和 3 g 2013 年的陈皮进行实验,考察取样量对 GC-MS 测定陈皮挥发性成分的出峰个数的影响,每组取样量设置 3 组平行实验。

1.4.2 萃取时间对出峰个数的影响

取 2013 年陈皮分别萃取 10 min、20 min、30 min、40 min 和 50 min 进行实验,考察萃取时间对 GC-MS 测定陈皮挥发性成分的出峰个数的影响,每个萃取时间下设置 3 组平行实验。

1.4.3 萃取温度对出峰个数的影响

取 2013 年陈皮分别选择 60℃、70℃、80℃、90℃和 100℃作为萃取温度进行实验,考察萃取温度对 GC-MS 测定陈皮挥发性成分的出峰个数的影响,每个萃取温度下设置 3 组平行实验。

1.5 精密度实验

取 2013 年陈皮 6 份,连续进样 6 次进行测定,考察色谱峰的相对保留时间、相对峰面积的一致性。

2 结果与分析

2.1 陈皮挥发性成分提取条件的优化结果

2.1.1 取样量的优化

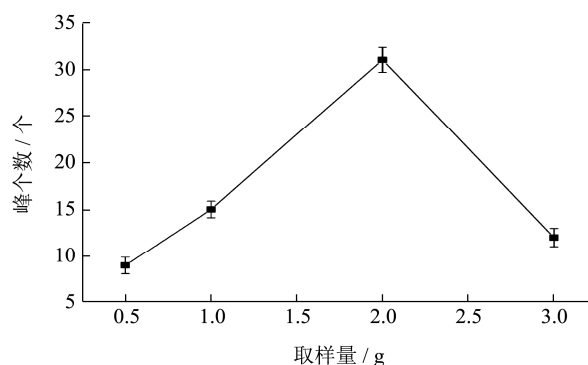


图 1 取样量对陈皮挥发性成分的影响

Fig.1 Influence of the amount of sample on the composition of volatile compounds in dried tangerine peel

分别取 0.5 g、1 g、2 g 和 3 g 2013 年的陈皮进行固相微萃取实验,考察取样量对 GC-MS 测定陈皮挥发性成分的出峰个数的影响,结果如图 1。由图可以

看出,随着陈皮取样量的增加,GC-MS测定出峰的个数呈先增加后下降的趋势。当取样量为2 g时,GC-MS测定出挥发性成分的峰个数为31个。随着取样量继续增加,GC-MS出峰数呈下降的趋势。因此,将陈皮最佳取样量确定为2 g。

2.1.2 萃取时间的优化

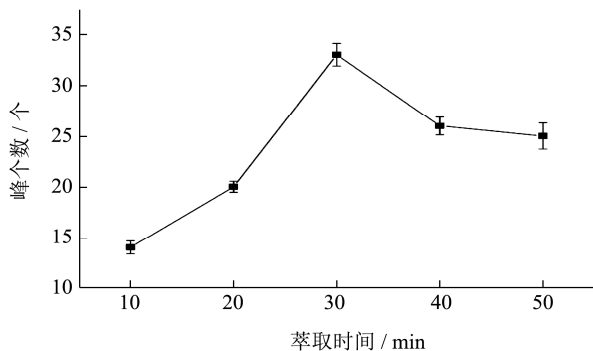


图2 萃取时间对陈皮挥发性成分的影响

Fig.2 Influence of extraction time on the amount of volatile compounds in dried tangerine peel

分别取5份2 g 2013年陈皮,分别萃取10 min、20 min、30 min、40 min和50 min,考察萃取时间对GC-MS测定陈皮挥发性成分的出峰个数的影响,结果如图2。由图可以看出,当随着萃取时间的延长,GC-MS的出峰个数呈先增加后缓慢下降的趋势。当萃取时间为30 min时,GC-MS测定出挥发性成分的峰个数为33个,之后随着萃取时间的延长,GC-MS的出峰数呈缓慢下降的趋势。因此,陈皮最佳取萃取时

间确定为30 min。

2.1.3 萃取温度的优化

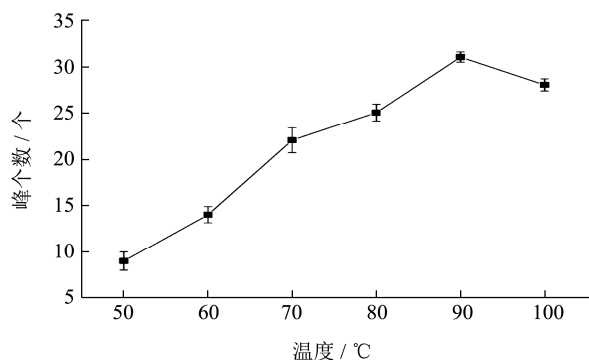


图3 萃取温度对陈皮挥发性成分的影响

Fig.3 Influence of extraction temperature on the composition of volatile compounds in dried tangerine peel

分别取5份2 g 2013年陈皮,分别在60 °C、70 °C、80 °C、90 °C和100 °C进行萃取30 min,考察萃取温度对GC-MS测定陈皮挥发性成分的出峰个数的影响,结果如图3。由图可以看出,随着萃取温度的增加,GC-MS的出峰个数逐渐提高,当萃取温度达到90 °C时,出峰数达到31个,继续升高温度时,出峰数降低,因此将陈皮最佳萃取温度确定为90 °C。

综上所述,通过固相微萃取条件的优化确定最优的萃取条件为:陈皮取样量为2 g,在90 °C中萃取30 min。

2.2 精密度实验

表1 2013年陈皮6次平行实验中共有峰

Table 1 Common peaks of the dried tangerine peel of 2013 in six parallel experiments

	1	2	3	4	5	6	7	8
保留时间/min	7.210	7.365	8.162	12.853	15.303	15.602	19.373	19.737
物质	邻异丙基甲苯	D-柠檬烯	蒎品烯	松油醇	香芹酚	百里酚	2-(甲基)苯甲酸甲酯	石竹烯

表2 各共有峰相对保留时间及相对峰面积

Table 2 Relative retention time and peak area of the common peaks

峰序号	相对保留时间			相对峰面积		
	平均值	平均偏差	RSD/%	平均值	平均偏差	RSD/%
1	0.98	0.00052	0.001	0.10	0.01265	0.127
2	1.00	0.00000	0.000	1.00	0.00000	0.000
3	1.11	0.05451	0.049	0.07	0.01051	0.145
4	1.75	0.00273	0.002	0.03	0.00964	0.304
5	2.08	0.00327	0.002	0.02	0.00415	0.244
6	2.12	0.00325	0.002	0.12	0.02336	0.194
7	2.16	0.00347	0.002	0.07	0.01007	0.154
8	2.64	0.00423	0.002	0.53	0.14298	0.269

选取六份2013年陈皮样品做平行试验,以2号峰(D-柠檬烯)作为参照峰,计算其共有峰的相对保留

时间和相对峰面积。具体结果如下,2013年6次平行实验中共有峰见表2,各共有峰相对保留时间见表3,

各共有峰相对峰面积见表4,从表2~4可以看出,2013年陈皮在6次平行实验中共有色谱峰相对保留时间及相对峰面积的RSD值均低于0.05%,证明本研究试验方法精确度好。

2.3 三个不同贮藏年份陈皮挥发性香气成分

GC-MS 分析

表3 3种不同贮藏年份陈皮挥发性香气成分及相对百分含量(%)

Table 3 Volatile flavor components and the relative content percentage of dried tangerine peel samples of different storage years

保留时间	化合物	2013年	2000年	1978年
6.2654	对二甲苯	-	0.09	-
7.4485	3-侧柏烯	-	0.22	0.10
7.7192	alpha-蒎烯	0.28	0.90	0.61
8.9071	beta-蒎烯	0.23	0.65	0.43
9.0687	beta-月桂烯	2.25	3.00	1.87
9.667	波斯菊萜	-	0.23	0.14
9.701	1,5,8-对-薄荷三烯	-	-	0.80
10.076	松油烯	0.29	-	0.11
10.323	邻异丙基甲苯	4.39	14.29	11.82
10.371	p-伞花炔	-	-	2.32
10.523	D-柠檬烯	48.36	45.01	49.37
11.359	萜品烯	2.99	2.32	1.57
12.257	异松油烯	0.42	0.30	0.24
12.423	2,4-二甲基苯乙烯	0.81	0.62	2.57
21.807	a-毕澄茄烯	-	-	0.18
21.812	alpha-古巴烯	-	0.13	-
22.192	beta-榄香烯	0.31	-	-
23.213	石竹烯	0.62	0.61	0.12
23.997	金合欢烯	2.23	-	-
24.914	姜黄烯	3.06	-	-
25.475	a-芹子烯	-	-	0.35
25.532	alpha-法尼烯	3.40	2.68	0.15
25.703	1-b-红没药烯	5.95	-	-
26.05	d-杜松烯	0.37	0.27	0.16
26.639	cis-alpha.红没药烯	2.05	-	-

烃类(共25种)				
	烃类物质总含量	78.01	71.32	72.91
15.55	邻甲基苯乙酮	-	-	0.23
15.968	二氢香芹酮	-	-	0.78
16.139	癸醛	1.32	0.45	0.22
17.483	右旋香芹酮	0.21	0.45	3.39

醛酮类(共4种)				
	醛酮类物质总含量	1.53	0.90	4.62
15.435	4-萜烯醇	-	0.16	0.27
15.887	松油醇	-	0.20	-
16.633	cis-香芹醇	-	-	1.70
17.07	L-香芹醇	-	-	0.71

转下页

接上页				
19.265	紫苏醇	-	-	0.19
20.695	柠檬烯醇	-	-	0.49
醇类 (共 6 种)				
	醛类物质总含量	0.00	0.36	3.36
18.562	2,3,5,6-四甲基苯酚	-	-	0.43
18.861	百里酚	0.59	0.36	-
19.151	香芹酚	3.11	0.33	0.40
酚类 (共 3 种)				
	酚类物质总含量	3.70	0.69	0.83
20.586	邻氨基苯甲酸甲酯	-	0.44	0.46
21.042	乙酸橙花酯	-	0.19	-
21.65	乙酸香叶酯	-	0.17	-
22.681	2-(甲氨基)苯甲酸甲酯	12.21	18.56	9.51
36.674	棕榈酸甲酯	-	0.28	0.27
38.284	棕榈酸乙酯	-	0.46	0.18
酯类 (共 6 类)				
	酯类物质总含量	12.21	20.10	11.25

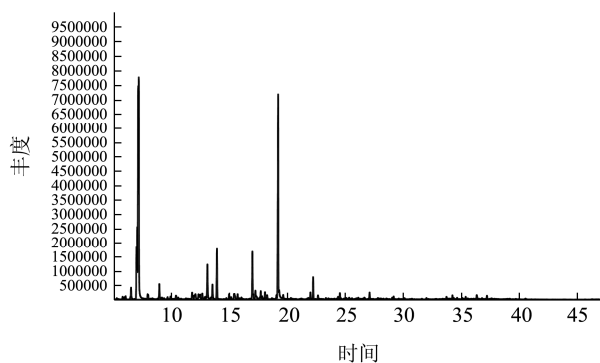


图 4 1978 年陈皮挥发性成分 GC-MS 谱图

Fig.4 GC-MS spectrum of the volatile compounds in dried tangerine peel of 1978

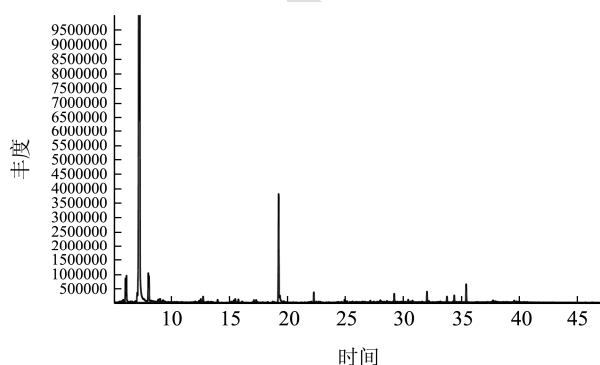


图 5 2000 年陈皮挥发性成分 GC-MS 谱图

Fig.5 GC-MS spectrum of the volatile compounds in dried tangerine peel of 2000

共检出 44 种挥发性成分, 其中烃类物质有 25 种, 醛酮类 4 种, 醇类 6 种, 酚类 3 种, 酯类 6 种, 三个贮藏年份共同含有的挥发性物质有 16 种。

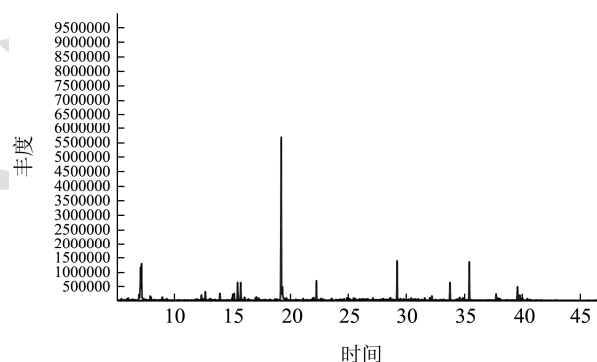


图 6 2013 年陈皮挥发性成分 GC-MS 谱图

Fig.6 GC-MS spectrum of the volatile compounds in dried tangerine peel of 2013

综合三种贮藏年份陈皮看出, 相对含量较高的挥发性组分有 β -月桂烯、邻异丙基甲苯, D-柠檬烯, 萜品烯, α -法尼烯, 香芹酚, 2-(甲氨基)苯甲酸甲酯, 其中含量最高的是 D-柠檬烯。

3 结论

3.1 本文采用 SPME-GC-MS 技术提取分析陈皮挥发性成分, 并对萃取条件进行优化, 最终确定陈皮取样量 2 g, 在 90 °C 中萃取 30 min 时效果最佳, 最终鉴定出 44 种香气成分, 方法学考察中精密度良好。

3.2 与常用的挥发性成分提取技术相比, 固相微萃取技术条件较为温和, 设备简便, 能耗小, 既克服了水

蒸气蒸馏法提取温度过高而破坏挥发性成分的缺陷,又避免了超临界萃取技术投资成本高,无法普及的问题^[12,13]。因此,本研究对固相微萃取技术进行优化有着重大的实用性。

3.3 本研究对固相微萃取的优化效果显著,主要体现在两方面:

(1) 缩短了陈皮挥发性成分的萃取时间。闫雪等^[14]将超临界 CO₂ 流体萃取陈皮等四种中药材挥发油的条件进行优化后,萃取时间为 3 h;李嘉^[6]等的研究中利用水蒸气蒸馏法提取挥发性陈皮油,建立挥发性陈皮油指纹图谱模式运行耗时 62 min,而本研究获得的最优萃取时间为 30 min。

(2) 鉴定出的挥发性成分种类更多。高明等^[3]采用水蒸气蒸馏法从陈皮炮制品中提取挥发油,最后鉴定出 24 种化合物;廖金花等^[7]用超临界 CO₂ 流体萃取和水蒸气蒸馏法在广陈皮中共鉴定出 22 种成分;魏永生等^[15]利用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术从陈皮中鉴定出 21 种化学成分;李莉^[16]利用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用仪对陈皮兔的挥发性物质进行提取,GC-MS 检测出 35 种化学物质。本研究在优化后的最佳条件下,用 GC-MS 对陈皮挥发性成分鉴定出 44 种香气成分,检测更加全面,优化效果显著。

3.4 通过 GC-MS 分别对 1978 年、2000 年、2013 年的陈皮在最优萃取条件下提取到的挥发性物质进行测定,并对测定结果进行了分析。共检出 44 种挥发性成分,其中烃类物质有 25 种,醛酮类 4 种,醇类 6 种,酚类 3 种,酯类 6 种,三个贮藏年份共同含有的挥发性物质有 16 种。随着陈皮贮藏年限的延长,挥发性物质种类明显增多,烃类、醛酮类和酚类等物质的相对总量变化程度较大,这说明物质之间发生了相互转化。D-柠檬烯含量最高,是陈皮的特征香气代表,与陈皮的品质直接相关^[3,17-19]。这与高婷婷^[20]等的研究结果一致,其研究表明陈皮挥发性物质中烯烃类物质最多,其中 D-柠檬烯含量最高。分析认为陈皮挥发性香气物质中有 3 种同分异构体,分别为百里酚、4-异丙基-3-甲基苯酚和香芹酚,在 1978 年的陈皮中未检出百里酚,说明三个同分异构体之间发生了转化,百里酚可能是香气物质转变的中间体。这一结论与陈彤^[21]的研究一致,说明该固相微萃取技术的优化方法适用于陈皮挥发性香气物质的提取。

参考文献

[1] 南京中医药大学. 中药大辞典[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006

Nanjing Chinese Medicine University. Traditional chinese medicine dictionary [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing House, 2006

[2] 郑小吉, 詹晓如, 王小平, 等. 陈皮研究进展[J]. 中国现代中药, 2007, 9(10): 30-33

ZHENG Xiao-ji, ZHAN Xiao-ru, WANG Xiao-ping, et al. Chenpi research progress [J]. Journal of China Modern Traditional Chinese Medicine (TCM), 2007, 9(10): 30-33

[3] 高明, 徐小飞, 陈康, 等. 陈皮炮制前后挥发性成分的比较研究[J]. 中药材, 2012, 35(7): 1046-1048

GAO Ming, XU Xiao-fei, CHEN Kang, et al. Study on the difference between components in volatile oil of citrus reticulata before and after being processed [J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2012, 35(7): 1046-1048

[4] Barel S, Segal R, Yashphe J. The antimicrobial activity of the essential oil from *Achillea fragrantissima* [J]. Journal of Ethnopharmacology, 1991, 33(1-2): 187-191

[5] Cosentino S, Tuberoso C I G, Pisano B, et al. *In vitro* antimicrobial activity and chemical composition of Sardinian thymus essential oils [J]. Letters in Applied Microbiology, 1999, 29(2): 130-135

[6] 李嘉, 张赞赞, 姜平川. 陈皮挥发油的气相色谱指纹图谱研究[J]. 中南药学, 2015, 13(3): 231-233

LI Jia, ZHANG Yun-yun, JIANG Ping-chuan. GC fingerprint of volatile oil of orange peel [J]. Central South Pharmacy, 2015, 13(3): 231-233

[7] 廖金花, 叶勇树, 杨宜婷, 等. 广陈皮的超临界流体萃取和水蒸气蒸馏挥发油的比较分析[J]. 中国药房, 2011, 22(43): 4079-4080

LIAO Jin-hua, YE Yong-shu, YANG Yi-ting, et al. Comparative analysis of volatile oils from citrus reticulata 'chachi' by supercritical fluid extraction and steam distillation techniques [J]. China Pharmacy, 2011, 22(43): 4079-4080

[8] 王艳琴, 王晓琴, 蔺新遥. 陈皮挥发油超临界二氧化碳流体萃取工艺研究[J]. 甘肃中医, 2007, 20(7): 91-92

WANG Yan-qin, WANG Xiao-qin, LIN Xin-yao. Dried tangerine or orange peel naphtha supercritical carbon dioxide fluid extraction technology research [J]. Gansu Journal of TCM, 2007, 20(7): 91-92

[9] 于莲, 焦淑清, 李玉环, 等. 陈皮挥发油超临界 CO₂ 萃取工艺的研究[J]. 黑龙江医药科学, 2005, 28(5): 5-6

YU Lian, JIAO Shu-qing, LI Yu-huan, et al. Dried tangerine or orange peel naphtha supercritical CO₂ extraction technology research [J]. Heilongjiang Medicine and Pharmacy, 2005, 28(5): 5-6

- [10] 黄景晟,张帅,刘飞,等.超临界 CO₂ 萃取陈皮挥发油及其化学成分分析[J].现代食品科技,2013;29(8):1961-1966
HUANG Jing-sheng, ZHANG Shuai, LIU Fei, et al. Extraction of volatile oil from tangerine peel by supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) and analysis of its chemical constituents [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(8): 1961-1966
- [11] Rainsberg M R, Harrington P. Thermal desorption solid-phase microextraction inlet for differential mobility spectrometry [J]. Applied Spectroscopy, 2005, 59(6): 754-762
- [12] Wang L Z, Yang B, Du X Q, et al. Optimisation of supercritical fluid extraction of flavonoids from *Pueraria lobata* [J]. Food Chemistry, 2008, 108(2): 737-741
- [13] 李天祥,王静康.超临界 CO₂ 流体萃取技术在天然物提取上的研究进展[J].天津大学学报,2002,35(4):417-424
LI Tian-xiang, WANG Jing-kang. Supercritical CO₂ fluid extraction technology in extracting natural objects on the research progress of [J]. Journal of Tianjin University, 2002, 35(4): 417-424
- [14] 闫雪.超临界 CO₂ 萃取肠激一号方挥发性成分的工艺研究 [C]//2010 年广东省药师周大会论文集.广州:时珍国医国药杂志社,2010:372-375
YAN Xue. Optimizing of parameters in SFE-CO₂ about volatice oil from Chang Ji'an [C]// 2010 Guangdong Medicine Conference Symposium. Guangzhou: Shi Zhen National Physician and Mmedicine Periodical Office, 2010: 372-375
- [15] 魏永生,杨振,耿薇,等.陕西陈皮挥发性成分的固相微萃取/气相色谱/质谱法分析[J].应用化工,2011,40(3):539-541
WEI Yong-sheng, YANG Zhen, GENG Wei, et al. Analysis of volatile compositions from the pericarpium citri reticulatae by SPME/GC/MS [J]. Applied Chemical Industry, 2011, 40(3): 539-541
- [16] 李莉.陈皮兔加工工艺优化及挥发性风味物质研究[D].重庆:西南大学,2012
LI Li. Study on the processing technology optimization and volatile flavor in the dried tangerine rabbit [D]. Chongqing: Southwest University, 2012
- [17] Dugo P, Bonaccorsi I, Ragonese C, et al. Analytical characterization of mandarin (*Citrus deliciosa* Ten.) essential oil [J]. Flavour and Fragrance Journal, 2011, 26(1): 34-46
- [18] Espina L, Somolinos M, Loran S, et al. Chemical composition of commercial citrus fruit essential oils and evaluation of their antimicrobial activity acting alone or in combined processes [J]. Food Control, 2011, 22(6): 896-902
- [19] Ferhat M A, Meklati B Y, Smadja J, et al. An improved microwave Clevenger apparatus for distillation of essential oils from orange peel [J]. Journal of Chromatography, 2006, 1112(1-2): 121-126
- [20] 高婷婷,杨绍祥,刘玉平,等.陈皮挥发性成分的提取与分析 [J].食品科学,2014,16:114-119
GAO Ting-ting, YANG Shao-xiang, LIU Yu-ping, et al. Extraction and analysis of volatile components of tangerine peel [J]. Food Science, 2014, 16: 114-119
- [21] LIU Chun-xiang, HE Qi-wei, FU Ming-qing. Study of flavor compounds of tomato and cucumber fruits [J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science), 2003, 34(2): 193-198
- [22] 陈彤.陈皮的黄酮和风味物质变化及其机理研究[D].广州:华南农业大学,2016
CHEN Tong. Study on the material change and mechanism of tangerine peel flavonoids and flavor [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016

(上接第 219 页)

- [22] Rotz C A, Montes F, Chianese D S. The carbon footprint of dairy production systems through partial life cycle assessment [J]. Journal of Dairy Science, 2010, 93(3): 1266-1282
- [23] 王志慧,王洪涛,黄娜,等.纸塑铝复合包装材料的碳足迹评价与认证[J].环境科学研究,2012,25(6):712-716
WANG Zhi-hui, WANG Hong-tao, HUANG Na, et al. Carbon footprint assessment and certification of Al-PE-Pa complex package [J]. Research of Environmental Sciences, 2012, 25(6): 712-716