

GC-MS 分析紫苏叶与陈皮复配前后挥发油的变化

王茵¹, 张礼仲², 吴毅^{3*}

(1. 上海医药职工大学学历教育部, 上海 200070) (2. 江中药业股份有限公司, 江西南昌 330096)

(3. 江西省药品检验检测研究院, 江西南昌 330029)

摘要: 为探究紫苏叶、陈皮复配前后挥发油的变化, 采用水蒸气蒸馏法提取紫苏叶、陈皮及紫苏叶和陈皮复配物(简称复配物)的挥发油, 利用 GC-MS 技术对各挥发油进行分析, 比较其成分及含量的差异。从紫苏叶、陈皮及复配物的挥发油中分别鉴定出 20、22 和 31 个化合物, 检出物总质量分数分别为 97.77%、99.76% 和 97.94%。紫苏叶挥发油中薄荷醇、 β -波旁烯、反式-橙花叔醇和环氧蛇麻烯 II 共 4 个化合物未在复配物挥发油中检测到, 且其中 β -古巴烯的含量在复配物中明显增加; 陈皮挥发油中 2-萜烯、对-伞花烯、异松油烯、4-萜烯醇和大根香叶烯共 5 个化合物未在复配物挥发油中检测到, 且其中香附烯酮的含量在复配物中明显增加; 而复配物挥发油中新增加了 4-萜烯、邻-异丙基苯、癸醛、 γ -榄香烯、乙酸橙花酯和乙酸橙花叔醇酯共 6 个化合物。因此, 该研究说明紫苏叶、陈皮复配前后挥发油成分有明显变化, 为紫苏叶和陈皮的进一步开发提供新思路。

关键词: 紫苏叶; 陈皮; 复配物; 挥发油; 气相色谱-质谱联用

文章篇号: 1673-9078(2022)08-260-265

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.8.0188

GC-MS Analysis of the Changes in Volatile Oils before and after

Compounding of *Perilla* Leaf and Tangerine Peel

WANG Yin¹, ZHANG Lizhong², WU Yi^{3*}

(1. Department of Academic Education, Shanghai Pharmaceutical Vocational College, Shanghai 200070, China)

(2. Jiangzhong Pharmaceutical Co. Ltd., Nanchang 330096, China)

(3. Jiangxi Institute for Drug Control, Nanchang 330029, China)

Abstract: Steam distillation was performed to extract the volatile oils of *Perilla* leaf, tangerine peel, and the compound of *Perilla* leaf and tangerine peel (hereinafter referred to as the compound) to investigate changes in volatile oils before and after the compounding of *Perilla* leaf and tangerine peel. The volatile oils were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry to compare the differences in their composition and content. A total of 20, 22, and 31 components were identified from the volatile oils of *Perilla* leaf, tangerine peel, and the compound, respectively, and the total mass fractions of the detected substances were 97.77%, 99.76%, and 97.94%, respectively. Four components in the volatile oils of *Perilla* leaf (menthol, β -bourbonene, trans-nerolidol, and humulene epoxide II) were not detected in the volatile oils of the compound, whereas the content of β -copaene increased significantly after compounding. Five components in the volatile oils of tangerine peel (2-carene, p-cymene, isoterpinolene, 4-terpenol, and germacrene) were not detected in the volatile oils of the compound, and the content of cyperenone increased significantly after compounding. Six additional components were detected in the volatile oils of the compound (4-carene, o-isopropyl benzene, decanal, γ -elemene, neryl acetate, and nerolidyl acetate). The results showed that there were significant changes in the components of volatile oils before and after compounding of *Perilla* leaves and tangerine peel. This study provides new insights for the further development of *Perilla* leaf and tangerine peel.

引文格式:

王茵,张礼仲,吴毅. GC-MS 分析紫苏叶与陈皮复配前后挥发油的变化[J].现代食品科技,2022,38(8):260-265

WANG Yin, ZHANG Lizhong, WU Yi. GC-MS analysis of the changes in volatile oils before and after compounding of *Perilla* leaf and tangerine peel [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(8): 260-265

收稿日期: 2022-02-23

基金项目: 江西省重点研发计划项目 (20202BBGL73006)

作者简介: 王茵 (1974-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 中医药大健康产品研发, E-mail: wangyin222@139.com

通讯作者: 吴毅 (1974-), 女, 博士, 主任中药师, 研究方向: 中药质量控制, E-mail: wuyijx@126.com

Key words: *Perilla* leaf; tangerine peel; compound; volatile oils; gas chromatography-mass spectrometry

紫苏叶为唇形科植物紫苏[*Perilla frutescens* (L.) Britt.]的干燥叶(或带嫩枝),具有行气和胃,解表散寒功效,用于咳嗽呕恶,鱼蟹中毒,风寒感冒,妊娠呕吐^[1]。紫苏叶是原卫生部2002年公布的既是食品又是药品的物品之一,具有很高的营养价值和经济价值,含有多种活性物质,主要是挥发油类、黄酮类和酚酸类等,具有抗炎、抗过敏、抗氧化、抗菌、抗衰老等作用^[2]。挥发油是紫苏叶特异香气的来源^[3],紫苏叶油广泛用于食品、医药保健等行业。

陈皮是芸香科植物橘(*Citrus reticulata* Blanco)及其栽培变种的干燥成熟果皮,具有燥湿化痰,理气健脾功效,用于食少吐泻,脘腹胀满,咳嗽痰多^[1]。陈皮又称橘皮,除了有很高的药用价值外,同时也是原卫生部2002年公布的既是食品又是药品的物品之一。陈皮的主要活性物质包括挥发油类、黄酮类、生物碱类等^[4],陈皮挥发油属于柑橘类精油,气味芳香宜人,作为重要的香料和抗氧化剂广泛应用于食品、卫生等领域。

在日常的饮食烹饪中,陈皮和紫苏叶均有增香祛腥作用^[5],雷跃磊等^[6]研究报道紫苏挥发油有可能对腥味进行了掩蔽。而在传统中医临床上,紫苏叶也常配伍陈皮,协同互补,增强和胃行气止呕之功效^[7]。《本草纲目·卷十四·苏》记载^[8]:“紫苏,近世要药也。其味辛,入气分;其色紫,入血分。故同橘皮、砂仁,则行气安胎。”挥发油是紫苏叶和陈皮的主要活性成分。相比于简单的挥发油成分混合,紫苏叶和陈皮在复配后提取挥发油的条件可使化学成分复杂的物质之间产生一定的化学、物理变化,以致化学成分发生改变,最终使香味、抗氧化等性质发生一定程度的改变。本实验首次采用GC-MS技术对紫苏叶、陈皮及紫苏叶和陈皮复配物(简称复配物)挥发油进行对比分析,观察紫苏叶、陈皮复配前后挥发油成分及其含量的变化,为紫苏叶和陈皮的进一步开发提供新的数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

原料:紫苏叶和陈皮均由亳州市中信中药饮片厂提供,经上海市医药学校傅颖老师鉴定。紫苏叶(安徽,批号20210330),为唇形科植物紫苏 *Perilla frutescens* 的干燥叶(或带嫩枝);陈皮(浙江,批号20210330),为芸香科植物橘(*Citrus reticulata* Blanco)的干燥成熟果皮。

试剂:乙酸乙酯(色谱纯)和无水硫酸钠(分析纯),上海国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

400Y型多功能粉碎机,铂欧五金厂;JA31002电子天平,上海天平仪器厂;Nexis GC-2030, GCMS-TQ 8050NX 气相色谱三重四级杆质谱联用仪,日本岛津公司。

1.3 方法

1.3.1 挥发油的提取

1.3.1.1 紫苏叶挥发油的提取

取紫苏叶打粉,过二号筛备用。取上述粗粉70.0 g,加入10倍量蒸馏水及少许沸石,浸泡1 h,参照2020年版《中华人民共和国药典》(四部)通则2204挥发油测定法甲法进行挥发油的提取,在挥发油测定仪上蒸馏至挥发油量不再增加,静置分液。取上层挥发油,用无水Na₂SO₄干燥后,置棕色小瓶中,4℃密封保存,备用。

1.3.1.2 陈皮挥发油的提取

取陈皮打粉,过二号筛备用。取上述粗粉70.0 g,采用水蒸气蒸馏法提取挥发油成分,操作同1.3.1.1项。

1.3.1.3 复配物挥发油的提取

《本草纲目·卷十四·苏》记载^[8]“感寒上气的附方:苏叶三两,橘皮四两,酒四升,煮一升半,分再服”。参照上述附方中紫苏叶与陈皮(3:4)的比例,分别取1.3.1.1项下的紫苏叶粗粉30.0 g和1.3.1.2项下的陈皮粗粉40.0 g(混合物共计70.0 g),采用水蒸气蒸馏法提取挥发油成分,操作同1.3.1.1项。

1.3.2 挥发油的GC-MS分析条件

1.3.2.1 供试品的制备

取1.3.1项下提取的挥发油样品20 μL,置25 mL容量瓶中,加乙酸乙酯稀释至刻度,摇匀,备用。

1.3.2.2 GC-MS色谱条件

DB-5MS色谱柱(0.25 min×30 cm, 0.25 μm),电离方式EI,离子源温度200℃,进样口温度220℃,接口温度250℃。电子能量70 eV,发射电流150 μA,质量扫描范围m/z 50~500,扫描周期0.3 s,采集时间42 min。进样量1 μL,分流比:20:1。TIC定性方法:程序升温,起始温度50℃,保持3 min,以5℃/min的速度均匀升至240℃,以20℃/min的速度均匀升至280℃保持5 min。

1.3.3 数据处理

利用计算机数据系统 NIST 17.0 数据库对得到的质谱数据进行检索和人工解析, 质谱匹配度 > 80% 作为物质鉴定标准, 采用峰面积进行归一化法计算各成分的相对百分含量。

2 结果与讨论

2.1 挥发油得率

按 1.3.1 项下方法提取, 根据挥发油提取器上的读数计算得率。得率的计算方法为挥发油的量 (mL) / 样品量 (g)。紫苏叶、陈皮及复配物挥发油的得率分别为 0.8%、1.5% 和 1.3%。由实验结果可知, 复配物挥发油的得率, 略低于陈皮, 比紫苏叶有所增加。

2.2 挥发油 GC-MS 结果与分析

按 1.3.2 项下 GC-MS 分析条件对紫苏叶、陈皮及复配物的挥发油进行测定, 得到各样品的化学组分总离子流图, 结果见图 1。

所得各组分峰的质谱数据通过计算机数据系统 NIST 数据库检索对照, 根据相似度, 并结合文献资料^[9,10]确定了紫苏叶、陈皮及复配物挥发油的主要化学成分, 采用峰面积进行归一化法计算各成分的相对百分含量, 挥发油成分的分析鉴定结果见表 1。

由表 1 可知, 紫苏叶挥发油、陈皮挥发油和复配物挥发油共鉴定出 40 个化合物。紫苏叶、陈皮、复配物三个挥发油样品的共有化合物有 8 个, 为 D-柠檬烯、芳樟醇、紫苏酮、 α -古巴烯、 β -榄香烯、 β -石竹烯、 α -法呢烯、 δ -杜松烯, 分别占三个挥发油样品总量的 67.73%、85.72% 和 75.67%, 这 8 个化合物在复配物挥发油的含量, 与紫苏叶、陈皮原料的加和有一定的相关性。

紫苏叶挥发油鉴定出 20 个化合物, 检出物总质量分数 97.77%, 其中相对含量超过 1.0% 的成分有紫苏酮 (58.57%)、异白苏烯酮 (20.09%)、 β -石竹烯 (6.99%)、(E)- α -佛手柑油烯 (4.8%)、白苏烯酮 (2.95%)、芳樟醇 (1.58%)、氧化石竹烯 (1.04%) 共 7 个, 占挥发油总量的 96.02%。由实验结果可知, 本次研究提取的紫苏叶挥发油主要含有紫苏酮、异白苏烯酮等单萜, 不含紫苏醛, 该紫苏叶原料按文献报道^[11]归类分析化学型属于 PK 型。

陈皮挥发油鉴定出 22 个化合物, 检出物总质量分数 99.76%, 其中相对含量超过 1.0% 的成分有 D-柠檬烯 (83.32%)、 γ -蒎品烯 (7.86%)、月桂烯 (2.14%)、 α -蒎烯 (1.31%)、 β -榄香烯 (1.08%) 共 5 个, 占挥发

油总量的 95.71%。由实验结果可知, 陈皮挥发油中主要成分为 D-柠檬烯和 γ -蒎品烯, 与文献报道^[12]基本一致。

复配物挥发油鉴定出 31 个化合物, 检出物总质量分数 97.94%, 其中相对含量超过 1.0% 的成分有 D-柠檬烯 (34.57%)、紫苏酮 (33.58%)、异白苏烯酮 (12.17%)、 β -石竹烯 (3.97%)、 γ -松油烯 (2.64%)、(E)- α -佛手柑油烯 (2.42%)、芳樟醇 (1.22%)、 β -榄香烯 (1.15%) 共 8 个, 占挥发油总量的 91.72%。在复配物挥发油中, 相对含量超过 1.0% 的 8 个化合物, 均分别来自紫苏叶挥发油和陈皮挥发油中相对含量超过 1.0% 的化合物, 这与紫苏叶、陈皮原料的加和有一定的相关性。

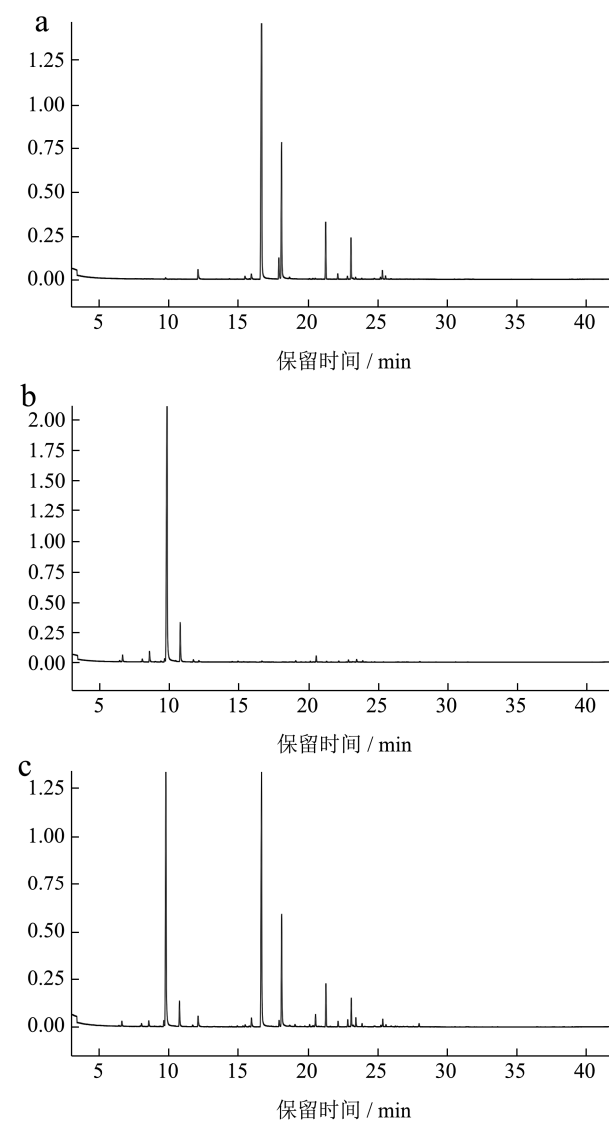


图 1 紫苏叶、陈皮及复配物挥发油的 GC-MS 总离子流图
Fig.1 The total ion chromatograms of volatile oils from *Perilla* leaves (a), tangerine peel (b) and the compound (c) by GC-MS

注: a: 紫苏叶; b: 陈皮; c: 复配物。

表1 紫苏叶、陈皮及复配物挥发油的定性及定量结果

Table 1 Qualitative and quantitative results of volatile oils in *Perilla* leaves, tangerine peel and the compound

序号	保留时间/min	化合物	CAS 号	分子式	相对质量分数/%		
					紫苏叶	陈皮	紫苏叶-陈皮
1	6.43	α -崖柏烯	2867-05-2	C ₁₀ H ₁₆	-	0.18	0.05
2	6.64	α -蒎烯	80-56-8	C ₁₀ H ₁₆	-	1.31	0.48
3	7.96	桉烯	3387-41-5	C ₁₀ H ₁₆	-	0.06	0.06
4	8.05	β -蒎烯	18172-67-3	C ₁₀ H ₁₆	-	0.50	0.26
5	8.57	月桂烯	123-35-3	C ₁₀ H ₁₆	-	2.14	0.53
6	9.38	2-萜烯	554-61-0	C ₁₀ H ₁₆	-	0.13	-
7	9.65	邻-异丙基苯	527-84-4	C ₁₀ H ₁₄	-	-	0.57
8	9.65	对-伞花烯	99-87-6	C ₁₀ H ₁₄	-	0.59	-
9	9.80	D-柠檬烯	5989-27-5	C ₁₀ H ₁₆	0.15	83.32	34.57
10	10.77	γ -萜品烯	99-85-4	C ₁₀ H ₁₆	-	7.86	2.64
11	11.71	4-萜烯	29050-33-7	C ₁₀ H ₁₆	-	-	0.15
12	11.71	异松油烯	586-63-0	C ₁₀ H ₁₆	-	0.42	-
13	12.10	芳樟醇	78-70-6	C ₁₀ H ₁₈ O	1.58	0.24	1.22
14	14.36	薄荷醇	15356-70-4	C ₁₀ H ₂₀ O	0.06	-	-
15	14.50	4-萜烯醇	562-74-3	C ₁₀ H ₁₈ O	-	0.08	-
16	14.91	α -松油醇	98-55-5	C ₁₀ H ₁₈ O	-	0.15	0.08
17	15.32	癸醛	112-31-2	C ₁₀ H ₂₀ O	-	-	0.08
18	16.65	紫苏酮	553-84-4	C ₁₀ H ₁₄ O ₂	58.57	0.15	33.58
19	17.90	白苏烯酮	59204-74-9	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	2.95	-	0.62
20	18.09	异白苏烯酮	34348-59-9	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	20.09	-	12.17
21	18.66	香叶酸甲酯	1189-09-9	C ₁₁ H ₁₈ O ₂	0.2	-	0.09
22	19.05	δ -榄香烯	20307-84-0	C ₁₅ H ₂₄	-	0.22	0.15
23	19.74	乙酸橙花酯	141-12-8	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	-	-	0.04
24	20.10	α -古巴烯	3856-25-5	C ₁₅ H ₂₄	0.06	0.14	0.18
25	20.34	β -波旁烯	5208-59-3	C ₁₅ H ₂₄	0.08	-	-
26	20.52	β -榄香烯	515-13-9	C ₁₅ H ₂₄	0.07	1.08	1.15
27	21.26	β -石竹烯	87-44-5	C ₁₅ H ₂₄	6.99	0.13	3.97
28	21.58	γ -榄香烯	29873-99-2	C ₁₅ H ₂₄	-	-	0.03
29	22.82	大根香叶烯	23986-74-5	C ₁₅ H ₂₄	-	0.35	-
30	22.82	β -古巴烯	18252-44-3	C ₁₅ H ₂₄	0.34	-	0.6
31	23.08	(E)- α -佛手柑油烯	13474-59-4	C ₁₅ H ₂₄	4.80	-	2.42
32	23.22	双环大牻牛儿烯	24703-35-3	C ₁₅ H ₂₄	0.13	-	0.12
33	23.41	α -法呢烯	502-61-4	C ₁₅ H ₂₄	0.22	0.47	0.76
34	23.85	δ -杜松烯	483-76-1	C ₁₅ H ₂₄	0.09	0.19	0.24
35	24.75	反式-橙花叔醇	40716-66-3	C ₁₅ H ₂₆ O	0.08	-	-
36	24.75	乙酸橙花叔醇酯	2306-78-7	C ₁₇ H ₂₈ O ₂	-	-	0.09
37	25.20	桉油烯醇	6750-60-3	C ₁₅ H ₂₄ O	0.22	-	0.12
38	25.33	氧化石竹烯	1139-30-6	C ₁₅ H ₂₄ O	1.04	-	0.67
39	25.95	环氧化蛇麻烯 II	19888-34-7	C ₁₅ H ₂₄ O	0.05	-	-
40	27.93	香附烯酮	3466-15-7	C ₁₅ H ₂₂ O	-	0.05	0.25

注：“-”表示该物质未被检出。

紫苏叶与复配物二个挥发油样品的共有化合物有 8 个, 为白苏烯酮、异白苏烯酮、香叶酸甲酯、 β -古巴烯、(E)- α -佛手柑油烯、双环大牻牛儿烯、桉油烯醇、氧化石竹烯, 分别占二个挥发油样品总量的 29.77%和 16.81%, 其中有 7 个化合物, 在复配物挥发油的含量, 均比在紫苏叶挥发油含量低, 这与加入陈皮原料, 导致紫苏叶中相应成分降低有相关性; 但是, β -古巴烯在复配物挥发油的相对含量 (0.60%) 明显比在紫苏叶挥发油含量 (0.34%) 高, 这提示复配不是单个原料中成分的简单物理相加。

陈皮与复配物二个挥发油样品的共有化合物有 9 个, 为 α -崖柏烯、 α -蒎烯、桉烯、 β -蒎烯、月桂烯、 γ -蒎品烯、 α -松油醇、 δ -榄香烯、香附烯酮, 分别占二个挥发油样品总量的 12.47%和 4.50%; 其中有 8 个化合物, 在复配物挥发油的含量, 均比在陈皮挥发油的含量低, 这与加入紫苏叶原料, 导致陈皮中相应成分降低也存在相关性; 但是, 香附烯酮在复配物挥发油的相对含量 (0.25%) 明显高于其在陈皮挥发油的含量 (0.05%), 这同样提示复配不是单个原料中成分的简单物理相加。文献报道显示^[13], 香附烯酮具有抗溃疡等多种生物学活性。

另外, 紫苏叶挥发油中有 4 个化合物未在复配物挥发油中检测到, 分别为薄荷醇、 β -波旁烯、反式-橙花叔醇和环氧化蛇麻烯 II, 占紫苏叶挥发油总量的 0.27%; 陈皮挥发油中有 5 个化合物未在复配物挥发油中检测到, 分别为 2-萜烯、对-伞花烯、异松油烯、4-萜烯醇、大根香叶烯, 占陈皮挥发油总量的 1.57%; 相应地, 在复配物挥发油中, 新增加了 6 个化合物, 分别为 4-萜烯、邻-异丙基苯、癸醛、乙酸橙花酯、 γ -榄香烯、乙酸橙花叔醇酯, 占挥发油总量的 0.96%; 这些均提示单个原料中成分在复配后发生了转化。

3 结论

3.1 本研究首次利用 GC-MS 技术对紫苏叶挥发油、陈皮挥发油及复配物挥发油化学成分进行比较分析, 结果表明复配物挥发油的化学成分种类和含量, 与复配前单个原料相比, 存在一定的叠加作用, 也发生了显著的变化。

3.2 本研究中的原料, 紫苏叶和陈皮, 均为药食同源的物品。药食同源是中国传统医学中药膳、食疗等方面的思想反映, 随着人民生活水平的提高, 健康观念的变化和现代医学模式的改变, 药食同源的食品正以其独特的魅力, 越来越为公众认可, 广泛应用于日常生活中。本研究依据明代医书《本草纲目》的附方, 将传统中医方剂理论运用到食品领域, 从另一个角度

探讨了紫苏叶和陈皮复配后的物质基础, 为食品工程开发提供新的思路。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(2020 年版一部) [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 354, 199-200
Chinese Pharmacopoeia Commission. The Pharmacopoeia of the People's Republic of China (Volume I, 2020 Edition) [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020: 354, 199-200
- [2] 唐飞, 冯五文, 敖慧. 紫苏叶药理作用研究进展[J]. 成都中医药大学学报, 2021, 44(4): 93-97, 112
TANG Fei, FENG Wuwen, AO Hui. Pharmacological research progress of *Perilla* leaves [J]. Journal of Chengdu University of TCM, 2021, 44(4): 93-97, 112
- [3] 杨慧, 马培, 林明宝, 等. 紫苏叶化学成分、抗炎作用及其作用机制研究进展[J]. 中国药理学与毒理学杂志, 2017, 31(3): 279-286
YANG Hui, MAI Pei, LIN Mingbao, et al. Research progress in chemical constituents, anti-inflammatory effect and mechanism of *Folium Perillae* [J]. Chinese Journal of Pharmacology and Toxicology, 2017, 31(3): 279-286
- [4] 李俊健, 林锦铭, 高杰贤, 等. 陈皮挥发油提取、成分分析及应用的研究进展[J]. 中国调味品, 2021, 46(8): 169-173
LI Junjian, LIN Jinming, GAO Jiexian, et al. Research progress on extraction, composition analysis and application of essential oils from *Citrus reticulata* Blanco [J]. China Condiment, 2021, 46(8): 169-173
- [5] 傅曼琴, 肖更生, 吴继军, 等. 广陈皮促消化功能物质基础的研究[J]. 中国食品学报, 2018, 1: 56-64
FU Manqin, XIAO Gengsheng, WU Jijun, et al. Studies on chemical basis of digestion promoting function of pericarpium citri reticulatae (*Citrus reticulata* 'Chachi') [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 1: 56-64
- [6] 雷跃磊, 郑小宁, 卢素芳, 等. 养殖鳊鱼肉紫苏汁脱腥工艺的优化研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(7): 228-231
LEI Yuele, ZHENG Xiaoning, LU Sufang, et al. Optimization of deodorization process on mandarin fish meat with *Perilla* juice [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(7): 228-231
- [7] 颜正华. 中药学(第 2 版)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2006: 85
YAN Zhenghua. Traditional Chinese Materia Medica (2nd Edition) [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2006: 85

- [8] 明·李时珍.本草纲目(校点本上册)(第2版)[M].北京:人民卫生出版社,2004:921
Ming Dynasty · LI Shizhen. Compendium of Materia Medica (proofreading Book Volume I) (2nd Edition) [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2004: 921
- [9] 高婷婷,杨绍祥,刘玉平,等.陈皮挥发性成分的提取分析[J].食品科学,2014,35(16):114-119
GAO Tingting, YANG Shaoxiang, LIU Yuping, et al. Extraction and analysis of volatile components of tangerine peel [J]. Food Science, 2014, 35(16): 114-119
- [10] 钟萍,汪镇朝,刘英孟,等.紫苏叶挥发油化学成分及其药理作用研究进展[J].中国实验方剂学杂志,2021,27(13):215-225
ZHONG Ping, WANG Zhenchao, LIU Yingmeng, et al. Advances on chemical constituents of essential oils from *Perillae folium* and their pharmacological effect: a review [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2021, 27(13): 215-225
- [11] 魏长玲,郭宝林,张琛武,等.中国紫苏资源调查和紫苏叶挥发油化学型研究[J].中国中药杂志,2016,41(10):1823-1834
WEI Changling, GUO Baolin, ZHANG Chenwu, et al. *Perilla* resources of China and essential oil chemotypes of *Perilla* leaves [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2016, 41(10): 1823-1834
- [12] 杨元丰,皮达,刘鑫,等.《中国药典》中四个品种来源的陈皮挥发油 GC-MS 分析比较[J].井冈山大学学报(自然科学版),2018,39(6):77-81
YANG Yuanfeng, PI Da, LIU Xin, et al. Comparison of GC-MS analysis of tangerine peel volatile oils from four varieties in <Chinese Pharmacopeia> [J]. Journal of Jinggangshan University (Natural Science), 2018, 39(6): 77-81
- [13] Qu H J, Lin K W, Li X L, et al. Chemical constituents and anti-gastric ulcer activity of essential oils of *Alpinia officinarum* (Zingiberaceae), *Cyperus rotundus* (Cyperaceae), and their herbal pair [J]. Chem Biodivers, 2021, 18(10): e2100214

(上接第 371 页)

- [80] 梁华,钮琰星,黄凤洪,等.超声波在食品工业上的应用[J].食品工业科技,2008,29(7):293-296
LIANG Hua, NIU Yanxing, HUANG Fenghong, et al. Application of ultrasonics on food industry [J]. Science and Technology of Food Industry, 2008, 29(7): 293-296
- [81] 胡晓利,布冠好,陈复生.超声波联合酶解处理对 β -伴大豆球蛋白抗原性的影响[J].食品工业,2019,40(1):137-141
HU Xiaoli, BU Guanhao, CHEN Fusheng. Effects of ultrasonic combined with enzymatic on the antigenicity of β -conglycinin [J]. Food Industry, 2019, 40(1): 137-141
- [82] Qiu L, Zhang M, Chitrakar B, et al. Application of power ultrasound in freezing and thawing processes: effect on process efficiency and product quality [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2020, 68:105230
- [83] Zhang L, Pan Z, Shen K, et al. Influence of ultrasound-assisted alkali treatment on the structural properties and functionalities of rice protein [J]. Journal of Cereal Science, 2017, 79(1): 204-209
- [84] 马空军,金思,潘言亮.超声波技术在食品研究开发中的应用现状与展望[J].食品工业,2016,37(9):207-211
MA Kongjun, JIN Si, PAN Yanliang. Research status and prospect of ultrasonic technology in food development [J]. Food Industry, 2016, 37(9): 207-211
- [85] Kadi Y, Moudden A, Faiz B, et al. Ultrasonic monitoring of fish thawing process optimal time of thawing and effect of freezing/thawing [J]. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria, 2013, 12(3): 273-282
- [86] 孙宗保,王天真,邹小波,等.基于超声成像技术的冷鲜与解冻牛肉鉴别方法[J].农业机械学报,2019,50(7):349-354
SUN Zongbao, WANG Tianzhen, ZOU Xiaobo, et al. Discrimination of fresh and frozen-thawed beef based on ultrasound imaging [J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Machinery, 2019, 50(7): 349-354