

岭南特色炮制工艺对枳壳挥发油成分的影响

夏荃*, 鲍倩, 梁家怡, 钟佩芸, 刘春晓
(广州中医药大学, 广州 510006)

[摘要] **目的:**采用气相色谱-质谱联用法(GC-MS)对枳壳不同炮制品中挥发油成分进行定性和定量分析,探讨岭南特色炮制工艺中枳壳挥发油成分的变化规律。**方法:**按照不同工序分别制备枳壳炮制品(生枳壳、麸炒枳壳、清蒸枳壳、单纯发酵枳壳及广东制枳壳),采用水蒸气蒸馏法提取挥发油,通过GC-MS鉴定不同枳壳炮制品中挥发油成分,运用峰面积归一化法计算各成分的相对质量分数。运用聚类分析和主成分分析分析枳壳不同炮制品中挥发油成分及其含量。**结果:**从生枳壳、广东制枳壳、单纯发酵枳壳、清蒸枳壳、麸炒枳壳的挥发油中分别鉴定出化合物54,44,25,31,32种。其中岭南特色制枳壳的挥发油中新增化合物最多,且挥发油主要成分含量较生枳壳和麸炒枳壳升高。**结论:**提示发酵与清蒸相结合的岭南特色炮制方法对改变枳壳炮制品的质量并增强其临床疗效具有重要意义,值得深入研究和进一步推广。

[关键词] 枳壳; 炮制; 挥发油; 气相色谱-质谱联用法; 清蒸品; 发酵; *D*-柠檬烯

[中图分类号] R283;R943.1;R284;C8;O657.6 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2018)05-0013-07

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.2018050013

[网络出版地址] <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20171213.0851.020.html>

[网络出版时间] 2017-12-13 13:14

Effect of Lingnan Special Processing Technology on Volatile Oil in *Aurantii Fructus* by GC-MS

XIA Quan*, BAO Qian, LIANG Jia-yi, ZHONG Pei-yun, LIU Chun-xiao
(Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou 510006, China)

[Abstract] **Objective:** To analyze the chemical components of volatile oil in different processed products of *Aurantii Fructus* by GC-MS and briefly discuss the change mechanism of *Aurantii Fructus* processed by Lingnan special processing technology. **Method:** According to different processing methods, different processed products of *Aurantii Fructus* were prepared. Volatile oil in *Aurantii Fructus* was extracted by steam distillation, and its components were identified by GC-MS, the amount of these components were determined by peak area normalization method. The components and contents of volatile oil were analyzed by cluster analysis and principal component analysis. **Result:** Fifty-four components were separated and identified from the raw *Aurantii Fructus*, forty-four for *Aurantii Fructus* processed by Lingnan special processing method (first fermentation and then decoction), thirty-two for processed products of stir-frying with bran, thirty-one for the steamed *Aurantii Fructus* and twenty-five for purely fermented *Aurantii Fructus*. Among these processed products, the one using Lingnan special processing method contained the most newly-add compounds. **Conclusion:** Lingnan special processing method is significant for enhancing the quality and clinical efficacy of processed products of *Aurantii Fructus*, this method is worth further research and promotion.

[Key words] *Aurantii Fructus*; processing; volatile oil; GC-MS; steamed products; fermentation; *D*-limonene

[收稿日期] 20170927(005)

[基金项目] 广东省科技计划项目(2017A020213012)

[通信作者] *夏荃,博士,副教授,从事中药炮制机制与工艺的研究,E-mail:xiaquan71@126.com

岭南地区有许多特别的炮制工艺和独具特色的炮制品种,但相关的炮制研究较少。枳壳是一常用中药,具有理气宽中、行滞消胀的功效,常用于治疗胸胁气滞、胀满疼痛、食积不化等病证^[1]。因生枳壳作用峻烈,脾虚、体弱者需慎用,故临床上常以炮制品入药,通过炮制来缓和药性。麸炒法是全国大多数地区普遍使用的炮制方法,并为2015年版《中国药典》所收载。但广东、香港等地保留了具有岭南特色的炮制方法,采用了独特的先发酵后蒸制的炮制工艺,制得岭南特色饮片——制枳壳,可较好地缓和生枳壳峻烈之性,避免损气、耗气之弊,在岭南地区被广泛使用。

目前,有关制枳壳的研究甚少,1984年版《广东省中药炮制规范》中所载的炮制工艺参数和质量标准较为模糊,如天然发酵的工艺较粗放;仅凭借气味、色泽等经验鉴别手段来评判中间品与产品的质量优劣等,极易引起生产的混乱。一些生产企业因发酵过程时间长、质量可控性差,擅自减少工艺流程,不发酵只蒸制,以清蒸枳壳代替制枳壳在市场流通,出现了产品质量参差不齐的乱象。

枳壳中所含主要化学成分包括挥发油、黄酮类、生物碱类化合物等^[2]。目前,有关枳壳的炮制研究以麸炒枳壳为主,研究内容多为炮制后这些化学成分的含量变化,但是研究结果往往不甚一致^[3-5]。而关于岭南特色炮制品——制枳壳的研究则较少,多集中在炮制对黄酮苷类成分的影响上。有研究发现与生枳壳相比,制枳壳中柚皮苷含量明显下降^[6];另有研究认为,制枳壳炮制发酵过程中可使黄酮苷类成分发生降解,导致其含量降低,并产生一些次级苷及苷元类成分^[7]。挥发油作为枳壳的主要活性成分之一,具有理气、行滞、镇咳、祛痰、抑菌等作用^[2]。但针对制枳壳中挥发油类成分在炮制前后的变化研究甚少,发酵工艺和蒸制工艺对枳壳中挥发油成分的变化特点也需深入研究。而对市场上出现的,以仅蒸制过后的“蒸枳壳”来代替制枳壳,其合理性也未得到有效的证实。故本实验拟通过对生枳壳、清蒸枳壳、单纯发酵枳壳、广东制枳壳和麸炒枳壳等多种枳壳炮制品的挥发油类成分进行气相色谱-质谱联用分析,考察岭南特色炮制工艺对枳壳挥发油成分的影响,初步探讨枳壳挥发油成分在发酵过程中的转化过程,为制枳壳的炮制机制和质量标准研究奠定基础,并为其临床用药提供参考。

1 材料

7890B-5977 GC/MSD 型 GC-MS 联用仪(美国

Agilent 公司), BP211D 型电子分析天平(德国 Sartorius 公司)。枳壳药材(广东佛山市北沙药材加工厂,批号 150508,经广州中医药大学中药学院中药鉴定教研室黄海波副教授鉴定为芸香科植物酸橙 *Citrus aurantium* 及其栽培变种的干燥未成熟果实),试剂均为分析纯。

2 方法与结果

2.1 各种枳壳炮制品的制备

2.1.1 生枳壳 取枳壳,除去杂质,洗净,润透,去瓢,切薄片,干燥,筛去碎落的瓢核^[8]。

2.1.2 麸炒枳壳 先将炒锅预热,均匀撒入定量麦麸,中火加热,待烟起时投入枳壳片,迅速翻动,炒至淡黄色,取出,筛去麸皮,放凉。每枳壳片 100 kg 用麸皮 10 kg^[8]。

2.1.3 清蒸枳壳 取枳壳,除去杂质及瓢核,洗净,蒸制 12 h,闷一夜,取出,切片,干燥。

2.1.4 单纯发酵枳壳 取枳壳,除去杂质及瓢核,洗净,浸至七成透,取出,堆积放置于透气漏水的容器中,于自然条件下,发酵 3~4 d,待药材内部颜色加深,表面出现白色菌丝时,取出,洗净,切片,干燥^[9]。

2.1.5 广东制枳壳 取枳壳,除去杂质及瓢核,洗净,浸至七成透,取出,发酵 3~4 d,洗净,蒸 4~6 h,闷一夜,至内部呈紫褐色时,取出,切片,干燥^[9]。

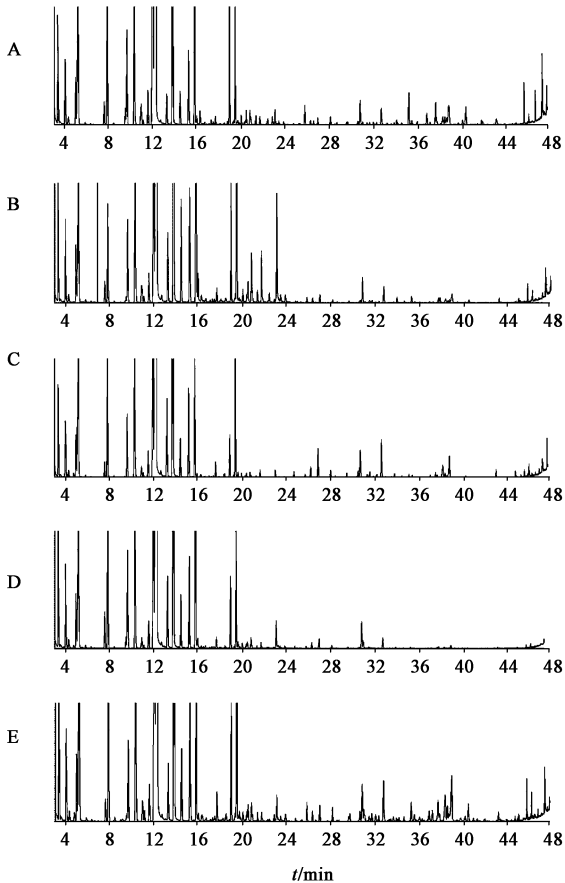
2.2 挥发油的提取 取 2.1 项下制备的枳壳各炮制品粗粉约 50 g,称定质量,加入 10 倍水量,参考 2015 年版《中国药典》(四部)通则 2204^[10],利用水蒸气蒸馏法提取 6 h,收取挥发油,无水硫酸钠干燥后备用。各炮制品(生枳壳、麸炒枳壳、单纯发酵枳壳、广东制枳壳、清蒸枳壳)中挥发油质量分数分别为 0.86%, 0.78%, 0.83%, 0.72%, 0.61%。生枳壳所得挥发油为淡黄色透明油,其余炮制品均为深黄色透明油;发酵枳壳、清蒸枳壳和广东制枳壳挥发油均具有特殊浓郁香气。

2.3 GC-MS 分析方法的建立

2.3.1 气相色谱条件 进样口温度 280 °C,载气为氦气,传输线温度 280 °C,分流比 10:1,进样量 1 μL,程序升温(柱温 60 °C,保持 3 min;以速率 2 °C·min⁻¹升至 80 °C,以 5 °C·min⁻¹升至 120 °C,以 2 °C·min⁻¹升至 160 °C,以 15 °C·min⁻¹升至 260 °C,保持至分析完成)。

2.3.2 质谱条件及分析 电离方式为电子轰击电离源(EI),电子轰击能量 70 eV,离子源温度 230 °C,加速电压 34.6 V,分辨率 2 500,倍增器电压

1 388 V, 四极杆温度 150 ℃, 扫描范围 m/z 40 ~ 350, 扫描数 4.45 次/s。所得质谱图经计算机数据处理及 NIST14 标准质谱图库检索, 以鉴定各种化学成分, 并利用峰面积归一化法测定样品中各组分的相对质量分数, 记录总离子流图, 见图 1。



A. 生枳壳; B. 麸炒枳壳; C. 清蒸枳壳; D. 单纯发酵枳壳; E. 广东制枳壳
图 1 枳壳挥发油的总离子流色谱

Fig. 1 Total ion chromatograms of volatile oil in *Aurantii Fructus* by GC-MS

2.4 生枳壳及其不同炮制品的挥发油测定 经 GC-MS 鉴定, 从枳壳不同炮制品中共鉴定出了 73 种化合物, 其中生枳壳、广东制枳壳(先发酵后蒸制)、单纯发酵枳壳、清蒸枳壳、麸炒枳壳挥发油中分别鉴定出化合物 54, 44, 25, 31, 32 种。与生品相比, 麸炒品新增化合物 8 种, 单纯发酵品新增化合物 4 种, 清蒸品新增化合物 4 种, 广东制枳壳新增化合物最多, 达 13 种。枳壳饮片中所含挥发油主要成分为 *D*-柠檬烯和 γ -松油烯, 其中, *D*-柠檬烯相对质量分数高达 70% 以上。研究发现与生品相比, 单纯发酵枳壳、清蒸枳壳及广东制枳壳中 *D*-柠檬烯和 γ -松油烯含量均升高, 而麸炒后这 2 种成分的含量均降低。而芳樟醇含量变化则正好与之相反, 麸炒品明

显升高, 清蒸枳壳、单纯发酵枳壳及广东制枳壳中含量则大大降低。见表 1。

应用 SPSS 21.0 软件中系统聚类法对 5 种枳壳炮制品 GC-MS 中挥发油成分含量进行分析, 以欧式距离为测度的聚类图, 见图 2。应用 SIMCA-P 13.0 软件中主成分分析(PCA)对 5 种枳壳炮制品中挥发油成分的含量及种类进行分析, 见图 3, 4。

结合聚类分析和 GC-MS 数据可知, 枳壳麸炒后挥发油类成分呈下降趋势, 而清蒸枳壳、单纯发酵枳壳及广东制枳壳中脂溶性成分的量明显上升。5 种枳壳炮制品根据挥发油成分含量可分为 4 类, 生枳壳为一类, 麸炒枳壳为一类, 单纯发酵枳壳为一类, 广东制枳壳和清蒸枳壳为一类。5 种枳壳样品挥发油主要化学成分均以萜类化合物为主, 其中以生枳壳挥发油中所含化合物种类为最多, 醛类化合物为其所特有; 与生枳壳相比, 麸炒枳壳中酯类化合物和酚类化合物含量较高; 广东制枳壳醇类化合物和芳香族化合物的含量增多。单纯发酵枳壳和清蒸枳壳则几乎全部为萜类化合物。

3 讨论

通过对枳壳不同炮制品挥发油的 GC-MS 分析, 提示先发酵后蒸制的广东制枳壳新增化合物最多, 达 13 种。除了生枳壳外, 经 PCA 发现广东制枳壳中所含化学成分种类最多, 且不同于其他炮制品, 有独自成型的特点。在发酵过程中, 微生物的代谢可以将中药中的化学成分转化成新化合物, 或其次生代谢产物和中药中的成分发生反应^[11]; 蒸制过程又可以进一步发生分解、水解等化学反应, 产生新的化合物, 进而可能会改变临床疗效。因此, 广东制枳壳先发酵后蒸制的特色炮制工艺不能被忽视。

研究发现 *D*-柠檬烯是枳壳中挥发油的主要成分, 其具有中和胃酸、促进胃肠蠕动、保护胃黏膜、抑制溃疡等作用^[12], 是枳壳理气和胃的主要药效成分之一。与生品相比, 麸炒枳壳中 *D*-柠檬烯含量降低, 可能与麸炒较高的加热温度和麦麸的吸附作用有关; 而发酵和蒸制工艺均可使该成分含量明显升高, 增强了理气和胃等功效。导致含量变化的原因可能为发酵过程中微生物分泌的各种胞外酶分解了植物细胞壁中的纤维素、半纤维素、果胶、木质素等成分, 从而破坏细胞壁结构, 而蒸制过程可进一步使植物组织疏松, 这些步骤均可提高化学成分的提取率, 提示广东制枳壳的炮制工艺具有一定的合理性。

尽管清蒸枳壳和广东制枳壳相比, *D*-柠檬烯等主要成分的含量变化趋势相似, 但是, 二者成分间也

表1 不同枳壳饮片的挥发油成分及其相对质量分数

Table 1 Composition and content of volatile oil in different processed products of *Aurantii Fructus*

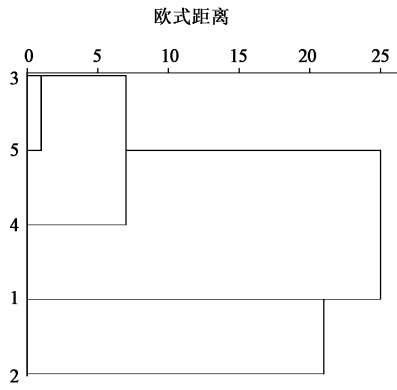
No.	化合物	相对质量分数/%				
		生枳壳	麸炒枳壳	广东制枳壳	单纯发酵枳壳	清蒸枳壳
1	异丁酸乙酯	0.692	0.704	0.709	0.678	0.665
2	丁酸乙酯	0.445	0.252	0.466	0.438	0.432
3	(Z)-2-丁烯酸乙酯	0.286	0.378	0.352	0.271	0.272
4	2-甲基丁酸乙酯	0.120	0.074	-	0.116	0.090
5	3-甲基丁酸乙酯	0.097	1.055	0.968	0.969	0.911
6	侧柏酮	0.171	0.143	-	0.188	0.115
7	(+)- α -蒎烯	1.082	-	1.301	0.936	1.072
8	桉烯	0.085	-	-	-	-
9	β -蒎烯	0.681	0.540	0.426	0.630	0.429
10	β -月桂烯	1.274	1.208	1.482	1.468	1.562
11	E,E-2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯	0.315	-	-	-	-
12	α -松油烯	0.316	0.195	0.234	0.208	0.204
13	间伞花烃	4.617	-	-	-	-
14	D-柠檬烯	72.501	71.700	77.827	79.492	80.858
15	顺式- β -罗勒烯	0.224	0.439	0.371	6.947	0.542
16	γ -松油烯	6.606	6.122	7.011	6.953	7.475
17	异松油烯	0.558	0.697	-	-	0.607
18	芳樟醇	3.059	9.475	1.290	2.548	0.839
19	4-萜烯醇	0.829	1.002	0.481	0.415	0.213
20	α -松油醇	1.508	0.887	1.369	0.815	1.110
21	顺香芹醇	0.160	0.113	-	0.736	-
22	香芹酚	0.131	-	-	0.220	-
23	乙酸橙花酯	0.116	-	0.086	-	-
24	(+)- δ -杜松烯	0.146	0.120	0.287	-	0.315
25	[1aR-(1aa,4aa,7 β ,7a β ,7ba)]-十氢-1,1,7-三甲基-4-亚甲基-1H-环丙基-[e]-萹-7-醇	0.189	-	0.133	-	-
26	2-亚甲基-6,8,8-三甲基-二环[5.2.2.0]葵-3-醇	0.098	-	-	-	-
27	桉油醇	0.200	-	-	-	-
28	十六烷酸甲酯	0.101	-	0.101	-	-
29	亚油酸甲酯	0.138	-	0.093	-	-
30	(Z,Z)-9,12-十八碳酰氯	0.080	-	-	-	-
31	蛇床子素	0.089	-	0.112	-	0.096
32	侧柏烯	0.175	-	0.082	-	0.085
33	α -水芹烯	0.245	-	0.186	-	0.097
34	β -罗勒烯	0.238	-	1.204	1.834	1.268
35	氧化芳樟醇	0.976	0.622	0.587	-	0.257
36	6-异亚丙基-1-甲基-二环[3.1.0]己烷	1.068	-	0.829	-	-
37	β -松油醇	0.130	0.880	0.128	-	0.103

续表1

No.	化合物	相对质量分数/%				
		生枳壳	麸炒枳壳	广东制枳壳	单纯发酵枳壳	清蒸枳壳
38	(-)-4-萜品醇	1.491	-	-	-	0.240
39	癸醛	0.085	0.077	-	-	-
40	D-香芹酮	0.125	-	-	-	-
41	香叶醇	0.163	0.240	0.094	-	-
42	麝香草酚	0.395	0.548	0.124	0.142	-
43	香芹酚	0.088	-	-	-	-
44	大根香叶烯 D	0.146	0.323	0.197	0.136	0.211
45	α -蒎烯	-	0.695	0.836	1.232	-
46	(1S)-(-)- β -蒎烯	-	0.534	-	0.651	-
47	伪柠檬烯	-	0.166	-	-	-
48	对伞花烃	-	1.870	3.222	-	-
49	壬醛	-	0.110	-	-	-
50	香茅醇	-	0.185	-	-	-
51	β -榄香烯	-	0.101	0.123	-	0.188
52	异松油烯	-	-	0.714	0.571	-
53	α -杜松醇	-	-	0.372	-	0.253
54	(2R,5S)-2-乙烯基-2-甲基-5-(1-甲基乙烯基)-四氢呋喃	-	-	0.107	-	-
55	(+)-2-萹烯	-	-	0.147	-	-
56	α -4-二甲基-3-环己烯基乙醛	-	-	0.098	-	-
57	桉叶醇	-	-	0.105	-	-
58	α -甲基- α -(4-甲基-3-戊烯基)环氧乙烷甲醇	-	-	-	0.334	-
59	1,3,3-三甲基三环[2.2.1.0]庚烯	-	-	-	-	1.197
60	(-)- α -古巴烯	-	0.171	0.207	-	0.171
61	2-乙基-(5-甲基-5-乙烯基四氢呋喃-2-基)异丙基碳酸酯	0.234	-	-	-	-
62	葎澄茄油萜	0.197	-	-	-	-
63	(1R,4R,4aS,8aR)-4-异丙基-1,6-二甲基桥-1,2,3,4,4a,7,8,8a-四氢-1-萜酚	0.086	-	0.241	-	0.175
64	4,5,10-大根香叶三烯-1-醇	0.155	-	0.117	-	-
65	环异长叶烯	0.087	-	-	-	-
66	异丁酸叶醇酯	0.087	-	-	-	-
67	对-蒎-1,3,8-三烯	0.097	-	-	-	-
68	2-异丙烯基-5-甲基-4-己烯醛	0.185	-	-	-	-
69	τ -杜松醇	0.134	-	-	-	-
70	9-烯十八酸甲酯	0.075	-	-	-	-
71	1,1,4,7-四甲基十氢-1H-环戊[e]萘-4,7-二醇	-	-	0.118	-	-
72	古巴烯	-	-	0.086	-	-
73	葎澄茄油烯醇	-	-	0.104	-	-

有较大的差异,如对伞花烃, α -蒎烯, β -松油醇, α -杜松醇, α -松油醇等,或为广东制枳壳独有,或含量高

于清蒸枳壳。研究发现对伞花烃可以促进胃肠道黏液的分泌,并有止咳、化痰的功效^[13];杜松醇具有平



1. 生枳壳; 2. 麸炒枳壳; 3. 清蒸枳壳; 4. 单纯发酵枳壳; 5. 广东制枳壳(图 3 同)

图 2 不同枳壳炮制品中挥发油成分的聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis for components in volatile oil from different processed products of Aurantii Fructus

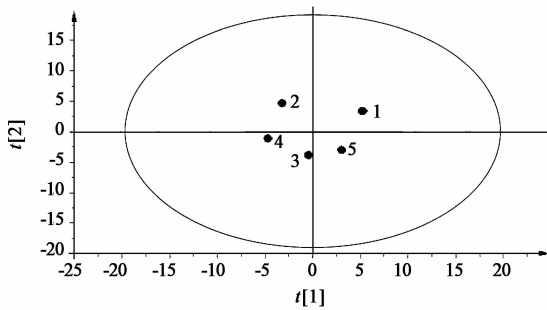


图 3 不同枳壳挥发油的 PCA 得分

Fig. 3 Principal component analysis scores of volatile oil from different processed products of Aurantii Fructus

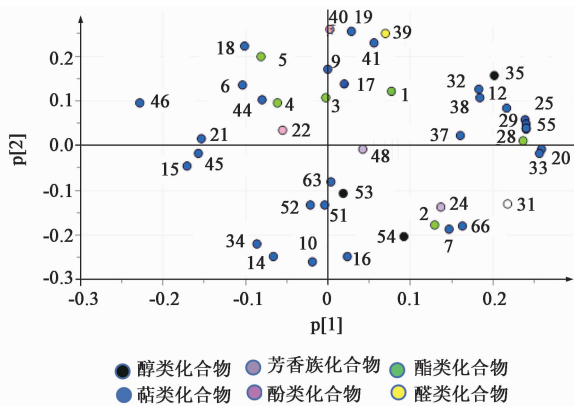


图 4 不同枳壳挥发油的主成分分布

Fig. 4 Principal component loadings of volatile oil from different processed products of Aurantii Fructus

滑肌松弛作用,对电引起的豚鼠离体回肠收缩有松弛作用,且呈剂量依赖关系,其作用与罂粟碱相当^[14]; (+)- α -蒎烯有明显的镇咳和祛痰作用,并有抗真菌作用^[15]; α -松油醇具有较强的抗菌活性,且抑菌谱广,对革兰阴性菌和革兰阳性菌均有较强的

抑菌效果^[16]。如前所述,很多厂家擅自删减了发酵工艺,以清蒸枳壳代替广东制枳壳。由于这 2 种炮制品的外观性状非常相似,难以区分。但通过本研究发现含有发酵工艺的广东制枳壳相比清蒸枳壳的香味更加醇厚丰富,且所含化学成分更多,新增成分更多,部分成分的转化途径见图 5~8。因此,随意删减发酵工艺是不太合理的。

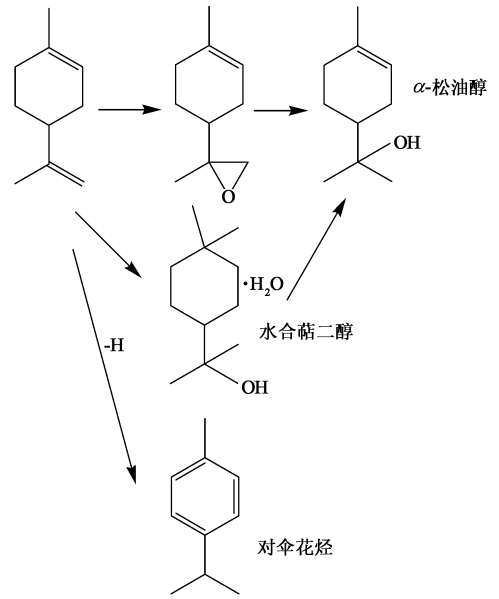


图 5 柠檬烯的转化途径

Fig. 5 Transformation pathways of limonene

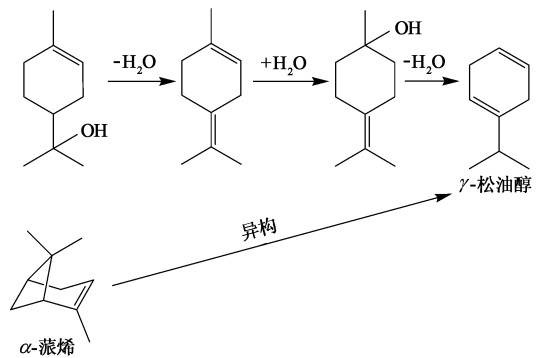


图 6 γ -松油烯的合成

Fig. 6 Synthesis of γ -terpinene

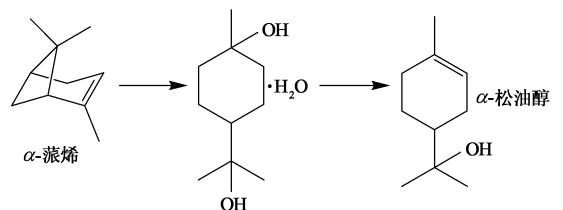


图 7 α -蒎烯制备 α -松油醇

Fig. 7 α -Terpineol prepared from α -pinene

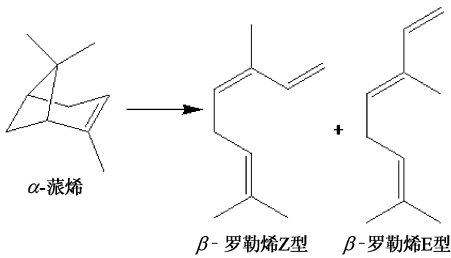


图8 α -蒎烯制备 β -罗勒烯

Fig. 8 β -Ocimene prepared from α -pinene

目前,微生物转化法已在香料香精生产行业中得到了应用。与传统化学方法相比,微生物转化反应条件温和,区域和立体选择性好,环境友好且易获得香气更浓,应用更为广泛的、商业价值更高的香料等物质^[17]。但在中药炮制上的研究还较少,制枳壳的炮制工艺恰是利用了微生物转化法,使成品香气更浓郁,生品辛燥的药性得以缓和。但发酵过程与哪些微生物相关,何为最优化的条件等问题,尚需进一步的研究。

[参考文献]

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2015:246.

[2] 陈振鹤,吴国泰,任远. 枳壳的化学成分、药理作用及临床应用[J]. 安徽农业科学,2016,44(26):95-97.

[3] 张金莲,何敏,谢一辉,等. 高效液相色谱法测定枳壳饮片中柚皮苷、橙皮苷和新橙皮苷的含量[J]. 中国实验方剂学杂志,2010,16(6):68-70.

[4] 顾雪竹,毛淑杰,李先端. 枳壳生品、炮制品中有效成分分析[J]. 中国实验方剂学杂志,2006,12(9):15-16.

[5] 龚千锋,钟凌云,曹君,等. 不同产地枳壳饮片炮制前后挥发油 GC-MS 分析[J]. 中成药,2007,29(11):1639-1644.

[6] 帅银花,陈娟,夏荃. 枳壳不同炮制品中柚皮苷的含量测定[J]. 今日药学,2010,26(6):42-44.

[7] 张栋健,李薇,何庆文,等. UHPLC-Q-TOF-MS 分析枳壳炮制前后成分变化[J]. 中国中药杂志,2016,41(11):2070-2080.

[8] 龚千锋. 中药炮制学[M]. 北京:中国中医药出版社,2012:162.

[9] 广东省食品药品监督管理局. 广东省中药饮片炮制规范[M]. 广州:广东科技出版社,1984:192.

[10] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 四部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2015:203.

[11] 乔延江,王延年,史新元,等. 中药发酵炮制学[M]. 北京:科学出版社,2012:10-11.

[12] Moraes T M, Kushima H, Moleiro F C, et al. Effects of limonene and essential oil from *Citrus aurantium* on gastric mucosa: role of prostaglandins and gastric mucus secretion [J]. Chem Biol Interact, 2009, 180 (3): 499-505.

[13] 张秋格,毕良武,赵振东,等. 对伞花烃的制备与应用研究进展[J]. 现代化工,2008,28(s2):401-406.

[14] Claeson P, Andersson R, Samuelsson G. T-cadinol; a pharmacologically active constituent of scented myrrh: introductory pharmacological characterization and high field ¹H- and ¹³C-NMR data [J]. Planta Med, 1991, 57(4):352-356.

[15] 张金莲,刘明贵,钟凌云,等. 枳壳挥发油提取工艺优选及其化学成分 GC-MS 分析[J]. 中国实验方剂学杂志,2016,22(19):27-31.

[16] 石超峰,殷中琼,魏琴,等. α -松油醇对大肠杆菌的抑菌作用及其机理研究[J]. 畜牧兽医学报,2013,44(5):796-801.

[17] 李厚金,蓝文健. 天然单萜柠檬烯的微生物转化[J]. 化学进展,2011,23(11):2318-2325.

[责任编辑 刘德文]