

苍术挥发油的研究进展

杜清¹, 吴光鹏¹, 叶明方¹, 刘阳¹, 吴求娣¹, 黄小英^{1,2}, 伍振峰¹, 管咏梅¹, 杨明¹

(1. 江西中医药大学现代中药制剂教育部重点实验室, 江西 南昌 330000;

2. 江西古香今韵大健康产业有限公司, 江西 南昌 330000)

摘要:苍术是我国传统的中药材,其用药在我国具有悠久的历史。苍术挥发油又称苍术精油,是苍术中通过水蒸气蒸馏法、超临界 CO₂ 萃取法和微波萃取法等各种方法获取的芳香性挥发性物质,是苍术的主要药效成分,其药效更强,活性作用更为突出。苍术挥发油的主要成分包括苍术素、苍术酮、 β -桉叶醇等,但南北苍术挥发油由于地理环境因素的影响,主要活性成分和含量具有一定的差别。苍术挥发油作为苍术的主要药效成分,其具有抗菌、抗炎、抗肿瘤以及调节免疫力等诸多功效,有着极大的药用和医用价值。同时,随着学者们的不断深入研究,苍术精油众多新型高效的提取方式不断涌现,其药理作用也不断被挖掘。因此对苍术挥发油的研究进展进行较为系统的归纳和梳理就显得尤为重要。对此,将近些年国内外学者对苍术挥发油的研究进行总结,从苍术挥发油的提取方式、主要成分及其影响因素、药理作用等方面进行梳理和综合论述,以期为后续苍术挥发油的研究和应用提供参考依据。

关键词:苍术挥发油;成分;提取方式;药理作用

中图分类号:R282.71

文献标志码:A

文章编号:1673-7717(2024)11-0089-09

Research Progress on Volatile Oil of Changzhu (*Atractylodis Rhizoma*)

DU Qing¹, WU Guangpeng¹, YE Mingfang¹, LIU Yang¹, WU Qiudi¹, HUANG Xiaoying^{1,2},
WU Zhenfeng¹, GUAN Yongmei¹, YANG Ming¹

(1. Key Laboratory of Modern Chinese Medicine Preparations, Ministry of Education,
Jiangxi University of Chinese Medicine, Nanchang 330000, Jiangxi, China;

2. Jiangxi Guxiangjinyun great health industry Co., Ltd, Nanchang 330000, Jiangxi, China)

Abstract: Changzhu (*Atractylodis Rhizoma*) is a traditional Chinese herbal medicine, its medication in China has a long history. The volatile oil of Changzhu (*Atractylodis Rhizoma*), also known as Changzhu (*Atractylodis Rhizoma*) essential oil, is an aromatic volatile substance obtained by various methods such as steam distillation, supercritical CO₂ extraction and microwave extraction. It is the main effective component of Changzhu (*Atractylodis Rhizoma*). Its efficacy is stronger and its activity is more prominent. The main components of the volatile oil of Changzhu (*Atractylodis Rhizoma*) include atractylodin, atractylone, β -eudesmol, etc. However, due to the influence of geographical environment factors, the main active components and contents of the volatile oil of Changzhu (*Atractylodis Rhizoma*) in the north and south are different. The volatile oil of Changzhu (*Atractylodis Rhizoma*) as the main medicinal components, which has antibacterial, anti-inflammatory, anti-tumor and regulating immunity and many other effects, has great medicinal and medical value. At the same time, the volatile oil can also be developed into a variety of modern products, which has great development potential and application prospect. At present, with the in-depth study of scholars, many new and efficient extraction methods of Changzhu (*Atractylodis Rhizoma*) essential oil are emerging, and its pharmacological effects are also being explored, Changzhu (*Atractylodis Rhizoma*) volatile oil-related products and application scenarios are also being developed. Therefore, it is particularly important to systematically summarize and sort out the research progress of volatile oil of Changzhu (*Atractylodis Rhizoma*). In this regard, the author summarized the research on the volatile oil of Changzhu (*Atractylodis Rhizoma*) by scholars at home and abroad in recent years, and combed and comprehensively discussed the extraction methods, main components and influencing factors and pharmacological effects in order to provide reference for the subsequent research and application of the volatile oil of Changzhu (*Atractylodis Rhizoma*).

Keywords: volatile oil of Changzhu (*Atractylodis Rhizoma*); component; extraction method; pharmacological action

基金项目:国家自然科学基金项目(82074026);中央引导地方科技发展项目(2022ZDD03085);江西省科技厅重大科技研发专项(20194ABC28009);江西省大学生创新创业计划项目(2022)

作者简介:杜清(1993-),女,江西赣州人,讲师,博士,研究方向:中药新制剂与新技术。

通讯作者:管咏梅(1979-),女,河南周口人,教授,博士研究生导师,博士,研究方向:中药新制剂与新技术。E-mail:guanym2008@163.com。

杨明(1962-),男,四川成都人,教授,博士研究生导师,博士,研究方向:中药新制剂、新技术、新工艺。E-mail:yangming16@126.com。

苍术作为我国传统中药材,为菊科多年生草本植物茅苍术 *Atractylodes Lancea* (Thunb.) DC. 或北苍术 *A. chinensis* (DC.) Koidz 的干燥根茎,具有燥湿健脾、祛风散寒、明目等功效^[1]。苍术在我国药用历史悠久,自古便被人们用来进行空气消毒,据《本草纲目》记载,苍术“气味辛烈”,“能除恶气,古今病疫及岁旦,人家往往烧苍术以辟邪气,故时疫之病多用之”,现今在江浙一带,人们依旧有端午节前后用苍术白芷熏屋避秽的习俗^[2],苍术在目前新型冠状病毒感染的防治中亦发挥重大作用^[3]。现代临床上也可通过点燃苍术浸出液熏蒸医院内镜室进行空气消毒,相较于传统的紫外线和化学制剂消毒,具有消毒效果良好、对人体刺激小、不腐蚀医疗设备等优点^[4]。而苍术挥发油作为苍术药材的主要药效成分,其主要成分包括苍术素、苍术酮、 β -桉叶醇等,除可用于空气消毒外,还具有抑菌^[5]、抗炎^[6]、抗肿瘤^[7]、抗氧化^[8]、促消化^[9]等药理作用。可见苍术精油存在着极大的开发潜力和利用价值,对其现有的研究进展进行综述便显得尤为重要,本文对近些年来苍术挥发油的研究成果进行总结,以期为后续苍术挥发油的研究和应用提供参考依据。

1 提取方式

苍术挥发油作为苍术药材的主要药效成分,具有重要的药用和医用价值。由于挥发油普遍具有热降解、易氧化和易挥发等^[10]特性,苍术挥发油在提取过程中选择适当的提取方法,对其有效成分的稳定保存有着重要意义,同时对后续苍术挥发油的研究与应用有着重大影响。现存有众多提取苍术精油的方法,其中传统的主要为水蒸气蒸馏法^[11]。而随着苍术精油研究应用的不断扩展,新型的提取方法日益增多。例如,超声辅助离子液体提取法^[12],超临界 CO_2 萃取法 (SFE - CO_2)^[13],微波萃取法^[14]等,使用不同的方法提取出的苍术挥发油在组成成分之间存在一定差异。

1.1 水蒸气蒸馏法 (HD)

水蒸气蒸馏法是最经典、最常用的一种提取苍术挥发油的方法。此方法技术成熟、操作简单方便、设备要求较低、成本低廉,且得到的苍术挥发油外观佳,抑菌效果好^[15],被广泛应用于实验室提取中药挥发油。但此法同时存在耗时长、挥发油提取率低、提取时所需温度较高,挥发油中热敏性成分易被破坏,选择性差等诸多不足之处^[16]。因此众多学者便在该提取方法的基础上发展出了许多优化辅助方法。莫秋华^[17]研究发现通过超声波辅助,可以使得苍术药材中的有效成分加速溶解和扩散,从而加速了苍术挥发油的提取并提高了提取率,很好地解决了水蒸气蒸馏法耗时长这一缺点,且此法操作简单,不会破坏苍术挥发油的原有风味。在一定条件下,酶会破坏苍术植物细胞壁的致密性,使其有效成分更易溶出,从而提高苍术挥发油的提取率,缩短苍术挥发油的提取时间^[18]。利用此原理,王一彤^[19]将复合酶与微波辅助水蒸气蒸馏法相结合提取苍术挥发油,与 HD 相比,此法得到的苍术挥发油更为丰富,主要成分含量更高,进一步提高了苍术挥发油的提取率,且还具有提取时间短、耗能低等优点。

1.2 超临界 CO_2 萃取法 (SFE - CO_2)

超临界 CO_2 萃取法是一种新型提取植物挥发油快速有效的方法, CO_2 作为超临界溶剂,廉价易得,无毒无害,绿色环保,且不会造成溶剂残留^[20]。这种方法提取的苍术挥发油出油率

高,耗时短,可在常温下进行,能更好地保存苍术挥发油原有的化学成分,且得到的挥发油外观好,气味浓郁芬香,品质佳,有效成分含量高^[21]。杨凌^[13]等人便将水蒸气蒸馏法、超声提取法 (SC)、索氏抽提 (SX) 和 SFE - CO_2 4 种提取苍术挥发油的方法进行对比研究,发现运用 SFE - CO_2 提取苍术挥发油提取率以及挥发油中活性成分苍术素含量都为最高。说明相较于其他提取方法,SFE - CO_2 更适合苍术挥发油的提取。

1.3 微波萃取法

微波萃取法是一种新型高效的植物挥发油提取工艺,相较于传统的提取方法,此法具有提取时间短、溶剂使用量少、能耗小、成本低廉等优点^[22]。微波辐射使得细胞吸收大量能量,细胞内部温度上升,细胞结构被破坏,促进细胞内物质的释放,从而有效提高提取率^[23]。有学者发现,相比于使用传统的水蒸气蒸馏法提取苍术挥发油,使用微波萃取法提取苍术挥发油的提取率更高,且提取出的挥发油品质优良,颜色呈亮红棕色,气味芬芳,其中的主要有效成分 β -桉叶醇、苍术素、苍术酮和茅术醇等含量更高,且萃取所需温度较低,一般为 45°C 左右^[14]。对此,在使用该方法提取挥发油时,挥发油中的热敏性成分的挥发量明显减少,但所提取挥发油的抑菌效果略差于使用传统的水蒸气蒸馏法提取的挥发油^[15]。

1.4 其他提取方法

除上述苍术挥发油提取技术之外,减压提取是一种新型现代化中药挥发油提取工艺,具有低温提取的特点,能防止挥发油中某些热敏性成分被降解,有效改善传统提取工艺存在的挥发量大^[24]的问题。但笔者暂未发现关于减压提取工艺用于苍术挥发油提取的研究报道,此法用于苍术精油的提取有待进一步研究开发。此外,亚临界水提取法是一种目前热门的新型提取方法,具有提取率高,耗时短,成本低,安全环保等优点,而亚临界水为在温度 $100.0 \sim 347.4^\circ\text{C}$ 、压力 $0.1 \sim 22.1 \text{ MPa}$ 条件下仍然保持液体状态的水^[25],在此条件下部分中药精油的有效成分易受到破坏。张翼等^[12]研究证明运用此法提取苍术挥发油的提取率几乎为零,提示该提取方法不适用于苍术挥发油的提取。

2 苍术挥发油的主要成分及其影响因素

2.1 苍术挥发油的主要成分

苍术挥发油中主要成分为倍半萜类、多炔类、固醇类、酮类化合物^[19,26],其主要活性成分及结构式见表 1 和图 1。市面上流通的苍术主要为北苍术和茅苍术^[27]。北苍术 *Atractylodes chinensis* (DC.) Koidz 为我国常用中药材,是《中华人民共和国药典》苍术的主要基源,主产于我国东北、内蒙古和河北等地^[28]。北苍术挥发油主要含苍术酮、 β -芹子烯、苍术素等成分,且不同产地北苍术挥发油主要特性成分基本相同,但百分含量存在一定差别^[29-34]。茅苍术为菊科植物茅苍术 *A. lancea* (Thunb.) DC. 的干燥根茎,为中医常用药材之一,始载于《神农本草经》,主产于江苏、湖北、河南、浙江、安徽等地^[35]。茅苍术主要成分为 β -桉叶醇 (β -Eudesmol)、茅术醇 (Hinesol)、芹子烯 (Se-hnene) 等^[36-38]。与北苍术相似,不同产地的茅苍术挥发油主要组分大致相同,但含量存在一定差异^[39]。曾志等^[31]采用气相色谱-质谱联用技术 (GC - MS) 与色谱指纹图谱八强峰法和分区法对北苍术和茅苍术挥发油成分进行比较分析。结果显示北苍术和茅苍术进入八强峰的色谱峰较为相

似,说明这两种挥发油前8种主要成分基本一致,但由于品种不同,其百分含量存在显著性差异。逢键^[40]等通过GC-MS法对4种苍术挥发油成分含量进行了比较分析,笔者对其中茅苍术和北苍术主要相同成分含量差别进行整理,具体详情见表2。

表1 苍术挥发油主要成分

序号	化学成分	英文名称	分子式	相对分子量	参考文献
1	α -蒎烯	α -Pinene	C ₁₀ H ₁₆	136	[30,33-34]
2	丁香烯	Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	[34]
3	δ -杜松烯	Delta-cadinene	C ₁₅ H ₂₄	204	[34]
4	β -榄香烯	beta-Elementene	C ₁₅ H ₂₄	204	[34]
5	l-石竹烯	l-Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	[34]
6	g-榄香烯	g-Elementene	C ₁₅ H ₂₄	204	[34]
7	α -葎草烯	α -Humulene	C ₁₅ H ₂₄	204	[34]
8	β -芹子烯	β -Selinene	C ₁₅ H ₂₄	204	[30,34]
9	香橙烯	Aromadendrene	C ₁₅ H ₂₄	204	[33-34]
10	倍半水芹烯	Sesquiphellandrene	C ₁₅ H ₂₄	204	[34]
11	甘菊蓝	Azulene	C ₁₅ H ₂₄	204	[34]
12	α -松油醇	alpha-Terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	[34]
13	B-香叶烯	B-Myrcene	C ₁₅ H ₂₄	204	[34]
14	α -桉叶醇	α -Eudesmol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	[34]
15	愈创醇	Guaiol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	[34]
16	β -桉叶醇	β -Eudesmol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	[34]
17	苍术酮	Attractylon	C ₁₅ H ₂₀ O	216	[33-34]
18	甜没药醇	alpha-Bisabolol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	[34]
19	苍术素	Attractolodin	C ₁₅ H ₁₀ O	182	[34]
20	十七碳三烯酸甲酯	8(Z),11(Z),14(Z)-Heptadecatrienoic Acid Methyl ester	C ₁₈ H ₂₆ O ₂	274	[34]
21	呋喃二烯	Furanodiene	C ₁₅ H ₂₀ O	216	[30]
22	马兜铃烷	Aristolone	C ₁₅ H ₂₂ O	218	[30]
23	油酸	Oleic acid	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	282	[30]
24	α -水芹烯	α -Phellandrene	C ₁₀ H ₁₆	136	[30,33]
25	棕榈酸	Palmitic acid	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256	[30]
26	二十六烷	Hexacosane	C ₁₈ H ₃₈	254	[30]
27	二十七烷	Heptacosane	C ₁₉ H ₄₀	268	[30]
28	凡伦橘烯	Valencene	C ₁₅ H ₂₄	204	[30]
29	二十八烷	Octacosane	C ₂₀ H ₄₂	282	[30]
30	二十五烷	Pentacosane	C ₁₇ H ₃₆	240	[30]
31	蒿醇	Artemisia alcohol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	[30]
32	硬脂酸	Stearic acid	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284	[30]
33	艾醇	Yomogi alcohol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	[30]
34	γ -榄香烯	γ -Elementene	C ₁₅ H ₂₄	204	[30]
35	δ -3-蒎烯	δ -3-Carene	C ₁₀ H ₁₆	136	[30,33]
36	二十四烷	Tetracosane	C ₁₆ H ₃₄	226	[30]
37	P-伞花烯	P-Cymene	C ₁₀ H ₁₄	134	[30,33]
38	大根香叶烯B	Germacrene B	C ₁₅ H ₂₄	204	[30]
39	—	Hinesol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	[33]
40	BETA-葎草烯	Beta-Humulene	C ₁₅ H ₂₄	204	[33]
41	—	Cyclohexanemethanol,4-ethenyl-alpha,alpha,4-trimethyl-3-(1-methylethenyl)-, [1R-(1alpha,3alpha,4beta)]-	—	—	[33]
42	沉香螺醇	Agarospinol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	[33]
43	—	Berkheyradulene	C ₁₅ H ₂₄	204	[33]
44	红没药醇	Alpha-Bisabolol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	[33]
45	—	Cedrene-V6	—	—	[33]
46	长叶烯	Longifolene	C ₁₅ H ₂₄	204	[33]
47	萜品烯	Terpinene	C ₁₀ H ₁₆	136	[33]
48	—	Alpha-Cuprenene	—	—	[33]
49	—	Isocaryophyllene	—	—	[33]
50	双戊烯	D-Limonene	C ₁₀ H ₁₆	136	[33]

续表1

苍术挥发油主要成分

序号	化学成分	英文名称	分子式	相对分子量	参考文献
51	松油烯	1,3 - Cyclohexadiene, 1 - methyl - 4 - (1 - methylethyl) -	C ₁₀ H ₁₆	136	[33]
52	马兜铃烯	Aristolene	C ₁₅ H ₂₄	204	[33]
53	β - 瑟林烯	β - Selinene	C ₁₅ H ₂₄	204	[36]
54	δ - 愈创木烯	δ - Guaiene	C ₁₅ H ₂₄	204	[36 - 37]
55	α - 倍半水芹烯	α - Sesquiphellandrene	C ₁₅ H ₂₄	204	[36]
56	朱塞倍半萜	Valencene	C ₁₅ H ₂₄	204	[36]
57	γ - 芹子烯	γ - Selinene	C ₁₅ H ₂₄	204	[36 - 37]
58	β - 桉油醇	β - Eudesmol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	[36]
59	α - 红没药醇	α - Bisabolol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	[36]
60	对苯基苯甲醛	4 - Biphenylaldehyde	C ₁₃ H ₁₀ O	182	[36]
61		Berkheyaradulen	C ₁₅ H ₂₄	204	[36]
62	(-) - 10 - 表 - γ - 桉叶(油)醇	10 - epi - γ - Eudesmol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	[36]
63	(+) - 苜蓿烯	(+) - Sativene	C ₁₅ H ₂₄	204	[36]
64	β - 石竹烯	β - Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	[36]
65	茅苍术醇	Hinesol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	[36 - 37]
66	α - 长叶蒎烯	α - Longipinene	C ₁₅ H ₂₄	204	[37]
67	β - 榄香烯	β - Elemene	C ₁₅ H ₂₄	204	[37]
68	2 - (2 - 甲氧基) 苯甲氧基苯酚	2 - (2 - Methoxyphenoxy) phenol	C ₁₃ H ₁₂ O ₃	216	[37]
69	2 - 芴醇	2 - Fluorenol	C ₁₃ H ₁₀ O	182	[37]
70	芹烷二烯酮	Selina - 4(14), 7(11) - dien - 8 - one	C ₁₅ H ₂₂ O	218	[37]
71	2,3 - 二氢 - 7 - 甲氧基 - 4 - 甲基 - 1H - 1,5 - 苯并二氮卓 - 2 - 酮	2,3 - Dihydro - 7 - methoxy - 4 - methyl - 1H - 1,5 - benzodiazepin - 2 - one	C ₁₁ H ₁₂ N ₂ O ₂	204	[37]
72	甘香烯	Elixene	C ₁₅ H ₂₄	204	[37]
73	丁子香烯	Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	[37]
74	β - 丁子香烯	β - Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	[37]
75	6S - 2,3,8,8 - 四甲基 - 三环[5.2.2.0(1,6)]十一(2)烯	6S - 2,3,8,8 - Tetramethyltricyclo[5.2.2.0(1,6)]undec - 2 - ene	C ₁₅ H ₂₄	204	[37]
76	雅檀蓝树油烯	Eremophilene	C ₁₅ H ₂₄	204	[37]
77	β - 倍半水芹烯	β - Sesquiphellandrene	C ₁₅ H ₂₄	204	[37]
78	芴酮	2,3 - Dihydro - 1H - phenalen - 1 - one	C ₁₃ H ₁₀ O	182	[37]
79	4,11,11 - 三甲基 - 8 - 亚甲基 - 双环[7,2,0]十一(4)烯	Bicyclo[7,2,0]undec - 4 - ene, 4,11,11 - trimethyl - 8 - methylene -	C ₁₅ H ₂₄	204	[37]
80	2 - 异丙烯基 - 4a,8 - 二甲基 - 1,2,3,4,4a,5,6,8a - 八氢萘	2 - Isopropenyl - 4a,8 - dimethyl - 1,2,3,4,4a,5,6,8a - octahydronaphthalene	C ₁₅ H ₂₄	204	[37]
81	γ - 桉叶(油)醇	γ - Eudesmol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	[37]
82	4 - 苯甲氧苯胺	4 - Benzyloxyaniline	C ₁₃ H ₁₃ NO	199	[38]
83	β - 雪松烯	β - Himachalene	C ₁₅ H ₂₄	204	[38]
84	10S,11S - 雪松烷 - 3(12), 4 - 二烯	10S,11S - Himachala - 3(12), 4 - diene	C ₁₅ H ₂₄	204	[38]
85	[4aR - (4a. α, 7. α, 8a. β)] - 十氢 - 4a - 甲基 - 1 - 亚甲基 - 7 - 异丙烯萘	Naphthalene, decahydro - 4a - methyl - 1 - methylene - 7 - (1 - methylethenyl) - , [4aR - (4a. alpha, 7alpha, 8a. beta)]	C ₁₅ H ₂₄	204	[38]
86	脱氢香橙烯	Aromadendrene, dehydro	C ₁₅ H ₂₂	202	[38]
87	石竹烯	Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	[38]
88	α - 石竹烯	alpha. - Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	[38]
89	(S) - 6 - 乙烯基 - 6 - 甲基 - 1 - 异丙烯基 - 3 - 异亚丙烯 - 环己烯	Cyclohexene, 6 - ethenyl - 6 - methyl - 1 - (1 - methylethyl) - 3 - (1 - methylethylidene) - , (S)	C ₁₅ H ₂₄	204	[38]
90	广藿香烯	Patchoulene	C ₁₅ H ₂₄	204	[38]
91	[1S - (1. α, 2. β, 4. β)] - 1 - 乙烯基 - 1 - 甲基 - 2,4 - 二异丙烯基 - 环己烯	Cyclohexane, 1 - ethenyl - 1 - methyl - 2,4 - bis (1 - methylethenyl) - , [1S - (1alpha, 2beta, 4. beta.)]	C ₁₅ H ₂₄	204	[38]
92	杜松烯	d - δ - Cadinene	C ₁₅ H ₂₄	204	[38]
93	桉叶二烯	Eudesma - 4(14), 11 - diene	C ₁₅ H ₂₄	204	[38]
94	(3R - 反式) - 3 - 甲基 - 6 - 异丙烯基环己烯	Cyclohexene, 3 - methyl - 6 - (1 - methylethenyl) - , (3R - trans)	C ₁₀ H ₁₆	136	[38]
95	乙酸香叶酯	2,6 - Octadien - 1 - ol, 3,7 - dimethyl - , acetate, (E)	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	196	[38]
96	-	beta - Vaitrenene	C ₁₅ H ₂₂	202	[38]

表 2 茅苍术和北苍术挥发油主要相同成分含量对比

序号	化学成分	英文名称	分子式	该成分在不同苍术中的百分含量/(%)	
				茅苍术	北苍术
1	β -桉叶醇	β -eudesmol	$C_{15}H_{26}O$	34.368	10.847
2	茅术醇	hinesol	$C_{15}H_{26}O$	33.427	6.184
3	苍术酮	atractyline	$C_{15}H_{20}O$	8.060	19.938
4	4-苯乙烯吡嗪	4-styrylpyridazine	$C_{12}H_{10}N_2$	4.807	1.026
5	γ -榄香烯	gamma-elemene	$C_{15}H_{24}$	2.373	5.866
6	1,2,3,4,4 α ,5,6,8 α -八氢-4 α ,8-二甲基-2-(1-甲基乙炔基),(4 α R-反萘)	1,2,3,4,4 α ,5,6,8 α -octahydro-4 α ,8-dimethyl-2-(1-methylethynylidene),(4 α R-trans-naphthalene)	$C_{15}H_{24}$	2.145	2.267
7	石竹烯	caryophyllene	$C_{15}H_{24}$	0.778	2.617
8	环己基十一烷基酯草酸	cyclohexyl undecyl ester oxalic acid	$C_{19}H_{34}O_4$	0.739	0.787
9	4,4'-二甲基-2,2'-二甲苯乙二环己基-3,3'-二烯	4,4'-dimethyl-2,2'-dimethyle-nebicyclohexyl-3,3'-diene	$C_{16}H_{22}$	0.575	4.712
10	2-亚甲基-5(丙烯基)-8-甲基-双环[5,3,0]癸烷	2-methylene-5(1-methylvinyl)-8-methyl-bicyclo[5,3,0]decane	$C_{15}H_{24}$	0.524	1.792
11	1,4-二乙基六氢-1,2,4,5-四嗪	1,4-diethylhexahydro-1,2,4,5-tetrazine	$C_6H_{16}N_4$	0.316	0.338

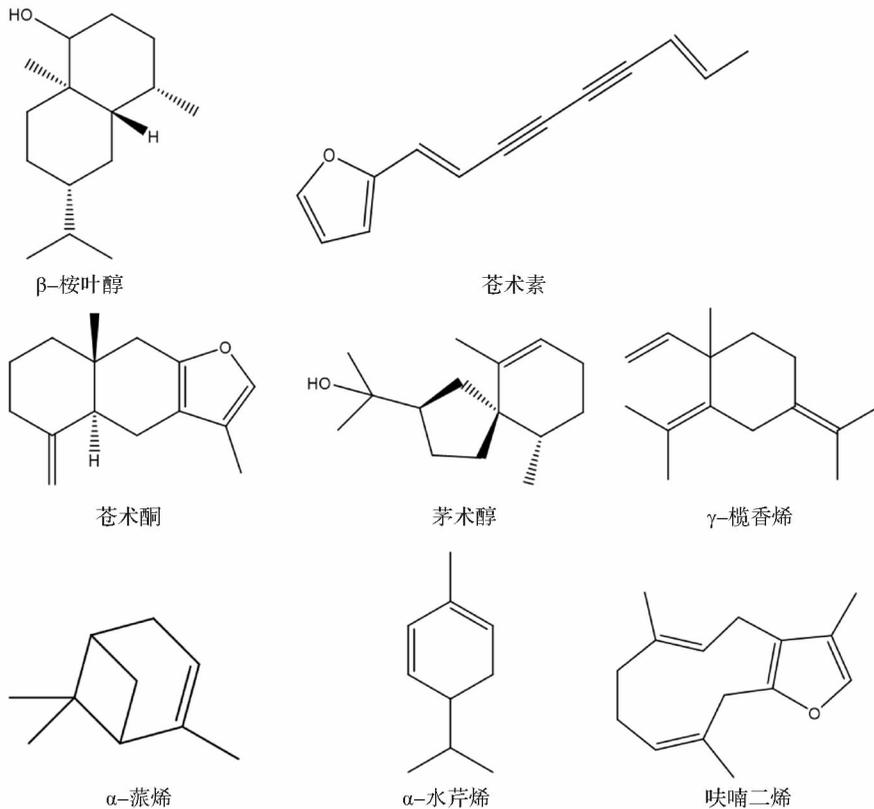


图 1 苍术挥发油主要活性成分结构

2.2 苍术挥发油合成及积累影响因素

2.2.1 基因因素

许多专家学者研究表明,苍术挥发油中的化学成分除与提取方法有关外,还受其他多种因素影响,而基因作为生命体的内在遗传因素,支撑着生命的基本构造和性能,对生物的生长发育及次生代谢起着决定性作用,故基因是影响苍术挥发油合成及积累的最主要因素。基因序列的改变,对苍术挥发油的合成与积累有着重大影响。万倩芸^[41]通过利用高效液相色谱、气相色谱以及气相色谱-质谱联用等技术来对比研究已被支原体感染的变异扁茎茅苍术和正常茅苍术挥

发油理化性质的差异性,研究结果证明,正常茅苍术的挥发油颜色比变异扁茎茅苍术的更深,呈深黄色,但挥发油含量低于扁茎茅苍术,且挥发油中有效成分苍术素、 β -桉叶醇等含量也低于扁茎茅苍术。其中苍术素为聚乙炔类化合物,其在苍术中的含量与苍术中乙酰辅酶 A 羧化酶(ACC)基因的表达有关。研究表明不同生长期北苍术 ACC 基因的相对表达量与聚乙炔类主要组分苍术素^[42]的含量呈显著正相关。孙金等^[27]便通过基因工程向北苍术中导入 ACC 基因并使其过量表达,有效提高了苍术挥发油中聚乙炔类化合物的积累。而苍术挥

发油中 β -桉叶醇和苍术酮的合成积累则主要与茅苍术根茎中萜类生物合成的关键酶基因3-羟基-3-甲基戊二酸单酰辅酶A还原酶(3-hydroxy-3-methyl glutaryl coenzyme A reductase, HMGR)、法呢基焦磷酸合酶(farnesyl diphosphate synthase, FPPS)的表达量有关^[43]。

蒋玲等^[44]研究证明FPPS是苍术挥发油中重要组分倍半萜类化合物合成途径中重要调控节点,且FPPS基因表达量与倍半萜成分量呈显著正相关,故FPPS基因的表达是影响苍术挥发油中倍半萜类化合物合成的重要因素。陆奇杰等^[43]通过灰色关联度分析发现茅苍术根茎中萜类生物合成关键酶基因HMGR、FPPS的表达量与 β -桉叶醇、苍术酮的含量关联较大,证明基因序列HMGR、FPPS的表达对茅苍术挥发油中重要成分 β -桉叶醇、苍术酮的合成积累有重要影响。

2.2.2 外部环境因素 除内在遗传因素外,外部环境因素例如:温度、光照、水分等,对苍术挥发油积累的影响同样不可忽视。夏蕴等^[45]研究发现,温度在一定程度上能影响茅苍术叶片中FPPS和HMGR基因的表达,而FPPS和HMGR是三萜类成分合成的限速酶^[46],故这两种基因的表达对苍术挥发油重要成分三萜类化合物的合成具有重大影响。同时研究结果显示在一定范围内,温度越低,FPPS和HMGR基因表达量下调得越明显。张燕等^[47]通过将苍术栽培在竹林下和露地,对比研究光照对苍术主要药效成分挥发油积累的影响,结果证明栽培在林下的苍术挥发油含量高于陆地,说明弱光环境更有利苍术挥发油的合成与积累,实验结果也间接阐释了为何野生苍术一般生于向阳或半阴半阳的山坡林下、林缘或荒坡草丛中。王玉卓等^[48]研究发现光照强度会影响茅苍术中关键酶基因HMGR和FPPS的表达,研究结果证明茅苍术叶中HMGR相对表达量随光强的增加呈下降趋势,过高的光照强度也会降低FPPS的表达量,当透光率为50%时,FPPS的表达量达到最大,随着透光率的继续增加,FPPS的表达量呈急剧下降趋势。同时光质的变化会使茅苍术本身产生了一系列的抗逆境生理反应,进而导致茅苍术生理生化特性及次生代谢物积累的变化,李强等^[49]研究发现不同的光质会对苍术挥发油4种主要成分苍术素、苍术酮、苍术醇和 β -桉叶醇成分含量有影响,并研究证明在红蓝(9:1)光照下茅苍术中这4种主要挥发油成分的含量都有所增加。水分是植物次生代谢过程中的重要影响因素^[50],故水分对苍术挥发油的合成也会产生一定影响。周秀丽^[51]通过研究水分条件对苍术素、苍术酮、 β -桉叶醇等苍术挥发油组成成分合成的影响,结果发现轻度和中度干旱胁迫可促进苍术素、苍术酮、 β -桉叶醇等成分的积累,重度干旱胁迫则使这些成分含量下降。

2.2.3 微生物因素 微生物对苍术挥发油的合成也起着重要作用,其中内生现象是一种植物与微生物共存的现象,内生菌生活在植物的组织中,可通过产生多种化学物质来影响宿主防御基因的表达和次生代谢途径,对植物的生长发育、抗逆性、适应性起着不可或缺的作用^[52]。WANG Y等^[53]研究发现内生真菌Gilmaniella sp诱导子能促进苍术植株的生长发育和次生代谢产物的合成与积累,使得其挥发油总含量得到显著提高。此外内生荧光假单胞菌*P. fluorescens*也能显著提高苍术挥发油的积累^[54]。地道苍术的内生细菌荧光假单胞菌ALEB7B能够释放甲酰胺、苯甲醛等多种含氮挥发性物质,其中该细菌主要挥发性化合物苯甲醛可通过激活植物防御反应显著促进非茅苍术中挥发油的积累^[54]。张波^[55]等通过分别接种小菌核菌AL3(*Sclerotium sp.*)、小克银汉霉AL4(*Cunninghamella sp.*)、茎点霉菌(*Phoma sp.*)、孔球孢霉AL12(*Gilmaniella sp.*)

这四种内生真菌,探究内生菌对茅苍术挥发油主要成分苍术醇、 β -桉叶醇、苍术酮、苍术素积累的影响,研究结果证明接种这四种内生菌后茅苍术挥发油主要成分均有所提高且改变了挥发油中主要成分的比例。而相较于单一接种,内生菌的复合接种更能促进茅苍术的生长和挥发油主要成分倍半萜类化合物的积累,且内生菌的组合方式不同对茅苍术产生的影响不同^[56]。有学者^[44]研究同时接种吉尔曼氏菌属AL12和小克银汉霉AL4能显著提高苍术挥发油中苍术素和苍术酮的含量,其中苍术酮的相对百分含量是对照组(不接种任何内生菌)的3倍以上。

2.2.4 炮制方法的影响 炮制指中药材以中医理论为基础,在应用或制成制剂前进行加工处理的过程。恰当的炮制方法可使药材降毒去燥,提升疗效,改善中药临床疗效^[57]。中药炮制源远流长,方法多样,是中药学精髓。目前苍术现代炮制方法主要为苍术炭、焦苍术、麸炒苍术和米泔水制苍术这4种方法^[58]。研究表明,炮制对苍术挥发油成分具有一定的影响。王婵等^[59]通过GC-MS分析经米泔水制后苍术挥发油主要成分变化,研究结果显示炮制后苍术挥发油主要成分含量大部分增加或不变,少部分下降。此外,炮制后北苍术挥发油新增7种成分,同时有9种成分消失。茅苍术挥发油组分数目在炮制后增加5种,减少的一种组分为3-甲基联苯。不同炮制方法:晒干法、烘干法、麸炒法和炒焦法均使挥发油重要成分苍术素含量有所下降,且苍术素含量依次降低^[60]。张虎等^[61]通过实验探究麸炒、米泔水制、清炒3种不同炮制方法对湖北茅苍术挥发油成分的影响,研究结果显示3种不同方法炮制后得到的苍术挥发油成分主体上基本一致,但存在一定差别。

3 药理作用

苍术作为中国古代防疫疾病的重要药材之一,具有广谱抗菌作用。苍术挥发油是苍术发挥抑菌作用的主要活性部位,是由一系列的倍半萜、聚乙烯炔类及少量的酚类和有机酸类成分组成,而倍半萜类和聚乙烯炔类成分为主要活性成分。此外,现代药理研究表明,苍术挥发油亦具有抗炎、抗肿瘤以及免疫调节等作用。

3.1 抑菌作用

王喆等^[62]通过使用苍术挥发油作用于大肠埃希氏菌、金黄色葡萄球菌和白假丝酵母3种致病菌,进行实验探究苍术挥发油的抑菌活性和作用机制。研究表明苍术挥发油对这3种供试菌都具有一定的抑制效果,且对大肠埃希氏菌表现出最强的杀菌活性。其作用机制为通过破坏菌体结构和改变细胞膜的通透性,使菌体胞内物质外泄,细菌破裂死亡,从而发挥抗菌作用。钱静漪等^[63]报道,亚抑菌浓度的苍术挥发油能够通过抑制金黄色葡萄球菌的 α -溶血素毒力基因(Hla)及其调控基因(AgrA)的表达抑制菌株凝固酶的分泌、溶血活力以及其黏附能力,进而抑制毒力因子的表达。此外,苍术提取物对人类免疫缺陷病毒(HIV)病毒也能够表现出一定的抗病毒活性^[64]。因苍术精油和苍术提取物均能对多种病菌产生抗菌作用,对苍术精油进行更深入的抗菌实验和进一步研究对于苍术挥发油的临床应用具有重要意义,也为日后制成新型抗菌产品提供思路。

3.2 抗炎作用

林雄^[65]通过给小鼠饮用葡聚糖硫酸钠(DSS)溶液建立患有溃疡性结肠炎模型小鼠来探究苍术醇提取物和苍术挥发油的抗炎作用,研究发现对模型小鼠用苍术挥发油处理后,小鼠的腹泻、便血等症状明显减轻,受损的结肠结构得到恢复,肿瘤坏死因子- α (TNF- α)、白细胞介素-1 β (IL-1 β)和白细胞

介素-6(IL-6)等炎症因子的表达受到抑制,溃疡性结肠炎症状得到改善,表明苍术挥发油对溃疡性结肠炎具有一定的药效作用。刘晓兰等^[66]研究发现溃疡性结肠炎模型小鼠经苍术挥发油给药处理后,其结肠组织中自噬基因 Beclin 1 和 P62 mRNA 表达水平都显著提高,且自噬体膜上的标记蛋白微管相关蛋白轻链 3 I (LC3 I) 和微管相关蛋白轻链 3 II (LC3 II) 的表达亦均明显上调,进一步阐明了苍术挥发油改善溃疡性结肠炎的作用机制。此外,茅苍术生品和麸炒品挥发油对人结肠上皮细胞 (HCoEpiC) 的细胞活力均有促进作用,并且能够提高抑炎因子 IL-4 的水平,降低 IL-6、IL-8 和 TNF- α mRNA 的表达和 IL-6 和 IL-8 的蛋白表达量,进而降低促炎因子 IL-6、IL-1 β 和 TNF- α 的水平^[67],发挥抗炎作用。 β -桉叶醇是苍术精油的主要成分之一,也是苍术的抗炎活性成分之一。其能够通过阻碍肥大细胞 p38 丝裂原活化蛋白激酶 (MAPKs) 和核因子 κ B (NF- κ B) 信号通路活化,进而抑制受体交互作用蛋白-2 的表达和半胱天冬酶-1 的活化,对抗佛波醇酯和钙离子载体 A23187 刺激人肥大细胞表达 IL-6 产生肥大细胞介导的炎症反应^[68]。

3.3 抗肿瘤作用

KANG T H 等^[69]研究发现苍术挥发油活性成分苍术烯内酯丙 (ALT-III) 可通过诱导半胱天冬酶-3 和半胱天冬酶-9 的激活和聚腺苷二磷酸核糖聚合酶的裂解,促进细胞色素 c 释放和凋亡基因 (bax) 表达来诱导人体肺癌细胞凋亡。同时,ATL-III 亦会抑制人脐静脉内皮细胞的增殖和毛细血管形成,从而抑制肿瘤细胞增殖,最终实现抗癌作用。PLENGSURIY-AKARN T 等^[7]用苍术挥发油对胆管癌 (CCA) 模型仓鼠进行灌胃处理,研究显示经过连续 30 天的灌胃处理后,仓鼠体内癌

细胞数量显著减少,提示苍术挥发油具有良好的抗 CCA 活性和安全性。KOTAWONG K 等^[70]研究发现从苍术挥发油中分离出的重要成分苍术素亦具有一定的抗 CCA 活性,其作用机理为促进癌细胞细胞周期滞留在 G1 期且激活蛋白酶 Caspase-3/7 来诱导肿瘤细胞凋亡,达到抗 CCA 肿瘤作用,进一步研究了苍术挥发油发挥抗 CCA 作用机制且验证了苍术挥发油具有抗 CCA 功效。对此可知,苍术挥发油对多种肿瘤细胞生长都具有一定抑制作用,且苍术挥发油由天然中药材中提取得到,相较于目前临床常用治疗癌症药物而言,其具有毒副作用小、对人体无刺激等显著优点,故苍术挥发油在抗癌方面具有巨大的应用前景和开发潜力。

除上述药理作用外,苍术挥发油还具有抗氧化^[8,71]、降血糖^[19,72]、利尿^[73]、抗溃疡^[66-67,74-75]、护心^[76]、保肝^[77]、镇痛^[78]、抗腹泻^[79]、促消化^[9]、抗骨质疏松^[80]、抗疲劳^[81] 等功效,具体详情见表 3。

4 小结与展望

苍术为我国传统中药材,取其根茎入药,性味苦温辛烈,用药历史悠久,具有燥湿健脾、祛风散寒、明目等功效。随着现代医药理论不断完善,科学技术不断发展,学者们研究发现苍术挥发油是苍术主要药效成分,也是其特色表现形式,活性更强,药效作用更突出,存在着巨大的开发潜力和应用价值。

苍术挥发油作为一类挥发性组分,其普遍存在稳定性较差的问题,同时在生产和储存过程中易自发陈化引起品质变化,临床疗效难以得到保证,因此对苍术挥发油的陈化规律、陈化机理及过程控制还需进一步研究。笔者通过文献调研也发现环境、微生物因素以及炮制方法等对苍术中挥发油成分和含量具有一定的影响,不同地理环境、微生物条件及炮制工艺的苍

表 3 苍术挥发油主要药理作用

序号	药理作用	作用机制	参考文献
1	抑菌	抑制幽门螺杆菌 (<i>H. pylori</i>) 生物膜的形成;破坏菌体结构和改变细胞膜的通透性,使菌体胞内物质外泄,细菌破裂死亡;抑制金黄色葡萄球菌的 α -溶血素毒力基因 (<i>Hla</i>) 及其调控基因 (<i>AgrA</i>) 的表达	[5,62,65]
2	抗炎	减弱脂多糖 (LPS) 诱导的一氧化氮 (NO) 和炎性细胞因子的产生且抑制了诱导型一氧化氮合酶 (iNOS) 和环氧合酶-2 (COX-2) 的表达;促进结肠组织中自噬基因 Beclin 1 和 P62 mRNA 以及自噬体膜上的标记蛋白 LC3 I 和 LC3 II 的表达;促进人结肠上皮细胞 (HCoEpiC) 的细胞活力;提高抑炎因子 IL-4 的水平,降低促炎因子 IL-6、IL-8 和 TNF- α mRNA 的表达和 IL-6 和 IL-8 的蛋白表达量;阻碍肥大细胞 p38 丝裂原活化蛋白激酶 (MAPKs) 和 NF- κ B 活化	[6,65-68]
3	抗肿瘤	诱导半胱天冬酶-3 和半胱天冬酶-9 的激活和聚腺苷二磷酸核糖聚合酶的裂解,促进细胞色素 c 释放;抑制人脐静脉内皮细胞的增殖和毛细血管形成;使癌细胞滞留在细胞周期 s 期或 G0/G1 期	[7,69-70]
4	抗氧化	提高超氧化物歧化酶 (SOD) 活力,抑制乳酸脱氢酶 (LDH) 和丙二醛 (MDA) 表达;清除二苯代苦味酰基 (DP-PH) 自由基和 [2,2'-连氮-(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)] 二氨盐 (ABTS) 自由基,还原 Fe ³⁺ 能力	[8,71]
5	降血糖	促进过氧化物酶体增殖物激活受体 γ (PPAR γ) 基因和蛋白的表达,增强脂肪形成分化;增加葡萄糖转运蛋白 4 (GLUT-4)、磷脂酰肌醇 3-激酶 (PI3K) 和胰岛素受体底物-1 (IRS-1) 的水平来促进葡萄糖转运	[19,72]
6	抗溃疡	降低白细胞介素 (IL-6) 和肿瘤坏死因子 (TNF)- α 含量;促进自噬基因 Beclin 1 和 P62 mRNA 表达和微管相关蛋白 LC3 II/I 表达;促进血清和胃中表皮生长因子 (EGF) 和三叶因子 2 (TFF2) mRNA 的表达,抑制 TNF- α 、IL-6、IL-8 和前列腺素 E 2 (PGE 2) 的产生	[66-67,74-75]
7	护心	降低 LDH 释放量和 MDA 水平,增加 SOD 活性	[76]
8	保肝	降低血清谷丙转氨酶 (AST) 和谷草转氨酶 (ALT) 水平	[77]
9	抗腹泻	通过结肠中干细胞因子 (SCF) 及其受体 c-kit 通路改善肠道运动和肠道炎症,并且通过 MLCK/MLC2 通路抑制紧密连接蛋白的减少从而达到保护屏障的作用	[78]
10	促消化	促进胃动素和胃泌素分泌,降低生长抑素和下丘脑促肾上腺皮质激素释放因子的水平,加速胃排空延迟,促进胃肠运动。	[9]
11	抗疲劳	减少血液中的尿素氮,增加肝糖原的储备	[81]

术中挥发油成分具有一定差别,因此,确定苍术原药材品类,构建质量标准,有利于促进苍术挥发油的可持续发展及应用。另外相关实验研究还须不断作出总结和创新,以便能够在已知苍术挥发油药理作用的基础上再发掘其新的药理作用,拓宽苍术挥发油的应用范围。同时,对苍术挥发油的作用机制及代谢过程进行深入研究亦非常必要,通过阐明苍术挥发油隐患风险,可以进一步增强其在临床应用上的安全性。最后,针对目前对苍术挥发油产品研究较少,且大多数集中于针对苍术挥发油抑菌作用开发产品的开发方面,未来的研究者们可以加大其他功能的开发研究,并结合现代制剂技术,深度开发苍术挥发油其他功能的产品,如利尿、促消化、护肝等方面的产品,扩大苍术挥发油现代应用领域,使传统中药更加现代化,促进科研理论成果转化落地,进一步促进中医药事业发展。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[S]. 北京:中国医药科技出版社, 2020.
- [2] 孙清廉. 健脾燥湿的圣药——苍术[J]. 家庭医学, 2021(8): 55.
- [3] 杨洋,梅全喜,张书亚,等. 苍术在癌症防治中的研究与应用[J]. 亚太传统医药, 2021, 17(8): 214-218.
- [4] 刘国庆,王春梅. 不同剂量的苍术对内镜诊疗室空气的消毒效果观察[J]. 菏泽医学专科学校学报, 2022, 34(3): 58-59, 66.
- [5] YU M, WANG X C, LING F, et al. *Atractylodes lancea* volatile oils attenuated helicobacter pylori NCTC11637 growth and biofilm[J]. Microb Pathog, 2019, 135: 103641.
- [6] JEONG Y H, LI W, GO Y, et al. *Atractylodes rhizoma alba* attenuates neuroinflammation in BV2 microglia upon LPS stimulation by inducing HO-1 activity and inhibiting NF- κ B and MAPK[J]. Int J Mol Sci, 2019, 20(16): 4015.
- [7] PLENGSURIYAKARN T, MATSUDA N, KARBWANG J, et al. Anticancer activity of *Atractylodes lancea* (thunb.) DC in a Hamster model and application of PET-CT for early detection and monitoring progression of cholangiocarcinoma[J]. Asian Pac J Cancer Prev, 2015, 16(15): 6279-6284.
- [8] GUO S S, WANG Y, PANG X, et al. Seven herbs against the stored product insect: Toxicity evidence and the active sesquiterpenes from *Atractylodes lancea* [J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2019, 169: 807-813.
- [9] DENG A P, LI Y, WU Z T, et al. Advances in studies on chemical compositions of *Atractylodes lancea* and their biological activities[J]. China J Chin Mater Med, 2016, 41(21): 3904-3913.
- [10] 石秀佳,程亚茹,龚熒婷,等. 基于环糊精包合技术提高冻干制剂中薄荷挥发油综合保留率研究[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(22): 5819-5824.
- [11] 莫秋华,易东阳,耿耘,等. 正交实验法优选茅苍术挥发油的提取工艺[J]. 西部中医药, 2020, 33(2): 34-36.
- [12] 张翼,张硕,谭永红,等. 4种不同方法提取苍术挥发油的比较研究[J]. 西南国防医药, 2018, 28(3): 201-204.
- [13] 杨凌,欧阳臻,韩丽,等. 茅苍术挥发油提取方法的比较研究[J]. 时珍国医国药, 2007, 18(5): 1078-1079.
- [14] 李剑红. 苍术中挥发油提取工艺研究[J]. 医学信息(下旬刊), 2011, 24(10): 202.
- [15] 唐裕芳,张妙玲,陶能国,等. 苍术挥发油的提取及其抑菌活性研究[J]. 西北植物学报, 2008, 28(3): 588-594.
- [16] 李欧,金尧,蔡小燕,等. 中药挥发油提取技术研究概况[J]. 中兽医医药杂志, 2017, 36(2): 30-32.
- [17] 莫秋华. 不同产地苍术挥发油提取工艺及生物活性研究[D]. 成都:西南交通大学, 2019.
- [18] ZENG C, ZHAO R B, MA M M, et al. Mutagenesis and characterization of a *Bacillus amyloliquefaciens* strain for *Cinnamomum camphora* seed kernel oil extraction by aqueous enzymatic method[J]. AMB Express, 2017, 7(1): 154.
- [19] 王一彤. 苍术挥发油对糖尿病胃轻瘫大鼠的干预研究及其微囊的制备[D]. 青岛:青岛科技大学, 2021.
- [20] WANG C X, DUAN Z H, FAN L P, et al. Supercritical CO₂ fluid extraction of *Elaeagnus mollis* Diels seed oil and its antioxidant ability[J]. Molecules, 2019, 24(5): 911.
- [21] 杨凌,欧阳臻,宿树兰,等. 茅苍术挥发油超临界萃取工艺及气质联用分析[J]. 江苏大学学报(医学版), 2007, 17(5): 393-395.
- [22] AKHTAR I, JAVAD S, YOUSAF Z, et al. Review: microwave assisted extraction of phytochemicals an efficient and modern approach for botanicals and pharmaceuticals[J]. Pak J Pharm Sci, 2019, 32(1): 223-230.
- [23] ZHAO J L, ZHANG M P, ZHOU H L. Microwave-assisted extraction, purification, partial characterization, and bioactivity of polysaccharides from *Panax ginseng* [J]. Molecules, 2019, 24(8): 1605.
- [24] 喻芬,万娜,伍振峰,等. 减压提取及其联合技术在中药挥发油中的研究进展[J]. 中草药, 2020, 51(13): 3561-3568.
- [25] ZHENG P S, HAO G X, WENG W Y, et al. Antioxidant activities of hydrolysates from abalone viscera using subcritical water-assisted enzymatic hydrolysis[J]. Food Bioprocess Technol, 2019, 12(6): 910-918.
- [26] AHMED S, ZHAN C S, YANG Y Y, et al. The transcript profile of a traditional Chinese medicine, *Atractylodes lancea*, revealing its sesquiterpenoid biosynthesis of the major active components [J]. PLoS One, 2016, 11(3): e0151975.
- [27] 孙金,翁丽丽,肖春萍. 药用植物苍术挥发油合成及积累影响因素的研究进展[J]. 中药材, 2021, 44(5): 1259-1265.
- [28] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[S]. 北京:中国医药科技出版社, 2015.
- [29] 尹莲,赵琰玲,张爱华. 不同产地北苍术挥发油成分特征研究(摘要)[C]//全国第8届天然药物资源学术研讨会, 贵州,凯里, 2008.
- [30] 武子敬,杜跃中,刘金刚,等. 北苍术挥发油成分 GC-MS 分析[J]. 人参研究, 2010, 22(3): 13-15.
- [31] 曾志,叶雪宁,庞世敏,等. 北苍术和茅苍术挥发油成分的比较[J]. 应用化学, 2012, 29(4): 470-476.
- [32] 王军亮,张立彭,魏军团. 北苍术活性成分苍术素含量的提升技术要点[J]. 农业科技与信息, 2021(17): 68-70.
- [33] 李运,张晓萍,邵长春,等. 北苍术挥发油与燃烧烟雾化学成分 GC-MS 分析[J]. 中国药学杂志, 2021, 56(8): 688-693.
- [34] 孟利娜,于敬,许静,等. 酶法辅助提取北苍术挥发油的工艺及成分分析[J]. 中成药, 2013, 35(4): 844-847.
- [35] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[S]. 北京:化学工业出版社, 2005.
- [36] 毛坤,向丽娟,张虎,等. 湖北茅苍术挥发性化学成分的研究[J]. 时珍国医国药, 2014, 25(11): 2622-2624.
- [37] 余金明,刘汉,华美玲,等. GC-MS 结合 HELP 分析茅苍术中挥发油成分[J]. 广州化工, 2010, 38(3): 114-118.
- [38] 邹小兴,黄璐琦,郭兰萍,等. 鄂西苍术挥发油成分 GC-MS 分析[J]. 中药材, 2009, 32(9): 1404-1406.
- [39] 高岩,王知斌,杨春娟,等. GC-MS 联用法分析不同产地茅苍术挥发油成分[J]. 中医药学报, 2017, 45(3): 35-38.
- [40] 逢健,姜宇璐,马善鹏,等. 基于 GC-MS 法分析比较四种苍术和白术挥发油成分的异同[J]. 亚太传统医药, 2020, 16(10):

- 60-66.
- [41] 万倩芸. 基于转录组学的茅苍术扁茎变异机制研究[D]. 武汉: 湖北中医药大学, 2019.
- [42] YIN M, XIAO C C, CHEN Y, et al. A new sesquiterpenoid glycoside from rhizomes of *Atractylodes lancea* [J]. Chin Herb Med, 2015, 7(4): 371-374.
- [43] 陆奇杰, 巢建国, 谷巍, 等. 铜胁迫对茅苍术3种药效成分积累及其生物合成2种关键酶基因表达的影响[J]. 中草药, 2019, 50(3): 710-715.
- [44] 蒋玲, 谷巍, 巢建国, 等. 濒危药用植物茅苍术法呢基焦磷酸合酶基因克隆及其表达分析[J]. 中草药, 2017, 48(4): 760-766.
- [45] 夏蕴, 巢建国, 谷巍, 等. 倒春寒胁迫与恢复对茅苍术生长、生理及关键酶基因的影响[J]. 中成药, 2020, 48(8): 2187-2191.
- [46] LIN L, LI M, LIN L, et al. FPPS mediates TGF- β 1-induced non-small cell lung cancer cell invasion and the EMT process via the RhoA/Rock1 pathway [J]. Biochem Biophys Res Commun, 2018, 496(2): 536-541.
- [47] 张燕, 櫻井美希, 杨光, 等. 不同小生境对苍术生长和4种挥发油的影响[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(21): 4142-4148.
- [48] 王玉卓, 谷宇琛, 巢建国, 等. 强光胁迫对茅苍术生长、生理生化及关键酶基因表达的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2020, 26(10): 119-127.
- [49] 李强, 姚霞, 孙楷, 等. 不同光质对茅苍术生长、抗氧化酶活性及挥发油含量的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2018, 24(10): 27-32.
- [50] MORSHEDLOO M R, CRAKER L E, SALAMI A, et al. Effect of prolonged water stress on essential oil content, compositions and gene expression patterns of mono- and sesquiterpene synthesis in two oregano (*Origanum vulgare* L.) subspecies[J]. Plant Physiol Biochem, 2017, 111: 119-128.
- [51] 周秀丽. 干旱胁迫对北苍术药效成分合成的影响及其调控机制研究[D]. 长春: 长春中医药大学, 2020.
- [52] WANI Z A, ASHRAF N, MOHIUDDIN T, et al. Plant-endophyte symbiosis, an ecological perspective[J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2015, 99(7): 2955-2965.
- [53] WANG Y, DAI C C, CAO J L, et al. Comparison of the effects of fungal endophyte *Gilmaniella* sp. and its elicitor on *Atractylodes lancea* plantlets[J]. World J Microbiol Biotechnol, 2012, 28(2): 575-584.
- [54] ZHOU J Y, LI X, ZHENG J Y, et al. Volatiles released by endophytic *Pseudomonas fluorescens* promoting the growth and volatile oil accumulation in *Atractylodes lancea* [J]. Plant Physiol Biochem, 2016, 101: 132-140.
- [55] 张波, 王宏伟, 肖逸, 等. 浸种及接种内生真菌对茅苍术种子发芽与幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(9): 227-230.
- [56] 陈飘雪, 陈飞, 袁洁, 等. 内生菌复合接种对茅苍术生长和倍半萜积累的影响[J]. 生态学杂志, 2020, 39(9): 2944-2952.
- [57] 庞素银. 浅谈古今及不同地域中药炮制的差异和对药效的影响[J]. 中医文献杂志, 2020, 38(3): 30-34.
- [58] 石佳琪, 吴松南, 张强, 等. 苍术炮制历史沿革研究[J]. 药学研究, 2021, 40(10): 660-663.
- [59] 王蝉, 赵文燕, 向茜, 等. GC-MS法分析米泔水制苍术前后挥发性成分的差异[J]. 时珍国医国药, 2022, 33(2): 357-361.
- [60] 赵娟, 王科, 杨帆. 不同炮制方法对苍术中苍术素含量及苍术特征图谱的影响[J]. 中草药, 2021, 19(4): 719-723.
- [61] 张虎, 夏新中, 向丽娟, 等. 3种炮制方法对湖北茅苍术挥发油的化学成分的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2015, 21(5): 83-87.
- [62] 王喆, 蒋圆婷, 靳羽含, 等. 苍术挥发油杀菌活性评价及抑菌机制[J]. 食品与生物技术学报, 2020, 39(12): 21-27.
- [63] 钱静漪, 王梦茹, 张宁宁, 等. 亚抑菌浓度茅苍术挥发油对金黄色葡萄球菌毒力因子表达的抑制作用初步研究[J]. 中国病原生物学杂志, 2014, 9(5): 408-411, 433.
- [64] KATO T, HORIE N, MATSUTA T, et al. Anti-UV/HIV activity of Kampo medicines and constituent plant extracts [J]. In Vivo, 2012, 26(6): 1007-1013.
- [65] 林雄. 基于MAPK/NF- κ B信号通路研究苍术对小鼠溃疡性结肠炎的药效及机制[D]. 武汉: 湖北中医药大学, 2021.
- [66] 刘晓兰, 张永忠, 张俊玲, 等. 苍术挥发油对溃疡性结肠炎大鼠的改善作用[J]. 天津医药, 2020, 48(10): 956-960.
- [67] 于艳, 贾天柱, 吴振起, 等. 麸炒茅苍术挥发油抗LPS诱导HCoEpiC炎症损伤的作用[J]. 时珍国医国药, 2021, 32(5): 1134-1139.
- [68] SEO M J, KIM S J, KANG T H, et al. The regulatory mechanism of β -eudesmol is through the suppression of caspase-1 activation in mast cell-mediated inflammatory response[J]. Immunopharmacol Immunotoxicol, 2011, 33(1): 178-185.
- [69] KANG T H, BANG J Y, KIM M H, et al. Atractylenolide III, a sesquiterpenoid, induces apoptosis in human lung carcinoma A549 cells via mitochondria-mediated death pathway [J]. Food Chem Toxicol, 2011, 49(2): 514-519.
- [70] KOTAWONG K, CHAIJAROENKUL W, MUHAMAD P, et al. Cytotoxic activities and effects of atractylodin and β -eudesmol on the cell cycle arrest and apoptosis on cholangiocarcinoma cell line[J]. J Pharmacol Sci, 2018, 136(2): 51-56.
- [71] 于艳, 贾天柱, 魏新智, 等. 麸炒前后茅苍术挥发油对缺氧/复氧损伤心肌细胞的抗氧化与抗凋亡作用[J]. 中药药理与临床, 2022, 38(1): 124-130.
- [72] HAN Y, JUNG H W, PARK Y K. The roots of *Atractylodes japonica* Koidzumi promote adipogenic differentiation via activation of the insulin signaling pathway in 3T3-L1 cells [J]. BMC Complement Altern Med, 2012, 12: 154.
- [73] 陈雯雯. 苍术麸炒前后氯仿和挥发油部位药效学及化学成分对比研究[D]. 武汉: 湖北中医药大学, 2013.
- [74] YU Y, JIA T Z, CAI Q, et al. Comparison of the anti-ulcer activity between the crude and bran-processed *Atractylodes lancea* in the rat model of gastric ulcer induced by acetic acid [J]. J Ethnopharmacol, 2015, 160: 211-218.
- [75] 李士军. 基于网络药理学研究苍术治疗胃溃疡的作用机制[D]. 石家庄: 河北大学, 2021.
- [76] 刘菊燕, 巢建国, 谷巍, 等. 茅苍术提取物含药血清对大鼠心肌细胞氧化损伤的保护作用[J]. 中成药, 2015, 37(7): 1585-1588.
- [77] 沙多依, 杭永付, 宋菲, 等. 北苍术炮制前后挥发油部位保肝作用比较研究[J]. 现代中药研究与实践, 2010, 24(4): 41-43.
- [78] CHEN L G, JAN Y S, TSAI P W, et al. Anti-inflammatory and antinociceptive constituents of *Atractylodes japonica* koidzumi [J]. J Agric Food Chem, 2016, 64(11): 2254-2262.
- [79] 谢颖. 苍术挥发油燥性效应量效关系及其对IBS-D大鼠药效与机制研究[D]. 武汉: 湖北中医药大学, 2021.
- [80] QU L H, XU Y Y, CAO G S, et al. Effects of *Atractylodes* oil on inflammatory response and serum metabolites in adjuvant arthritis rats [J]. Biomedicine Pharmacother, 2020, 127: 110130.
- [81] 胡旭光, 戴王强, 韩彬, 等. 三种中药挥发油抑菌和抗疲劳作用实验研究[J]. 现代中西医结合杂志, 2012, 21(8): 816-817, 820.