

doi:10.3969/j.issn.1006-9690.2022.12.012

## 中药沉香化学成分、药理作用及其应用研究进展

白发平<sup>1</sup>, 靳若宁<sup>2,4</sup>, 唐 硕<sup>2,3</sup>, 王 琦<sup>2,3</sup>, 黄晓德<sup>2,3</sup>, 陈 斌<sup>2,3</sup>, 童黄锦<sup>5\*</sup>

(1.南京上元堂沉香生物科技有限公司,江苏南京 210000;2.南京野生植物综合利用研究所,江苏南京 211111;  
3.江苏省天然香料工程技术中心,江苏南京 211111;4.南京师范大学,江苏南京 210023;5.南京中医药大学附属中  
西结合医院,江苏南京 210028)

**摘要** 沉香是被药典收录的传统名贵药材,含有倍半萜、色酮等化学成分,具有良好的镇静镇痛、抗菌、抗肿瘤和抑制乙酰胆碱酯酶等药理活性,因而被用于消化系统、呼吸系统、心血管系统和中枢神经系统相关疾病的治疗。本文归纳总结了沉香的化学成分及研究进展,简要介绍了沉香的药理作用、质量评价方法及临床应用的进展,为沉香的后续开发和产业规范提供科学合理的参考。

**关键词** 沉香;化学成分;药理活性

中图分类号:Q-1 文献标识码:A 文章编号:1006-9690(2022)12-0061-06

## Research and Development of Chemical Constituents and Application of Chinese Medicine Agarwood

Bai Faping<sup>1</sup>, Jin Ruoning<sup>2,4</sup>, Tang Shuo<sup>2,3</sup>, Wang Qi<sup>2,3</sup>, Huang Xiaode<sup>2,3</sup>, Chen Bin<sup>2,3</sup>, Tong Huangjin<sup>5\*</sup>

(1.Nanjing Shangyuantang Chenxiang Biotechnology Co., Ltd., Nanjing 210000, China;2.Nanjing Institute for Comprehensive Utilization of Wild Plants, Nanjing 211111, China;3.Jiangsu Natural Flavor Engineering Technology Center, Nanjing 211111, China;4.Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China;5.Affiliated Hospital of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210028, China)

**Abstract** Agarwood is a traditional and precious medicinal material included in the Pharmacopoeia. It contains sesquiterpenes, chromones and other chemical components, and has good pharmacological activities such as sedative, analgesic, antibacterial, anti-tumor and inhibition of acetylcholinesterase. So it is used to treat diseases related to digestive system, respiratory system, cardiovascular system and central nervous system. In this paper, the chemical constituents and research progress of agarwood are summarized, and the pharmacological effects, quality evaluation methods and clinical application progress of agarwood are briefly introduced, so as to provide scientific and reasonable reference for the subsequent development and industrial specification of agarwood.

**Key words** Agarwood; Chromone; Pharmacological activity

沉香是由瑞香科沉香属(*Aquilaria spp.*)植物木质部组织和植物分泌的物质共同组成,常指白木香,是广泛应用于香道、饰品及收藏品等方面的高价值木材,同时也是一种珍贵的药材<sup>[1]</sup>。沉香作为中药治疗病症最早发生在梁代,《名医别录》将其列

为木部上品<sup>[2]</sup>。历代医典和本草如汉代《华佗神方》、魏晋南北朝《雷公炮炙论》等也对沉香的药效加以记载<sup>[3]</sup>。沉香味辛、微温,能行气止痛、止呕和纳气平喘,可以使用沉香来治疗胸腹胀闷、胃寒呕吐和呼吸困难等症状<sup>[1]</sup>。沉香分泌物并不会自然分

收稿日期:2022-04-19,录用日期:2022-12-09

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFC1706400)。

作者简介:白发平(1982-),男,硕士,副主任中药师,主要从事中药饮片精细化生产及质量标准研究。E-mail:fpbai.1982@126.com

\*通讯作者:童黄锦(1983-),女,博士,副主任药师,主要从事中药质量控制及炮制机理研究。E-mail:tera\_thj@163.com

泌,只有受到如雷劈、虫咬、断枝、暴风等自然伤害或某些人为伤害时,沉香才会在伤口附近分泌多种次级代谢产物,经年累积后形成名贵药材沉香<sup>[4]</sup>。迄今为止,研究发现沉香含有倍半萜和2-(2-苯乙基)色酮等化学物质<sup>[5]</sup>,因而在镇痛镇静、抗菌、抗肿瘤和抑制乙酰胆碱酯酶上效用极佳<sup>[6,32-33]</sup>。

一般将源于中国的沉香属植物统称为沉香,在沉香属植物的15个种中我国主要为白木香和云南沉香<sup>[7]</sup>,其中代指沉香最多的白木香,主要来源于广东、海南、广西等地<sup>[8]</sup>。宋代《本草衍义》将沉香生长的场景描绘成“交干连枝,岗岭相接,千里不绝”的景象,由此可知我国历史上的野生沉香资源曾经是如此丰富<sup>[9]</sup>。但随着香道文化的兴起,沉香的价格逐年攀升甚至被称为“植物黄金”,其背后巨大的商机和利益造成人们对沉香自然资源的过度砍伐和破坏<sup>[10]</sup>。本文从现有的研究成果出发,对沉香的化学成分、药理活性进行总结,并考察其品质评价及临床应用的相关研究,为沉香的进一步开发利用提供参考。

## 1 沉香的主要化学成分

迄今为止,研究者从国产沉香中分离得到的化学成分分别为单萜、倍半萜、二萜、三萜、甾醇、黄酮、色酮、酚酸和脂肪族化合物。在这些化学组分中,倍半萜和色酮类化合物分别占沉香总量的25.6%和

52.0%,因而被视为发挥药效的主要成分<sup>[11]</sup>。

### 1.1 单萜、二萜、三萜

如表1所示,单萜类化合物具有分子量小、极性弱、化学性质相近和难以对其分离提纯的特点,国产沉香可分离得到的单萜类化合物至今仍只有(-)-bornyl ferulate(1)这唯一的一种<sup>[12-13]</sup>。二萜类化合物在分子结构上均含有强极性基团(如-OH和-COOH等),因而具有易吸收、生物活性良好的特点<sup>[14]</sup>。三萜类化合物一般是用乙醇从国产沉香提取而来,研究较多的是3-oxo-22-hydroxyhopane<sup>[15]</sup>。

### 1.2 倍半萜

沉香的主要化学成分之一的倍半萜类化合物,其相对含量会影响沉香的质量评价<sup>[16]</sup>。如表2所示,目前国内外对倍半萜类化合物的分类是将其划分为沉香螺旋烷型、沉香呋喃型、桉烷型、艾里莫酚烷型、愈创木烷型和大环倍半萜这六种骨架类型<sup>[17,33]</sup>。与单萜类相似,倍半萜类化合物也有着因其结构相似而难以进行分离提纯的问题,目前国内对沉香的主流分析方法一般为高效液相色谱法和GC-MS技术<sup>[18]</sup>。如侯冬岩等<sup>[19]</sup>采用GC-MS技术从国产沉香中成功地分离出40种化合物。袁观富等<sup>[20]</sup>通过采用固相微萃取顶空进样技术来辅助主流的GC-MS技术,成功鉴定出倍半萜类是国产沉香木精油的主要成分。此外,目前已有大量研究数据表明沉香的香气来源于倍半萜化合物<sup>[6]</sup>。

表1 单萜、二萜和三萜化合物

Tab. 1 Monoterpenoids, diterpenoids and triterpenoids from Chinese agarwood

序号	分类	化合物名称	参考文献
1	单萜	(-)-bornyl ferulate(1)	[12]
2	二萜	去氢松香酸(78)、去氢松香酸甲酯(79)、海松醇(86)、9,10-环氧化-9,10-开环去氢松香酸(89)、2 $\beta$ -羟基海松酸(100)、3 $\beta$ -羟基海松酸(101)	[14]
3	三萜	3-oxo-22-hydroxyhopane	[15]

表2 倍半萜化合物

Tab. 2 Sesquiterpenoids from Chinese agarwood

序号	骨架类型	化合物名称	参考文献
1	沉香螺旋烷型	白木香酸(2)、白木香醛(3)、沉香螺旋醇(4)、vetaspira-2(11)	[17]
2	沉香呋喃型	白木香醇(8)、异白木香醇(10)	[17]
3	桉烷型	9 $\beta$ -hydroxy-selina-4,11-dien-14-al(15)、9 $\beta$ -hydroxy-selina-3,11-dien-12-al(17)	[17]
4	艾里莫酚烷型	valerianol(38)、neopetasane(40)、	[17]
5	愈创木烷型	长松叶烯(51)、Qinanol A(54)、sinenofuranol(59)	[32]
6	大环倍半萜	4 $\beta$ -羟基-石竹烯-4-醇(60)、可布酮(62)、14-hydroxy-a-humulene(63)	[32]

### 1.3 色酮

色酮类化合物作为沉香的另一种主要化学成分,也有自己的分类标准。见表 3,一般是将其分为 5,6,7,8-二环氧-2-(2-苯乙基)色酮 (THPECS)、5,6-环氧-2-(2-苯乙基)色酮 (EPECS)、5,6,7,8-四氢-2-(2-苯乙基)色酮 (DEPECS) 和 2-(2-苯乙基)色酮 (FTPECS) 四种类型<sup>[21-22]</sup>。李远彬等<sup>[23]</sup>采用

HPLC 法发现沉香中分离的衍生物沉香四醇的平均质量分数可作为沉香品质的判定标准。高度氧化的 5,6,7,8-四氢-2-(2-苯乙基)色酮性质独特,只有在沉香中才能检测到,已被用于沉香质量优劣的鉴别,并以此为基础建立了沉香高效液相色谱 (HPLC) 指纹图谱和部分色酮成分的定量技术<sup>[6,24]</sup>。

表 3 色酮类化合物

Tab. 3 Chromone compounds in Chinese agarwood

序号	骨架类型	化合物名称	参考文献
1	THPECS	沉香四醇、沉香色酮 A、沉香四醇 B、沉香色酮 D、沉香色酮 E	[21]
2	EPECS	5,6-环氧-7,8-二羟基-2-[2-(3-羟基-4-甲氧基)苯乙基]-5,6,7,8-四氢色酮、5,6-环氧-7,8-二羟基-2-[2-(4-甲氧基)苯乙基]-5,6,7,8-四氢色酮、5,6-环氧-7,8-二羟基-2-(2-苯乙基)-5,6,7,8-四氢色酮	[23]
3	DEPECS	oxidoagaroe hromone C、oxidoagaroe hromone B、oxidoagarochromone A	[23]
4	FTPECS	6-羟基-2-[2-(4-羟基)苯乙基]色酮、6,8-二羟基-2-[2-(4-甲氧基)苯乙基]色酮、2-[2-(3-甲氧基-4-羟基)苯乙基]色酮、8-羟基-2-(2-苯乙基)色酮、6-羟基-2-[2-(4-甲氧基)苯乙基]色酮	[23]

### 1.4 其他化学成分

不同来源或不同产地的沉香在化学成分的组成上不尽相似,但目前的研究表明其成分大多以倍半萜和芳香族化合物为主,其中芳香族类成分中含量较高且研究较多的是具有镇咳祛痰、平喘功效的苜基丙酮<sup>[25]</sup>。脂肪酸类成分较少,仅在叶、花和果实中有较高的表达水平<sup>[26]</sup>。黄酮类和色酮类化合物结构相似,目前仅分离出 5-羟基-7,4'-二甲氧基黄酮<sup>[27]</sup>。此外,沉香中还检测到存在着一些甾醇类化合物、酚酸类化合物和脂肪族类化学成分<sup>[28]</sup>。

## 2 中药沉香研究进展

### 2.1 药理活性

沉香含有芳香族和倍半萜类等化合物,具有镇静镇痛、抗菌、抗肿瘤和抑制乙酰胆碱酯酶等药理活性,是具有极高药用价值的中药材。

#### 2.1.1 镇痛镇静

沉香具有行气止痛之效,中医上将其归为行气药的一种。同时,现代研究显示沉香具有良好的镇静镇痛药理作用。熊礼燕等<sup>[29]</sup>对沉香总提物检测镇痛相关药效评价,发现沉香总提物和沉香正丁醇部分均有明显的镇痛活性。王帅等<sup>[30]</sup>研究发现“通体结香技术”所产沉香镇静效果良好,具有催眠作用。

#### 2.1.2 抗菌

沉香具有抗菌功效,其叶提取液抗菌能力极强,目前已在食品中应用以起到防腐除臭的效

果<sup>[31]</sup>。雷智东等<sup>[29]</sup>研究发现使用乙酸乙酯提取沉香中的活性成分可使其获得更佳的抗菌活性。Dahham 等<sup>[32]</sup>检测发现从沉香提取物中分离得到的  $\beta$ -石竹烯能抑制两种真菌和六种人类致病菌的生长。

#### 2.1.3 抗肿瘤

沉香提取物具有较强的抗肿瘤活性,可对多种肿瘤细胞系产生抑制作用,具有良好的治疗前景。Hashim 等<sup>[33]</sup>检测出沉香精油对人乳腺癌细胞 (MCF-7) 的抑制作用很强。陈晓颖等<sup>[34]</sup>发现氯仿提取的人工沉香化学组分对四种肿瘤细胞株的抗肿瘤活性优于天然沉香。郭佩怡等<sup>[35]</sup>研究发现,能对人相关肿瘤细胞系具有细胞毒性的沉香化合物多达 16 种。其他研究也发现 2-(2-苯乙基)色酮二聚体类化合物可以对人骨髓性白血病细胞系 (K562) 产生抑制作用<sup>[36]</sup>。

#### 2.1.4 抑制乙酰胆碱酯酶

近年来对沉香化学成分的分析显示,沉香对乙酰胆碱酯酶的抑制活性极好。研究发现,如 6,7-二甲基-2-(2-苯乙基)色酮、5-羟基-6-甲氧基-2-[2-(3-羟基-4-甲氧基苯基)乙基]色酮和 oxidoagarochromone B 等化合物对乙酰胆碱酯酶的抑制率最高可达 70.7% 之多,相比之下 6-羟基-2-[2-(4-甲氧基苯基)乙基]色酮、6-羟基-2-[2-(3-甲氧基-4-羟基苯基)乙基]色酮和 Qinanone E 等化合物的抑制活性就较弱一些<sup>[37-38]</sup>。截至近年研究者已确定 30 个倍半萜类化合物和 21 个色酮类化合物均在不同程

度上参与了对乙酰胆碱酯酶活性的抑制<sup>[39-40]</sup>。此外,两广地区已有民间使用沉香作为乙酰胆碱酯酶抑制剂治疗神经退行性疾病的案例<sup>[40]</sup>。

### 2.1.5 其他作用

此外,沉香中的化学成分还可以被用于抗炎、抗氧化、降糖、抗抑郁等治疗中。Chen等<sup>[41]</sup>和Zhao等<sup>[42]</sup>发现沉香中的色酮类化合物和倍半萜类化合物均具有显著的抗炎效果。熊礼燕等<sup>[43]</sup>发现沉香提取物可在一定程度上减轻H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>对细胞造成的氧化损伤。Liao等<sup>[39]</sup>研究发现色酮类化合物对葡萄糖苷酶产生了抑制。Yang等<sup>[44]</sup>发现oxidoagarochrome B可显著抑制5-羟色胺的再摄取以获得体外抗抑郁活性。

## 2.2 品质评价

### 2.2.1 沉香鉴定

沉香因产地的不同而种类繁多,其市售质量参差不齐,伪品劣品层出不穷<sup>[45]</sup>。随着对沉香化学成分研究的深入,沉香药材品质的鉴别方法逐渐完善,《中华人民共和国药典》中已经收录了一整套对药材性状、化学成分和提取物性质的理化鉴别方法<sup>[46]</sup>。木材识别可以直观地对沉香品质进行考察,但最主要的鉴定方式还是对沉香进行香气鉴定、乙醇提取物含量检测、显色反应、光谱法和色谱法等。沉香四醇的检测是药典规定的最典型的检测方式,具有操作简单,结果直观等优点,能严格的评判正品沉香的颜色和性状变化<sup>[1]</sup>。紫外光谱和红外光谱的鉴定结果需要其他判定结果辅助判断,局限性较大<sup>[47]</sup>。色谱法能兼具分离、鉴别、量化的三重功能,目前对色谱法鉴别沉香质量的方式主要是通过建立沉香色谱指纹图谱进行质量评价。

GC-MS技术灵敏度高,常用于对倍半萜类化合物、芳香族化合物和色酮类化合物的分析与鉴别。Hung等<sup>[48]</sup>通过萃取联用GC-MS对沉香进行了系统的分类。张倩等<sup>[49]</sup>以高效液相色谱法为基础建立了沉香药材的HPLC-DAD特征图谱。黄欣佩等<sup>[50]</sup>以GC-MS技术为基础建立了天然沉香香气成分指纹图谱。Gao等<sup>[51]</sup>除了建立了人工沉香的指纹图谱外,还找到了22个代谢标志物。这些图谱的建立为沉香的品质评价提供了可靠的参考,但仍需进一步探索。

### 2.2.2 沉香的质量分级

沉香具有独特的香味和药效,一般情况下其分泌物含量越高品级越好,质量越优良。目前对市售沉香的评价方法主要是基于密度、油格、醇提物含

量和特征化学成分含量进行考察与鉴定。2015版《中国药典》将进口沉香分为一级、二级、三级<sup>[52]</sup>。海南省以醇提物和色酮成分的含量为标准将沉香分为特级、一级、二级、三级、四级<sup>[53]</sup>。福建省则根据密度将野生沉香分为特级、A级、B级、C级总计四个等级<sup>[54]</sup>。

## 2.3 临床应用

沉香作为传统中药,常将其应用于消化、呼吸、心血管系统相关疾病的临床治疗。

### 2.3.1 消化系统疾病

周永标<sup>[55]</sup>研究沉香对肠平滑肌的药理作用发现沉香提取物可抑制乙酰胆碱引起的胃肠道紧张性痉挛。Sato K等<sup>[56]</sup>发现沉香提取分离的化学物质苍术醇可用于治疗胃部疾病。陈斌等<sup>[57]</sup>以沉香提取物为主要药物成分自拟补脾益气活血止痛方,研究发现其在治疗慢性胃炎上具有显著疗效。惠德生等<sup>[58]</sup>研究发现四磨汤联药配合马来酸曲美布汀有助于功能性消化不良的治愈。莫平等<sup>[59]</sup>研发加味沉香散并在临床中观察到本处方能有效治疗消化性溃疡。刘慧莉<sup>[60]</sup>通过随机平行对照研究发现六磨汤能治疗便秘型肠易激综合症。毛丽华等<sup>[61]</sup>研究沉香成分对便秘的治疗时发现五磨饮经方的使用能治疗慢传输型便秘。

### 2.3.2 呼吸系统疾病

沉香中含有的苜基丙酮具有止咳,止喘效果<sup>[62]</sup>。刘雪松等<sup>[63]</sup>使用沉香饮治疗喘息型支气管炎引发的咳嗽。张华军等<sup>[64]</sup>使用香味定喘汤治疗支气管哮喘和改善心肺功能。胡瑞霞等<sup>[65]</sup>以八味散等治疗慢性阻塞性肺部病。

### 2.3.3 其他疾病

沉香相关药剂具有抗心肌缺血、镇静镇痛的功效<sup>[66]</sup>,能增强心肌细胞的耐缺氧作用<sup>[67]</sup>,并有效对抗心律失常、心肌缺血等病症,因而被用来治疗冠心病<sup>[68]</sup>、心绞痛和慢性高原病<sup>[69]</sup>。此外,沉香散还可用于对前列腺痛、尿结石和阿尔兹海默症的治疗<sup>[70-71]</sup>。

## 3 总结与展望

从沉香中可分离得到单萜、倍半萜、二萜、三萜、甾醇、黄酮、苜基丙酮、色酮、酚酸和脂肪族化合物等化学成分,其中最重要且含量最多的化学成分是倍半萜和色酮。研究表明这些化合物均具有优良的镇静镇痛、抗菌、抗肿瘤和抑制乙酰胆碱酯酶等药理作用,因而被广泛地应用于治疗消化、呼吸、

心血管和神经几大系统的相关疾病。近年来,研究人员对沉香化学成分及其药理活性的研究逐渐深入,但对沉香相关质量标准的鉴别方法目前仍未完成和统一,其质量评价的标准仍需完善。因此,今后需要继续完善相应的基础理论和作用机制,深入研究其药效物质,逐步建立沉香质量控制标准,为后续沉香新药的研发提供科学依据。

#### 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: 185-186.
- [2] 陶弘景. 本草经集注[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1994: 256.
- [3] 邓乔华, 范会云, 吴江祝. 高贵而灵动的结晶: 沉香[J]. 生命世界, 2021, 6: 1.
- [4] 李凯明, 马清温, 孙震晓. 中药沉香主要化学成分与质量评价研究进展[J]. 中国新药杂志, 2017, 26(13): 1538-1545.
- [5] Chen H Q, Wei J H, Yang J S, et al. Chemical constituents of agarwood originating from the endemic genus *Aquilaria* plants [J]. Chem. Biodivers, 2012, 9, 2: 236-250.
- [6] Naef R. The volatile and semi-volatile constituents of agarwood, the infected heartwood of *Aquilaria* species: A review[J]. Flavour Frag J, 2011, 26(2): 73-87.
- [7] 吴征镒. 中国被子植物科属综论[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 590.
- [8] 李林海, 寿海洋, 马清温. 土沉香(瑞香科)的地理分布研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(17): 9254-9256.
- [9] 寇宗爽. 本草衍义[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2012: 53.
- [10] 寿海洋, 马清温, 刘颇. 土沉香小孢子发生与雄配子体发育的细胞学观察[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(4): 92-96.
- [11] 彭德乾, 王灿红, 刘洋洋, 等. 沉香的化学成分及其药理活性的研究进展[J]. 中国现代应用药学, 2021, 38(3): 358-365.
- [12] Hou W B, Li W, Li Q, et al. Research progress on saturated vapor pressure of turpentine components [J]. Technol Dev Chem Ind, 2016, 45(12): 14-18.
- [13] 杨林, 乔立瑞, 谢丹, 等. 国产沉香中的倍半萜类和单萜类化学成分[J]. 中国中药杂志, 2012, 37(13): 1973-1976.
- [14] 董瑞华, 高洪志, 刘泽源. 唇形科香茶菜属二萜类化合物生物活性研究进展[J]. 中国药房, 2010, 21(7): 651-653.
- [15] 林立东, 戚树源. 国产沉香中的三萜成分[J]. 中草药, 2000, 2: 11-12.
- [16] Li W, Liao G, Dong W H, et al. Sesquiterpenoids from Chinese agarwood induced by artificial holing [J]. Molecules. 2016, 21(3): 274-282.
- [17] Huo H X, Zhu Z X, Pang D R, et al. Anti neuro inflammatory sesquiterpenes from Chinese eaglewood[J]. Fitoterapia, 2015(106): 115-121.
- [18] 靳艳, 张卫, 胡政, 等. 色谱在天然产物活性物质筛选中的应用[J]. 色谱, 2004, 6: 616-619.
- [19] 侯冬岩, 回瑞华, 肖海燕. 国产沉香的固相微萃取气相色谱-质谱分析[J]. 鞍山师范学院学报. 2010, 12(6): 44-46.
- [20] 袁观富, 樊亚鸣, 何芝洲. 海南沉香精油挥发性成分的GC-MS测定及分析[J]. 广州大学学报. 2012, 11(5): 40-45.
- [21] Li J, Chen D, Jiang Y, et al. Identification and quantification of 5, 6, 7, 8-tetrahydro-2-(2-phenylethyl) chromones in Chinese eaglewood by HPLC with diode array detection [J]. J Sep Sci, 2013, 36(23): 3733-3740.
- [22] Yang J, Dong W, Kong F, et al. Characterization and analysis of 2-(2-phenylethyl)-chromone derivatives from agarwood by artificial holing for different times[J]. Molecules, 2016, 21(7): 911.
- [23] 李远彬, 王羚郦, 邓幸运. 沉香的醇浸出物和沉香四醇含量测定及品质分类[J]. 中国实验方剂学杂志. 2017, 23(15): 70-75.
- [24] 陈媛邹, 献武, 李改云. 野生沉香的鉴别方法[J]. 林业科学, 2017, 53(9): 91-96.
- [25] Hashim H Y, Kerr P G, Abbas P, et al. *Aquilaria* spp. (agarwood) as source of health beneficial compounds: a review of traditional use, phytochemistry and pharmacology [J]. J Ethnopharmacol, 2016, 189: 331-360.
- [26] 易博, 张力军, 冯世秀. 国产沉香挥发性化学成分的研究[J]. 解放军药学报. 2015, 31(2): 100-105.
- [27] Li W, Mei W L, Zuo W J, et al. Chemical constituents of Chinese agarwood induced by artificial holing [J]. J Trop Subtrop Bot, 2016, 24(3): 342-347.
- [28] 雷智东. 沉香抗菌活性成分的研究[D]. 广东: 广东药学院, 2015.
- [29] 熊礼燕, 姬国玺, 林励. 沉香镇痛有效部位及其物质基础研究[J]. 时珍国医国药, 2014, 25(8): 1842-1844.
- [30] 王帅, 周岳, 马富超. 通体沉香对小鼠催眠和自主活动抑制作用[J]. 国际药学研究杂志, 2016, 43(6): 1082-1087.
- [31] 廖建良, 吴国祥, 曾令达. 沉香提取物的抑菌活性[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(6): 285-287.
- [32] Dahham S S, Tabana Y M, Iqbal M A, et al. The anticancer, antioxidant and antimicrobial properties of the sesquiterpene  $\beta$ -caryophyllene from the essential oil of *Aquilaria crassna* [J]. Molecules, 2015, 20(7): 11808-11829.
- [33] Hashim Y Z H, Phirdaous A, Azura A. Screening of anticancer activity from agarwood essential oil [J]. Pharmacognosy Res, 2014, 6(3): 191-194.
- [34] 陈晓颖, 黄跃前, 陈玉婵, 等. 沉香挥发性成分与其抗肿瘤活性的灰色关联度分析[J]. 中成药, 2018, 40(1): 224-227.
- [35] 郭珮怡. 国产沉香小极性化学成分的研究[D]. 北京: 中央民族大学, 2015.
- [36] Yang Y, Mei W L, Kong F D, et al. Four new bi-2-(2-phenylethyl) chromone derivatives of agarwood from *Aquilaria crassna* [J]. Fitoterapia, 2017, 119: 20-25.
- [37] Li W, Cai C H, Dong W H, et al. 2-(2-phenylethyl) chromone derivatives from Chinese agarwood induced by artificial holing [J]. Fitoterapia, 2014, 98: 117-123.
- [38] Yang D L, Mei W L, Zeng Y B, et al. 2-(2-phenylethyl) chromone derivatives in Chinese agarwood "Qi-Nan" from *Aquilaria sinensis* [J]. Planta Med, 2013, 79(14): 1329-1334.
- [39] Yang D L, Li W, Dong W H, et al. Five new 5, 11-epoxyguaiane sesquiterpenes in agarwood "Qi-Nan" from *Aquilaria sinensis* [J].

- Fitoterapia, 2016, 112: 191-196.
- [40] 霍会霞, 孙慧, 张云封, 等. 中药沉香的药理作用和质量控制研究进展[J]. 中国医院用药评价与分析, 2018, 18(2): 152-155, 159.
- [41] Chen D, Xu Z, Chai X, et al. Nine 2-(2-Phenylethyl)chromone derivatives from the resinous wood of *Aquilaria sinensis* and their inhibition of LPS-induced NO production in RAW 264.7 cells[J]. Eur J Org Chem, 2012, 2012(27): 5389-5397.
- [42] Zhao H, Peng Q, Han Z, et al. Three new sesquiterpenoids and one new sesquiterpenoid derivative from Chinese eaglewood [J]. Molecules, 2016, 21 (3): 281.
- [43] 熊礼燕, 李丽月, 林励, 等. 沉香挥发油对H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>致PC12细胞氧化损伤的保护作用[J]. 中药新药与临床药理, 2014, 25(1): 28-32.
- [44] Yang L, Qiao L, Ji C, et al. Antidepressant abietane diterpenoids from Chinese eaglewood[J]. J Nat Prod, 2013, 7(2): 216-222.
- [45] 黄绍均. 沉香及其劣质品、伪品的鉴别[J]. 中国实用医药, 2012, 7(7): 224-225.
- [46] 张兴丽, 刘洋洋, 陈宏降, 等. 白木香的木质部结构及组织化学研究[J]. 山东大学学报理学版, 2012, 47(7): 1-5.
- [47] 尚丽丽, 陈媛, 晏婷婷, 等. 沉香的化学成分和品质评价研究进展[J]. 木材工业, 2018, 32(3): 29-33.
- [48] Hung C H, Lee C Y, Yang C L, et al. Classification and differentiation of agarwoods by using non-targeted HS-SPME-GC/MS and multivariate analysis[J]. Anal Methods, 2014, 6(18): 7449-7456.
- [49] 张倩, 霍会霞, 顾宇凡, 等. 沉香药材 HPLC-DAD 特征图谱研究[J]. 中国医药学志, 2015, 50(3): 213-216.
- [50] 黄欣佩, 樊云飞, 陈晓东, 等. 天然沉香香气成分的 SHS-GC-MS 指纹图谱研究[J]. 广东药学院学报, 2015, 31(6): 737-744.
- [51] Gao X, Xie M, Liu S, et al. Chromatographic fingerprint analysis of metabolites in natural and artificial agarwood using gas chromatography-mass spectrometry combined with chemometric methods [J]. J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci, 2014, 9(67): 264-273.
- [52] 陈媛, 邹献武, 黄洛华, 等. 10 批次伪品沉香鉴别方法的相关性[J]. 林业科学, 2017, 53(4): 113-120.
- [53] DB46/T 422-2017, 沉香质量等级[S].
- [54] T/FJEA 001-2017, 天然沉香分级规范[S].
- [55] 周永标. 沉香对肠平滑肌的药理作用[J]. 中药通报, 1988, 13(6): 40-42.
- [56] Satoh K, Nagai F, Kano I. Inhibition of H<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATPase by hinesol, a major component of So-jutsu by interaction with enzyme in the E1 state[J]. Biochem Pharmacol, 2000, 59(7): 881-886.
- [57] 陈斌, 李陈泉. 自拟补脾益气活血止痛方治疗慢性胃炎 368 例疗效分析[J]. 中外医学研究, 2011, 9(22): 71-72.
- [58] 惠德生. 四磨汤配合马来酸曲美布汀治疗功能性消化不良 46 例[J]. 陕西中医, 2013, 34(9): 1129.
- [59] 莫平. 自拟加味沉香散治疗消化性溃疡 65 例疗效观察[J]. 云南中医中药杂志, 2009, 30(6): 39.
- [60] 刘慧莉. 六磨汤治疗便秘型肠易激综合症随机平行对照研究[J]. 实用中医内科杂志, 2013, 27(4): 57.
- [61] 毛丽华, 肖天保. 经方活用治疗慢传输型便秘的疗效观察[J]. 亚太传统医药, 2011, 7(9): 101.
- [62] 田燕泽, 秘效媛, 朴香兰. 沉香的化学成分、药理活性与临床应用研究进展[J]. 中央民族大学学报(自然科学版), 2010, 19(1): 77-81.
- [63] 刘雪松. 沉香饮联合沙丁胺醇雾化吸人与对症治疗慢性喘息型支气管炎随机平行对照研究[J]. 实用中医内科杂志, 2014, 28(8): 110-112.
- [64] 张华军, 马伟丽. 香味定喘汤治疗支气管哮喘随机平行对照研究[J]. 实用中医内科杂志, 2014, 28(10): 59.
- [65] 郭桂玲. 浅谈蒙药八味沉香散治疗支气管哮喘的临床疗效[J]. 世界最新医学信息文摘, 2017, 17(7): 142.
- [66] 毕力格, 满达, 白音夫. 八味清心沉香胶囊与散剂对动物心血管与镇静作用的对比研究[J]. 中国民族医药杂志, 2007, 17(3): 64-65.
- [67] 程振芳, 满达, 张红玥, 等. 沉香八味散抗心肌缺血的实验研究[J]. 中国民族医药杂志, 2001, 7(2): 36.
- [68] 甘咏梅. 藏药三十五味沉香丸治疗冠心病临床疗效观察[J]. 中国民族医药杂志, 2007, 13(8): 24.
- [69] 马金梅, 马生龙, 李晓娜, 等. 二十味沉香丸对暴露在低压低氧下的大鼠肺动脉压及其肺组织中 VEGF 的影响[J]. 华西药理学杂志, 2018, 33(1): 4-7.
- [70] 叶伯鑫. 沉香在泌尿系结石中的临床应用初探[J]. 光明中医, 2011, 26(10): 2120.
- [71] 王晖. 中西医结合治疗前列腺痛的疗效观察[J]. 中国医学创新, 2010, 7(9): 94.