

木兰科植物精油的研究进展

木楠¹, 朱开甫^{1*}, 董君¹, 李仕裕², 董华政²

(1. 广东神州木兰园林有限公司, 广东广州 510642; 2. 湛江市神州木兰园林有限公司, 广东湛江 524148)

摘要 木兰科植物树形优美, 花大艳丽, 具有非常高的开发利用价值和广阔的市场前景。综述了木兰科植物精油的提取方法和分析方法, 分析了木兰科植物精油及其主要成分的生物活性, 旨在探索木兰科植物更高的经济价值, 扩大其在医药、化工和食品保藏等领域中的应用, 为其今后的保护性应用提供参考。

关键词 木兰科植物; 精油; 成分; 生物活性

中图分类号 TQ 654⁺.2 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)03-0001-07

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.03.001



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Advances in the Essential Oil of Magnoliaceae Plants

MU Nan, ZHU Kai-fu, DONG Jun et al (Guangdong Shenzhou Magnoliaceae Garden Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510642)

Abstract Magnoliaceae plants have beautiful tree shape and big and gorgeous flowers, which have very high development and utilization value and broad market prospect. The extraction and analysis methods of essential oil from Magnoliaceae plants were reviewed, and the biological activities of essential oil and its main components were analyzed. The aim is to explore its higher economic value, expand its application in the fields of medicine, chemical industry and food preservation, and provide reference for its protection application in the future.

Key words Magnoliaceae plants; Essential oil; Components; Biological activities

人类使用植物精油防治疾病可以追溯至公元前 4500 年, 古埃及人使用一种普通的浸渍方法, 从芳香植物中萃取出精油。薰香有可能是最早使用的方法之一。古埃及人沐浴后用芳香油进行按摩, 起到保护肌肤的作用。而利用芳香油进行按摩, 一直是印度民间医学的一个重要组成部分。中国早在殷商甲骨文中就有熏燎、艾蒸的记载, 至周代就有佩带香囊、沐浴兰汤的习俗。12 世纪著名的神秘主义者和治疗师 Hildegard 写下了许多用芳香油涂在皮肤上治疗身体内部疾病的方法。阿拉伯医生 Avicenna(980—1037 年) 经过多年努力, 首先发明了水蒸气蒸馏法, 从玫瑰花中蒸出了玫瑰油, 堪称现代蒸馏法提取精油的先驱。这使得工业化生产精油成为可能, 在 1500—1600 年大约生产出了 170 种精油^[1-3]。

近年来, 由于合成添加剂普遍存在的毒理效应和不断增强的细菌耐药性, 引发了消费者对其安全性与实用性的质疑和排斥, 人们迫切需要寻找安全高效兼具良好感官体验的替代品^[4]。植物精油被认为安全无毒, 没有潜在的副作用, 具有经过大量研究验证的良好抗氧化、抗菌、抗肿瘤和提高人体免疫力等生理活性, 且有着合成香料无法替代的独特芳香, 同时满足了消费者对功能特性和感官品质的双重需求, 因此被认为是合成添加剂理想的天然替代品, 在食品、医药和化妆品等领域开发应用前景广阔。木兰科(Magnoliaceae) 作为被子植物的原始类群, 在植物进化系统中占有重要地位^[5]。且木兰科植物中有许多种类是我国两千年以来的传统药材, 疗效显著。木兰科植物不但是常用的中药材, 还属于我国国家中药保护品种之一, 也是世界公认的珍贵树种之

一, 分布在世界各地, 具有极高的科研价值, 其种类繁多、种质资源极为丰富, 不仅在药用、木材、化工原料等方面具有多种经济效益, 而且对于绿化美化环境、维持生态平衡有着很高的贡献^[6]。因此, 研究木兰科植物精油提取方法和分析方法, 以及木兰科植物精油主要成分的生物活性不仅能够促进人们对于木兰科资源的认识 and 了解; 更能够促进该类群资源的综合开发利用, 实现资源优势向产业优势、经济优势的转化, 进而助力木兰科这一重要植物资源的可持续发展。

1 木兰科植物

中国是木兰科植物现代的分布和起源中心, 原始种、特有种、子遗种较多, 目前还在不断发现新的种类^[7]。根据木兰科的化石记录、系统发育和现代分布, 推测其起源时间为早白垩纪, 甚至更早^[8]。我国栽培木兰科植物已有 2 500 多年的历史, 玉兰、紫玉兰等早在唐代就已传入日本, 而后传到欧美各地。中国是木兰科植物资源最丰富的国家。是名副其实的“木兰王国”。大多数木兰科植物树形优美, 花大艳丽, 高洁典雅, 芬芳怡人, 具有较强的观赏性, 因而具有非常高的开发利用价值和广阔的市场前景^[9]。木兰科植物多乔木, 少灌木, 多数花具有香味^[10-11], 在医药、化工产品开发和生物多样性保护研究等方面有着非常重要的意义^[12]。然而, 因其经济价值极高, 曾被破坏性采伐, 导致植株数量急剧减少, 而该植物生长缓慢、自然更新能力十分有限, 许多种类的生存受到严重威胁^[7]。近年来, 随着我国环保政策的实施和居民意识的提高, 木兰科植物的保护性利用再一次成为人们关注的焦点。

2 植物精油

植物精油(essential oils) 是存在于植物不同组织如果实、叶片、花和根中的一类重要的次生物质, 由分子量较小的简单化合物组成, 常温下多为油状液体, 易挥发, 具有强烈的香味和气味^[13]。在商业上称“芳香油”, 医药上称“挥发

基金项目 广东省教育部产学研结合项目(2012B091000122)。

作者简介 木楠(1988—), 男, 河南周口人, 工程师, 硕士, 从事木兰科植物迁地保育与产业化研究。* 通信作者, 教授, 从事木兰科植物资源保育研究。

收稿日期 2021-05-06

油”^[14]。植物精油所含成分比较复杂,一种精油常常有数十种到数百种成分组成,精油的成分类型一般分为4种,即脂肪族化合物、萜类化合物、芳香族化合物、含硫含氮化合物,其中多见的是萜类化合物^[15]。木兰科植物的花大多具有芳香气味,可提制浸膏,叶、茎、树皮可提炼精油,可调配各种花香香精、化妆香精、香水等^[16]。已有资料显示:木兰科植物精油普遍存在 α -蒎烯、 β -蒎烯、芳樟醇、香桉烯、茨烯、 β -石竹烯、柠檬烯、 α -侧柏烯等成分^[17-20],这些成分多为药用活性成分,具有抗炎、抗菌、镇咳、祛痰、平喘、镇痛、杀虫、驱虫等作用^[21]。

3 木兰科植物精油提取与成分分析

3.1 木兰科植物精油的提取方法 由表1可知,用于提取木兰科植物精油的方法很多,较为传统的有水蒸气蒸馏法、有机溶剂浸提法、榨磨法和吸附法。受工艺条件限制,传统法极易破坏天然香料中某些热敏性或不稳定成分,而使香味失真,但传统方法提取装置简单,成本低廉,所以仍被广泛使用。利健文^[12]采用水蒸气蒸馏法分别提取了含笑属植物(10种)、木莲属(11种)、单性木兰属(1种)、拟单性木兰属(1种)、盖裂木属(1种)共24种木兰科植物精油,并用GC-MS分析精油的成分及其相对百分含量。曹奇龙等^[22]用水蒸气蒸馏法(SD)提取乳源木莲叶中的挥发油并成功应用于精油成分分析。毕和平等^[23]采用水蒸气蒸馏法提取海南木莲叶挥发油用于化学成分研究。闫浩等^[24]以生长于海南霸王岭区域的香子含笑新鲜叶片为原料,经水蒸气蒸馏法提取其挥发性物质。刘虹宇等^[25]采用水蒸气蒸馏法分别从白玉果壳和种子中提取挥发油用于GC-MS分析挥发油成分。马惠芬等^[26]采用水浴加热-反相柱吸附提取天目木兰的挥发性物质用于化学成分分析。

随着科技的进步,改良后的传统技术与新技术被广泛用于木兰科植物精油的提取,如同时蒸馏萃取法(SDE)、超临

界流体提取法、固相微萃取法、超声波提取法、微波辅助无溶剂萃取法和闪式提取器法等。华梅等^[27]采用同时蒸馏萃取法(SDE)对长蕊木兰叶片中挥发油进行提取,同时采用气相色谱-质谱(GC-MS)联用技术对挥发油中化学成分进行分析。王心宇等^[28]以乙醚和二氯甲烷为提取溶剂,同时采用蒸馏萃取法(SDE)提取了白兰花挥发油。汪洪武等^[29]采用超临界二氧化碳成功萃取含笑花的挥发油成分并用于气相色谱-质谱分析。王妍等^[30]以自制微波辅助无溶剂萃取装置成功提取白玉兰花挥发油并用于GC-MS分析。陆宁等^[31]采用固相微萃取技术成功提取白兰精油。刘世彪等^[32]采用超声波辅助法提取了木兰科植物华中木兰和乐昌含笑的种子油。新的提取技术往往能缩短提取的时间,但是提取成本一般也较传统方法高。

3.2 木兰属植物精油成分分析 由表1可知,目前用来分析精油成分的方法很多,如:化学鉴定法、紫外-可见分光光度法、制备色谱法、高效液相色谱-质谱联用法(HPLC-MS)、气相色谱-质谱联用法(GC-MS)、核磁共振波谱法(NMR)。但不同的方法都有其特点,在实际应用中应根据不同的精油的特点,选择合适的分析方法^[33]。气相色谱-质谱联用法在精油成分分析上被运用最广泛,国内外对木兰科植物精油化学成分的分析方法主要采取气相色谱-质谱(GC-MS)联用技术。

木兰科植物精油成分的研究主要集中在叶^[20,23-24,27,34-36]、花^[28-29,37-40]、种子^[25,41]、枝^[42]等部位,其中叶片部位的精油成分研究较多。木兰科植物叶子的精油成分主要以单萜和倍半萜为主,基本上没发现二萜以上的高级萜类化合物,这可能是由于木兰科植物是最原始的被子植物,所以不含或者少含高级萜类,另外,也有可能与水蒸气蒸馏的提取精油的方法有关,因为二萜等高级萜类化合物的挥发性较差,不容易被水蒸气携带出来^[12]。

表1 木兰科植物精油提取分析方法及其主要成分

Table 1 Extraction and analysis method of essential oil of Magnoliaceae and its main components

属名 Genus name	种名 Species name	提取部位 Extraction site	提取方法 Method of extraction	分析方法 Analytical method	化学成分 Chemical composition	文献来源 Source
长蕊木兰属 <i>Alcimandra Dandy</i>	长蕊木兰 <i>Alcimandra cathcartii</i>	叶	同时蒸馏萃取法(SDE)	气相色谱-质谱(GC-MS)联用	主要由醇和烯类化合物组成,3-萜烯相对百分含量占52.11%,为长蕊木兰叶片挥发油中相对百分含量最高的成分,并且与木兰科其他属种挥发油的主成分不同,有望作为长蕊木兰区别于木兰科其他属种的一个重要化学指标	[27]
鹅掌楸属 <i>Liriodendron</i>	鹅掌楸 <i>Liriodendron chinense</i>	叶	水蒸气蒸馏法	气相色谱-质谱(GC-MS)联用	橙花叔醇(15.146%)、Z-罗勒烯(14.908%)、松油烯(10.479%)等	[20]
华木莲属 <i>Sinomanglietia</i>	华木莲 <i>Sinomanglietia glauca</i>	叶	水蒸气蒸馏法	气相色谱-质谱(GC-MS)联用	橙花叔醇(33.998%)、石竹烯(16.198%)、石竹烯氧化物(10.739%)等	[20]
木兰属 <i>Magnolia</i>	白玉兰 <i>Magnolia denudata</i>	叶	水蒸气蒸馏法	气相色谱-质谱(GC-MS)联用	石竹烯(16.793%)、牛儿烯(16.665%)、(Z,Z,Z)-1,5,9,9,-四甲基-环十一碳三烯(5.41%)等	[20]
	天女木兰 <i>Magnolia sieboldii</i>	叶	水蒸气蒸馏法	气相色谱-质谱(GC-MS)联用	榄香烯(17.87%)、3-亚甲基-6-(1-甲基乙基)环己烯(12.03%)、4-萜烯醇(7.43%)、橙花醇(4.03%)等	[43]
	馨香木兰 <i>Magnolia odoratissima</i>	花①② 叶①	①石油醚室温浸提 ②水蒸气蒸馏法	气相色谱-质谱(GC-MS)联用	鉴定馨香木兰鲜花浸膏净油(精油)化学成分35个和49个,分别为净油(精油)总量的92.35%和98.79%,馨香木兰叶精油鉴定53种成分,有27种成分与花精油一致	[44]

接下表

续表 1

属名 Genus name	种名 Species name	提取部位 Extraction site	提取方法 Method of extraction	分析方法 Analytical method	化学成分 Chemical composition	文献来源 Source
	馨香木兰 <i>Magnolia odoratissima</i>	叶	水蒸气蒸馏法	气相色谱-质谱 (GC-MS)联用	从分离出的 160 个色谱峰中鉴定了 31 种化合物, 占精油总量的 26.953%	[45]
	馨香木兰 <i>Magnolia odoratissima</i>	叶	同时蒸馏萃取法	毛细管气相色谱-质谱联用法	馨香木兰的主要挥发性化学成分有 α -水芹烯 (36.68%)、 α -蒎烯 (7.05%)、1,3-Benzodioxole, 4-Methoxy-6-(2-propenyl)-(6.72%)	[36]
	白玉兰 <i>Magnolia denudata</i>	种子	水蒸气蒸馏法	气相色谱-质谱 (GC-MS)联用	白玉兰种子挥发油中成分大多为烯类, 其中间伞花烃含量为 34.68%, 对伞花烃 (或 1,8-桉叶油素) 含量为 55.26%, β -丁香烯的含量为 9.26%, 三者占了其总含量的 99.1%	[41]
含笑属 <i>Michelia</i>	含笑 <i>Michelia figo</i>	花	超临界二氧化碳萃取法	气相色谱-质谱 (GC-MS)联用	相对含量最高的是丁香烯环氧物 (30.25%), 其次是匙叶桉油醇 (6.78%)、 β -榄香烯 (5.83%)	[29]
	苦梓含笑 <i>Michelia balansae</i>	叶	水蒸气蒸馏法	气相色谱-质谱 (GC-MS)联用	α -毕澄茄醇 (10.13%)、 β -榄香烯 (8.81%)、氧化石竹烯 (8.05%) 等	[46]
	峨眉含笑 <i>Michelia wilsonii</i>	叶	同时蒸馏萃取法	毛细管气相色谱-质谱 (GC-MS) 联用法	1(10), 4-杜松二烯 (17.8%)、1,3-Benzodioxole, 4-Methoxy-6-(2-propenyl)-(14.76%)、 α -杜松醇 (5.35%) 等	[34]
	峨眉含笑 <i>Michelia wilsonii</i>	叶	水蒸气蒸馏法	气相色谱-质谱 (GC-MS)联用	含量最高的是芳樟醇 (14.50%), 其次是石竹烯氧化物 (10.17%), 含量较高的还有桉叶油醇 (9.91%) 等	[12]
	诗琳通含笑 <i>Michelia sirindhorniae</i>	叶	水蒸气蒸馏法	气相色谱-质谱 (GC-MS)联用	含量最高的是 2(1H)Naphthalenone, 3,5,6,7,8, 8a-hexahydro-4,8a-dimethyl-6-(1-methylethenyl)-(87.29%), 其次是 (+)-环异萨替文烯 (3.27%), 含量较高的还有表蓝桉醇 (2.02%)、 γ -古芸烯 (1.74%) 等	[12]
	毛果含笑 <i>Michelia sphaerantha</i>	叶	同时蒸馏萃取法	毛细管气相色谱-质谱 (GC-MS) 联用法	1,3-Benzodioxole, 4-Methoxy-6-(2-propenyl)-(23.99%)、1(10), 4-杜松二烯 (18.39%)、 α -芳樟醇 (5.33%)、 α -杜松醇 (5.21%) 等	[34]
	南亚含笑 <i>Michelia doltsopa</i>	叶	同时蒸馏萃取法	毛细管气相色谱-质谱 (GC-MS) 联用法	1(10), 4-杜松二烯 (18.12%)、 α -水芹烯 (9.51%)、乙酸龙脑酯 (8.89%) 等	[34]
	金叶含笑 <i>Michelia foveolata</i>	叶	水蒸气同步蒸馏法	气相色谱-质谱 (GC-MS)联用	精油中含量最大的组分是桉叶油醇和桉叶油-4(15), 7-二烯-1- β -醇, 相对含量分别达到 49.70% 和 13.74%	[47]
	铜色含笑 <i>Michelia aenea</i>	叶	水蒸气蒸馏法	气相色谱-质谱 (GC-MS)联用	其中含量最高的是 β -香茅醇 (21.61%), 其次是芳樟醇 (14.98%), 含量较高的还有桉叶油醇 (10.83%) 等	[12]
	厚果含笑 <i>Michelia pachycarpa</i>	叶	水蒸气蒸馏法	气相色谱-质谱 (GC-MS)联用	含量最高的是 β -榄香烯 (31.08%), 其次是雅槛蓝 (树) 油烯 (14.09%), 含量较高的还有匙桉醇 (8.68%) 等	[12]
盖裂木属 <i>Talauma</i>	盖裂木 <i>Talauma hodgsonii</i>	叶	水蒸气蒸馏法	气相色谱-质谱 (GC-MS)联用	含量最高的是桉烯 (37.65%), 其次是 Cyclohexanemethanol, 4-ethenyl-a, a, 4-trimethyl-3-(1-methylethenyl)-, (1R, 3S, 4S)-(34.74%), 较高的还有 β -蒎烯 (8.38%)	[12]
木莲属 <i>Manglietia</i>	大果木莲 <i>Manglietia grandis</i>	叶	水蒸气蒸馏法	气相色谱-质谱 (GC-MS)联用	含量最高的是柠檬烯 (27.84%), 其次是 p-伞花烃 (24.59%), 含量较高的还有香叶醇 (9.59%) 等	[12]
	木莲 <i>Manglietia fordiana</i>	叶	水蒸气蒸馏法	气相色谱-质谱 (GC-MS)联用	橙花叔醇 (27.672%), 石竹烯醇 (14.862%), 蓝桉醇 (9.189%) 等	[20]
	大叶木莲 <i>Manglietia dandyi</i>	叶	水蒸气蒸馏法	气相色谱-质谱 (GC-MS)联用	石竹烯 (18.30%)、石竹烯氧化物 (18.04%)、 α -古芸烯 (11.61%)	
拟单性木兰属 <i>Parakmeria</i>	乐东拟单性木兰 <i>Parakmeria lotungensis</i>	叶	水蒸气蒸馏法	气相色谱-质谱 (GC-MS)联用	含量最高的是 β -水芹烯 (52.90%), 其次是 β -蒎烯 (16.97%), 较高的还有 4-萜烯醇 (8.94%)、 α -蒎烯 (8.19%) 和桉叶油醇 (6.97%) 等	[12]
		叶	水蒸气蒸馏法	气相色谱-质谱 (GC-MS)联用	β -蒎烯 (16.163%), 萜烯醇 (10.506%), 柠檬烯 (9.683%) 等	[20]
观光木属 <i>Tsoongiodendron</i>	观光木 <i>Tsoongiodendron odorum</i>	叶	水蒸气蒸馏法	气相色谱-质谱 (GC-MS)联用	牛儿烯 (21.404%)、 β -榄香烯 (12.824%)、石竹烯 (10.861%) 等	[20]

木兰科植物花与叶的精油成分多有一致。云南拟单性木兰、馨香木兰、香木兰鲜叶精油化学成分近 80% 与花精油成分一致 (云南拟单性木兰叶精油鉴定 38 种成分, 有 35 种成分与花精油一致; 馨香木兰叶精油鉴定 35 种成分, 有 27 种成分与花精油一致; 香木兰叶精油鉴定 41 种成分, 有 36

种成分与花精油一致)^[44]。针对特定的种, 也有其含量最高且相对特有的成分。如: 长蕊木兰挥发油化学成分 3-萜烯相对百分含量占 52.11%, 为长蕊木兰叶片挥发油中相对百分含量最高的成分, 并且与木兰科其他属种挥发油的主成分不同, 有望作为长蕊木兰中区别于木兰科其他属种的一个重

要化学指标^[27]。橙花叔醇是鹅掌楸 (*Liriodendron chinense*)、华木莲 (*Sinomanglietia glauca*)、木莲 (*Manglietia fordiana*) 3个分属于不同属的木兰科植物的共有成分,且其相对含量在这3个种中都是最高的。

木兰科植物属种间的化学成分差异很大。不同树种、不同材料精油(净油)化学成分和含量不同,同一树种、同样材料,因精油(净油)提取方法不同,化学成分和含量也不相同^[44]。针对相同的种,其化合物种类和相对含量虽略有差异,但化合物种类绝大多数是一致的。这种差异的形成与试验材料、试验条件和试验人员等因素的差异有关。其中,最常见的差异是由于试验材料的采集地点和采集时期等不同造成的。利健文^[12]研究的木兰科植物乐东拟单性木兰 (*Parakmeria lotungensis*)新鲜树叶采自神州木兰园珍稀濒危树种培育基地(广东省湛江市徐闻县),樊二齐等^[20]研究的木兰科植物乐东拟单性木兰栽培于浙江农林大学植物园。对于馨香木兰试验材料,芮和恺等^[45]采自云南省广南县的野生居群,李玉媛等^[44]采自云南省文山州林业局苗圃的栽培居群,司马永康等^[36]采自云南省昆明树木园的栽培居群,3者采集地点不同。对于夜香木兰(夜合花)试验材料,虽然芮和恺等^[45]与司马永康等^[36]均采自昆明树木园(云南省林业科学院植物园),但采集时期明显不同。

植物芳香精油的含油量大小是由多种因素共同作用的,同一种植物不同部位的精油成分也有很大差异^[48]。迟海红等^[49]采用水蒸气蒸馏法对亮叶含笑不同器官的挥发油提取结果表明,各器官的出油率为叶芽>假种皮>雌蕊>一年生叶>雄蕊>一年生茎>花瓣>两年生茎;精油品质评价指标权重为透明度>持久性>香味好感度=香味强弱>颜色;精油综合品质为一年生叶>叶芽>一年生茎>两年生茎>雄蕊>雌蕊>假种皮>花瓣。

木兰科植物鲜叶精油制备宜采用水蒸气蒸馏法制取,因用溶剂法提取成本太高,工艺复杂,且叶精油因香气和质量不如花精油,且售价低,故不宜采用溶剂浸提法。采用溶剂浸提法制取鲜花浸膏,能比较完全地保持香气的天然性,并获得较高的得率。馏水中的精油也可以收集利用。李玉媛等^[44]采用水蒸气蒸馏法对3种木兰科植物花、叶精油进行提取,发现其精油在水中均有一定的溶解性,特别是馨香木兰鲜花精油,馏水中精油得率达0.05%~0.06%,等于或略高于蒸馏精油得率,这对于精油得率本就不高的鲜花来说,无疑是相当宝贵的。

利用精油成分和含量差异对植物进行分类有一定的意义。木兰科不同属之间叶片的挥发性主成分及其相对百分含量差异巨大。相对百分含量较高的成分可作为区别于其他属的化学指标,为不同属的化学分类提供参考^[27]。具有杂种起源的大叶云山白兰、峨眉含笑和铜色含笑等挥发油成分明显多于非杂种起源的诗琳通含笑^[12]。傅大立等^[50]研究了10种木兰科植物的挥发油成分,并根据不同植物挥发油成分及其含量差异,提出河南玉兰 (*Magnolia henanensis*)与椭圆叶玉兰 (*Magnolia elliptilimba*)的亲缘关系较近,可能为同一杂种起源;利用玉兰属挥发油成分月桂烯和四甲基环

癸二烯异丙醇2种成分的差异,可把10种玉兰属植物分为2类。司马永康等^[36]研究了木兰科喙木兰属3种植物叶挥发油成分,在一定程度上支持了其有关喙木兰亚组(包括馨香木兰和夜香木兰)和优昙花亚组(包括山玉兰)的划分,提出了叶挥发油化学成分组成特征对木兰科喙木兰属植物种和种上等级具有一定的系统分类学意义。贾爱群等^[51]利用3种石竹科植物挥发油成分的差异,证明了 *Stellaria* 和 *Cerastium* 具有较近的亲缘关系。Azuma等^[52]的研究也表明,挥发油成分的差异可以用于木兰科植物分类。但是樊二齐等^[20]对6种木兰科植物精油成分进行聚类分析,显示鹅掌楸和白玉兰精油成分相近,而鹅掌楸属于鹅掌楸亚科,其余5种植物属于木兰亚科,结果与传统的分类学观点明显不同。因此,利用精油成分差异对木兰科植物进行分类不一定可靠。

4 木兰科植物精油生物活性

4.1 木兰科植物精油生物活性研究 杨守晖等^[53]用水蒸气蒸馏法提取了光叶拟单性木兰叶片挥发油,并进行了体外抑菌和抗肿瘤试验。结果显示,该挥发油对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和红酵母有较强的抑制能力,以及对人肺癌和胃癌细胞有显著的杀伤作用。但高甜惠等^[54]对云南拟单性木兰叶进行水蒸气回流、乙醚萃取,得到淡黄色挥发油,该挥发油对金黄色葡萄球菌以及肺癌细胞 NCI-H460 有一定的抑制能力。曹奇龙等^[22]采用水蒸气蒸馏法提取乳源木莲叶中的挥发油,体外抑菌试验表明,该挥发油对红酵母有一定的抑制作用。Alamar blue 法测定乳源木莲的挥发油对人非小细胞肺癌 NCI-H460 的抑制作用很强,在浓度为 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时抑制率达到 100%。

何开跃等^[55]用试剂盒法对阔瓣含笑、深山含笑、金叶含笑和乐昌含笑提取物对大豆油进行了抗氧化活性测定含笑精油抑菌活性研究及其化学成分分析得出种含笑提取物具有很强的抗氧自由基活性,抗氧化功能良好,能够有效延长大豆油的氧化诱导期和货架寿命,其中以阔瓣含笑为最好。这说明含笑属植物精油在天然食品防腐剂的研发中具有很大的开发价值。钟瑞敏等^[35]对华南5种木兰科植物精油成分和抗氧化活性进行研究,发现4种精油的抗脂质氧化半抑制浓度分别为6.6 g/L(毛桃木莲精油)、9.8 g/L(乳源木莲精油)、11.3 g/L(金叶含笑精油)和12.2 g/L(乐昌含笑精油)。陈炳华等^[56]采用GC-MS技术分析了乐东拟单性木兰花部挥发油的化学组成及其抑菌活性,对4种供试病原菌的体外抑菌试验表明:该挥发油对大肠杆菌和伤寒杆菌有一定的抑制或杀灭能力。闫浩等^[24]研究海南木兰科植物香子含笑的成分及抗菌性,通过滤纸片扩散法验证香子含笑叶提取物对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌生长有不同程度的抑制效果,其MIC分别为0.313、0.625、0.625 g/mL。盖裂木挥发油中单萜类成分的组成与从细叶杜香 (*Ledum palustre* L. var *angustum* N. Busch)的叶、幼枝、花、花梗及果实中提取出的杜香萜烯中单萜类成分的组成很相似,而杜香萜烯是一种很有前景的天然透皮吸收促进剂^[57]。叶玉娟^[58]对乐昌含

笑叶片自然挥发物、水浸提液、挥发油 3 种处理方法的化感作用进行比较,发现挥发油的化感作用综合效应均表现最强,化感作用潜力最大。

4.2 木兰科植物精油主要成分活性研究 国内外众多研究

者对木兰科植物各属种精油主要成分的生物活性进行了广泛研究,其主要成分具有抑菌、防腐、抗虫、抗氧化、消炎、抗癌等作用,在化妆品、食品保鲜、食用香料、医药卫生、储粮保护、植物病虫害防治等方面具有广阔的应用前景(表 2)。

表 2 木兰科植物精油主要成分的生物活性

Table 2 The biological activity of the main components of essential oils from Magnoliaceae

序号 No.	活性成分 Active ingredient	属名 Genus name	种名 Species name	存在部位 Existence part	含量 Content	生物活性 Biological activity
1	β-榄香烯	含笑属 <i>Michelia</i>	香子含笑 <i>Michelia hedyosperma</i>	叶片	4.181% ^[24,59-60]	β-榄香烯(β-elemene)是倍半萜烯类有效活性单体,为国家二类非细胞毒性抗肿瘤的药物。目前 β-榄香烯在临床上用于治疗肺癌、肝癌、乳腺癌等,以该成分为主要活性物质生产的榄香烯注射液(Elemene Injection)可用于治疗肺癌、肝癌、鼻咽癌、骨转移癌、脑瘤等多种恶性肿瘤。由于在抗肿瘤方面具有广谱、安全、有效、廉价等突出优点,其应用前景十分广阔 ^[24,59-60]
		观光木属 <i>Tsoongiodendron</i>	观光木 <i>Tsoongiodendron odorum</i>	叶	12.824% ^[20]	
		含笑属 <i>Michelia</i>	苦梓含笑 <i>Michelia balansae</i>	叶	8.81% ^[46]	
		含笑属 <i>Michelia</i>	厚果含笑 <i>Michelia pachycarpa</i>	叶	31.08% ^[12]	
2	石竹烯和氧化石竹烯	含笑属 <i>Michelia</i>	香子含笑 <i>Michelia hedyosperma</i>	叶片	石竹烯 11.442%、氧化石竹烯 7.721% ^[24,61-62]	石竹烯是中国 GB2760—1996 批准为允许使用的食品香料,石竹烯及其氧化物可用于调配食用香精(如丁香、胡椒、柑橘等),也可用于合成乙酰基石竹烯等经济价值更高香料。石竹烯氧化物一般在食品、药品和化妆品用作防腐剂,已经证明它具有防癌活性、解痉作用、抗疟作用和对金黄色葡萄球菌、有抑制作用 ^[24,61-62]
		木莲属 <i>Manglietia</i>	大叶木莲 <i>Manglietia dandyi</i>	叶	石竹烯 18.30%、石竹烯氧化物 18.04% ^[12]	
3	β-水芹烯	拟单性木兰属 <i>Parakmeria</i>	乐东拟单性木兰 <i>Parakmeria lotungensis</i>	叶	52.90% ^[12,63-64]	水芹烯既是一种香料和香料中间体,也是一种具有生物活性的天然杀虫剂,还可以应用在手性催化、区域选择性地合成中间体等领域。β-水芹烯对储粮常见害虫具有明显的杀灭和抑制作用。α-水芹烯和 β-水芹烯均有令人愉快的香气,对支气管有温和的刺激作用,可制成吸入剂用作祛痰剂 ^[12,63-64]
4	α-水芹烯	木兰属 <i>magnolia</i>	馨香木兰 <i>Magnolia odoratissima</i>	叶	36.68% ^[36]	α-水芹烯和 β-水芹烯均有令人愉快的香气,对支气管有温和的刺激作用,可制成吸入剂用作祛痰剂 ^[12,63-64]
		含笑属 <i>Michelia</i>	南亚含笑 <i>Michelia dolt-sopa</i>	叶	9.51% ^[34]	
5	α-蒎烯	木兰属 <i>magnolia</i>	馨香木兰 <i>Magnolia odoratissima</i>	叶	7.05% ^[36]	蒎烯常用做抗氧化剂,是一个重要工业原料。α-蒎烯可用于矫正一些工业产品的香味,并可做涂料溶剂、杀虫剂和增塑剂等,α-蒎烯对肝癌 BEL-7402 细胞的生长有抑制作用 ^[65]
		拟单性木兰属 <i>Parakmeria</i>	乐东拟单性木兰 <i>Parakmeria lotungensis</i>	叶	8.19% ^[12]	
6	β-蒎烯	拟单性木兰属 <i>Parakmeria</i>	乐东拟单性木兰 <i>Parakmeria lotungensis</i>	叶	16.163% ^[20]	β-蒎烯对柑橘青霉菌表现出较好的抑制作用,在低浓度下即能有效抑制病原真菌的孢子萌发和菌丝体生长 ^[66] 。β-蒎烯具有的是环外双键,比具有桥环双键的 α-蒎烯更不稳定,也易于发生氧化、裂解等反应,是合成大多数中档、高档香料中间体和很多医药中间体、日化香料的优良原料 ^[67]
		盖裂木属 <i>Talauma</i>	盖裂木 <i>Talauma hodgsonii</i>	叶	8.38% ^[12]	
7	桉叶油醇	含笑属 <i>Michelia</i>	峨眉含笑 <i>Michelia wilsonii</i>	叶	9.91% ^[12]	桉叶油醇可在止咳糖浆、人造薄荷等中用作食用香精 ^[12]
			金叶含笑 <i>Michelia foveolata</i>	叶	49.70% ^[47]	
			铜色含笑 <i>Michelia aenea</i>	叶	10.83% ^[12]	
		拟单性木兰属 <i>Parakmeria</i>	乐东拟单性木兰 <i>Parakmeria lotungensis</i>	叶	6.97% ^[12]	
8	β-香茅醇	含笑属 <i>Michelia</i>	铜色含笑 <i>Michelia aenea</i>	叶	21.61% ^[12,68]	β-香茅醇对 6 种储粮曲霉与青霉均有抑菌作用,对玉米象幼虫和卵的发育均有明显抑制作用,对印度谷螟、绿豆象、乔拟谷盗、黄粉虫等 5 种供试仓虫均有一定熏杀作用;此外,香茅醇还是一种重要的香料原料,具有甜的花香气味,常用于玫瑰香、柑桔香的香精和许多含香茅醇酯类的香精,并可以用作制造羟基二氢香茅醇、羟基二氢香茅醛的原料。香茅醇也可用于食用香料,如软饮料、烘烤食品、香糖、果冻及布丁 ^[12,68]
9	柠檬烯	拟单性木兰属 <i>Parakmeria</i>	乐东拟单性木兰 <i>Parakmeria lotungensis</i>	叶	9.683% ^[20]	柠檬烯用途广泛,具有抑制细菌、缓解氧化、消炎和抗癌等功能。目前,柠檬烯作为抗氧化剂、防腐剂、香精香料等方面得到了广泛的应用。在医药领域已利用柠檬烯为原料来生产止痛祛痰、消炎镇咳的药物;同时,柠檬烯在食品中可以直接使用,如作为添加剂添加到冰激凌、巧克力等来调整口感;亦可在橙香、果香、柠檬等香型的配方中作为修饰剂 ^[20,69]
		木莲属 <i>Manglietia</i>	大果木莲 <i>Manglietia grandis</i>	叶	27.84% ^[12]	
10	橙花叔醇	鹅掌楸属 <i>Liriodendron</i>	鹅掌楸 <i>Liriodendron chinense</i>	叶	15.164% ^[20]	橙花叔醇是 GB 2760—1988 规定为允许使用的食用香料,有不寻常的鲜苹果香,可赋有趣的花香,持久性极好,有一定的协调性能和定香作用;它还是重要的医药中间体 ^[70] ,可以合成异植物醇,也可作高级香料用于化妆品
		华木莲属 <i>Sinomanglietia</i>	华木莲 <i>Sinomanglietia glauca</i>	叶	33.998% ^[20]	
		木莲属 <i>Manglietia</i>	木莲 <i>Manglietia fordiana</i>	叶	27.672% ^[20]	

木兰科植物精油中有生物活性主要成分有 β -榄香烯、柠檬烯、石竹烯及其氧化物、 α -水芹烯、 β -水芹烯、 α -蒎烯、 β -蒎烯、桉叶油醇、 β -香茅醇、橙花叔醇等。乐东拟单性木兰中的 β -水芹烯相对含量高达52.90%、金叶含笑中的桉叶油醇相对含量达49.70%、华木莲和木莲精油中橙花叔醇相对含量高达33.998%和27.672%、厚果含笑中的 β -榄香烯相对含量达31.08%、铜色含笑中的 β -香茅醇相对含量达21.61%、香子含笑、大叶木莲中的石竹烯及其氧化物合计相对含量达19.16%、36.34%，非常有利于进行组分分离。

香子含笑、观光木、苦梓含笑、厚果含笑均含国家二类非细胞毒性抗肿瘤的药物 β -榄香烯，榄香烯乳注射液在临床上用于治疗多种恶性肿瘤。香子含笑、大叶木莲中的石竹烯和鹅掌楸、华木莲、木莲中的橙花叔醇是GB 2760—1988规定允许使用的食用香料。乐东拟单性木兰、馨香木兰、南亚含笑中含有的水芹烯既是一种香料和香料中间体，也是一种具有生物活性的天然杀虫剂，还可以制成吸入剂用作祛痰剂。

馨香木兰、乐东拟单性木兰、盖裂木中的蒎烯是一个重要工业原料，常用做抗氧化剂。馨香木兰、乐东拟单性木兰中的 α -蒎烯能够抑制肝癌BEL-7402细胞的生长。铜色含笑中的 β -香茅醇对多种储粮曲霉、青霉和多种仓虫均有一定熏杀作用，可以用作储粮的保护剂。乐东拟单性木兰和大果木莲中的柠檬烯已在医药领域用来生产止痛祛痰、消炎镇咳的药物；柠檬烯在食品中也可以直接使用。

5 展望

以植物挥发性成分的研究与传统系统分类学进行相互印证比较，是一个有可行性的研究方向。使用植物挥发性成分来对木兰科植物进行分类虽然与传统结果不完全相符，但也有相一致的部分。植物精油成分对比研究结果有望用作植物亲缘关系鉴定的科学依据和支撑材料。利用木兰科植物挥发性成分有无判断物种间亲缘关系是否可靠，植物化学分类应当使用植物的哪个部位、哪种类型的化合物来进行还需要更多的试验数据来研究和判断。

香子含笑、观光木、苦梓含笑、厚果含笑精油可以用来生产国家二类非细胞毒性抗肿瘤的药物榄香烯乳注射液或榄香烯胶囊，香子含笑、大叶木莲、鹅掌楸、华木莲、木莲精油有望应用于使用香料。香子含笑、大叶木莲精油可以用作香精、高级香料、防腐、防癌、解痉、抗疟、抑菌等领域。乐东拟单性木兰、馨香木兰、南亚含笑精油可制成吸入剂用作祛痰剂。馨香木兰、乐东拟单性木兰有望研制成治疗肝癌的新型药物。铜色含笑精油有望作储粮的保护剂。大果木莲有望作为原料生产止痛祛痰、消炎镇咳的药物。金叶含笑、铜色含笑精油有望在止咳糖浆、人造薄荷等中用作食用香精。

近年来，木兰科植物精油的研究已在各个领域取得了不错的进展，但目前木兰科植物精油研究还不成熟，还有很多问题需要解决：①大多数关于木兰科植物精油的研究集中在精油提取和成分分析上，对于其生物活性的研究还不够充分，部分种尚未涉及。对于精油提取部位来说，叶部的提取

较多，对于花、果、种子、枝、皮等部位的提取研究较少。②由于技术、设备等方面的限制，木兰科植物精油的提取不可避免地存在成分分解和杂质残留的问题，影响了精油的质量。③木兰科植物精油作为一种天然混合物，分子结构复杂，存在许多分子结构相似，分子质量相等的化合物，难以提取单一的有效成分。④对于木兰科植物精油的利用，一些后续工作也应考虑，如：木兰科植物大多数属于珍稀濒危物种，如果要进行大规模的产业化研究尚需要大量的迁地、就地保育和人工种植扩繁方面的工作。⑤提取完精油后的叶残渣大部分都作为废弃物扔掉，对于本来就珍稀濒危的木兰科植物而言，这是极大的浪费，所以发现其潜在的新的活性成分或用途也很重要。⑥应用在医药、食品与日化等方面时，细菌对精油的耐药性、木兰科植物精油与其他成分、植物精油间的协同和拮抗作用、长期食用或用作护肤品等对人体的影响、精油的最有效使用方法和剂量、精油的副作用等，都还有待解决。

参考文献

- [1] 肖军. 中国香文化起源议[J]. 长江大学学报(社会科学版), 2011, 34(9): 168-169.
- [2] 高春锦. 芳香疗法的历史、应用与展望[C]//中国民族医药学会第二届全国芳香医药学术会议论文集. 北京: 中国民族医药学会, 2014.
- [3] 李芷悦, 李峰, 张煜, 等. 中西医“芳香疗法”发展路径的比较研究[J]. 中国医药导报, 2017, 14(28): 93-96.
- [4] ALMADIY A A, NENAHH G E, AL ASSIUTY B A, et al. Chemical composition and antibacterial activity of essential oils and major fractions of four *Achillea* species and their nanoemulsions against foodborne bacteria[J]. LWT-food science & technology, 2016, 69: 529-537.
- [5] 王若涵. 木兰属生殖生物学研究及系统演化表征探析[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [6] 许元明, 农娟, 庞怀英. 木兰科植物的研究进展[J]. 绿色科技, 2013(2): 74-77.
- [7] 王献溥, 蒋高明. 中国木兰科植物受威胁的状况及其保护措施[J]. 植物资源与环境学报, 2001, 10(4): 43-47.
- [8] 刘玉壶, 夏念和, 杨惠秋. 木兰科(Magnoliaceae)的起源、进化和地理分布[J]. 热带亚热带植物学报, 1995, 3(4): 1-12.
- [9] 刘玉壶. 中国木兰[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 2004.
- [10] 邓传远, 潘东明, 赖钟雄. 福建木兰科植物资源及其观赏特性研究[J]. 亚热带植物科学, 2005, 34(1): 46-49.
- [11] 田凡, 陈志萍, 李鹤, 等. 贵州乡土木兰科植物园林观赏研究[J]. 北方园艺, 2016(4): 83-88.
- [12] 利健文. 木兰科植物精油的提取和GC-MS分析[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [13] 庞建光, 张明霞, 韩俊杰. 植物精油的研究及应用[J]. 邯郸农业高等专科学校学报, 2003, 20(1): 26-28, 30.
- [14] 罗金岳, 安鑫南. 植物精油和天然色素加工工艺[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [15] 宋晓凯. 天然药物化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [16] 张东峰. 植物精油的研究开发新进展[J]. 河北化工, 2008, 31(2): 10-12, 40.
- [17] 郝小燕, 余珍, 田成国. 云南拟单性木兰精油化学成分的研究[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2000, 18(2): 17-18.
- [18] 钟瑞敏, 曾庆孝, 张振明, 等. 气质联用结合保留指数对比在五种木兰科芳香精油成分鉴定中的应用[J]. 分析测试学报, 2006, 25(5): 16-20.
- [19] BREHM-STECHER B F, JOHNSON E A. Sensitization of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* to antibiotics by the sesquiterpenoids nerolidol, farnesol, bisabolol, and apritone[J]. Antimicrobial agents & chemotherapy, 2003, 47(10): 3357.
- [20] 樊二齐, 王云华, 郭叶, 等. 6种木兰科植物叶片精油的气质联用(GC-MS)分析[J]. 浙江农林大学学报, 2012, 29(2): 307-312.
- [21] 国家医药管理局中草药情报中心站. 植物药有效成分手册[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1986.
- [22] 曹奇龙, 杨守晖, 张艳平, 等. 乳源木莲挥发油的化学成分及生物活性

- [J]. 中国城市林业, 2008(3): 60-62.
- [23] 毕和平, 韩长日, 梁振益, 等. 海南木莲叶挥发油化学成分研究[J]. 中国野生植物资源, 2006, 25(6): 58-60.
- [24] 闫浩, 徐雪峰, 杜金凤. 香子含笑叶挥发油 GC-MS 分析及抗菌性研究[J]. 农学报, 2019, 9(3): 56-60.
- [25] 刘虹宇, 曹佩雪, 王道平, 等. GC-MS 分析白玉兰果壳与种子挥发油成分[J]. 中成药, 2010, 32(9): 1631-1633.
- [26] 马惠芬, 司马永康, 项伟. 天目木兰的挥发性化学成分[J]. 云南林业科技, 2001, 30(4): 65-67.
- [27] 华梅, 司马永康, 马惠芬, 等. 长蕊木兰叶片挥发油的化学成分及其分类学意义[J]. 西部林业科学, 2019, 48(1): 29-35.
- [28] 王心宇, 刘明春, 杨迎, 等. GC-MS 法分析白兰花挥发油成分[J]. 重庆大学学报, 2008, 31(1): 97-100.
- [29] 汪洪武, 刘艳清, 鲁湘鄂, 等. 含笑花挥发油的超临界二氧化碳萃取及气相色谱-质谱分析[J]. 理化检验(化学分册), 2007, 43(7): 537-539.
- [30] 王妍, 杨美丹, 李建亮, 等. 自制微波辅助无溶剂萃取装置及 GC/MS 分析白玉兰花挥发油[J]. 质谱学报, 2009, 30(4): 244-249.
- [31] 陆宁, 宛晓春. 固相微萃取-气相色谱/质谱联用技术分析白兰精油化学成分[J]. 食品研究与开发, 2004, 25(2): 125-127.
- [32] 刘世彪, 刘祝祥, 江德应, 等. 华中木兰和乐昌含笑种子油的提取及成分分析[J]. 中国油脂, 2010, 35(4): 68-71.
- [33] 权春梅, 刘超祥, 张晴晴, 等. 植物精油的成分分析方法研究进展[J]. 云南化工, 2020, 47(8): 37-40.
- [34] 马惠芬, 司马永康, 张达, 等. 木兰科含笑属含笑组 3 种植物叶的挥发性化学成分研究[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(4): 212-216.
- [35] 钟瑞敏, 张振明, 肖仔君, 等. 华南五种木兰科植物精油成分和抗氧化活性(英文)[J]. 云南植物研究, 2006, 28(2): 208-214.
- [36] 司马永康, 马惠芬, 徐涛, 等. 木兰科喙木兰属 3 种植物的叶挥发油成分及其系统分类学意义[J]. 西部林业科学, 2018, 47(6): 7-14, 29.
- [37] 李吉来, 陈飞龙, 罗佳波. 白兰花挥发油化学成分研究[J]. 中草药, 2000, 31(1): 11-13.
- [38] 吕金顺, 郭峰. 望春玉兰花蕾挥发油的化学成分分析[J]. 分析化学, 2003, 31(12): 1535.
- [39] 傅大立, 赵东欣, 孙金花, 等. 辛夷挥发油含量及良种选育指标研究[J]. 河南农业大学学报, 2004, 38(2): 179-183.
- [40] 李洁, 李玉媛, 李达孝, 等. 云南拟单性木兰鲜花鲜叶精油化学成分研究[J]. 林产化工通讯, 1992(6): 5-7.
- [41] 杨靖, 黎莉, 戴立珍, 等. 白玉兰种子挥发油成分的 GC-MS 分析[J]. 武汉工程大学学报, 2010, 32(3): 47-48.
- [42] HA C T T, THAI T H, HIEN N T, et al. Chemical composition and antimicrobial activity of the leaf and twig essential oils of *Magnolia hypolampra* growing in Na Hang nature reserve, Tuyen Quang Province of Vietnam[J]/OL]. Natural product communications, 2019, 14(6) [2020-11-27]. <https://doi.org/10.1177/1934578X19860370>.
- [43] 姚慧娟, 杨宇, 张琪疆, 等. 基于 GC-MS 法天女木兰叶中挥发性成分分析[J]. 广西林业科学, 2019, 48(4): 526-530.
- [44] 李玉媛, 李达孝, 毛云玲, 等. 云南木兰科香料植物浸膏、精油提取及化学成分研究[J]. 香料香精化妆品, 1996(3): 2-8.
- [45] 芮和恺, 季伟良, 李达孝, 等. 馨香木兰叶的精油成份分析[J]. 云南林业科技, 1992, 21(1): 64-66.
- [46] 闫浩, 徐雪峰, 李坤, 等. 苦梓含笑挥发性成分分析[J]. 农村科学实验, 2018(13): 84-86.
- [47] 钟瑞敏, 张振明, 曾庆孝, 等. 金叶含笑中芳香精油成分的气相色谱-质谱分析[J]. 植物生理学通讯, 2005, 41(4): 505-508.
- [48] 李娟娟, 王羽梅. 薄荷精油成分和含量的影响因素综述[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(36): 22313-22316.
- [49] 迟海红, 高尔刚, 刘映良, 等. 亮叶含笑不同器官精油含量比较及综合品质评价[J]. 贵州农业科学, 2015, 43(5): 61-64.
- [50] 傅大立, 赵东欣, 孙金花, 等. 10 种国产玉兰属植物挥发油成分及系统学意义[J]. 林业科学, 2005, 41(3): 68-74.
- [51] 贾爱群, 杨永平, 谭宁华, 等. 三种北极石竹科植物的挥发油成分及其化学分类学意义[J]. 云南植物研究, 2003, 25(6): 721-723, 729.
- [52] AZUMA H, TOYOTA M, ASAKAWA Y, et al. Chemical divergence in floral scents of *Magnolia* and allied genera (Magnoliaceae) [J]. Plant species biology, 1997, 12(2/3): 69-83.
- [53] 杨守晖, 曹奇龙, 张艳平, 等. 光叶拟单性木兰挥发油的化学成分及其生物活性的初步研究[J]. 福建林业科技, 2009, 36(1): 38-42.
- [54] 高甜惠, 李晓储, 何冬宁, 等. 云南拟单性木兰挥发物质及其抗肿瘤和抑菌活性初步研究[J]. 中国野生植物资源, 2006, 25(4): 44-46.
- [55] 何开跃, 樊亚苏, 李晓储, 等. 4 种含笑叶片提取物对大豆油的抗氧化活性[J]. 林业科学, 2007, 43(11): 157-162.
- [56] 陈炳华, 王明兹, 刘剑秋. 乐东拟单性木兰花部挥发油的化学成分及其抑菌活性[J]. 武汉植物学研究, 2002, 20(3): 229-232.
- [57] 张颖慧, 肖莉, 许建辰, 等. 天然透皮吸收促进剂的研究进展[J]. 中国药房, 2005, 16(4): 303-305.
- [58] 叶玉娟. 含笑属三种植物的化感作用研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2009.
- [59] 张芷毓. 榄香烯乳注射液治疗恶性浆膜腔积液临床研究的系统评价[D]. 南京: 南京中医药大学, 2013.
- [60] 麻杰, 陈娟, 赵冰洁, 等. 抗癌药物 β -榄香烯及其衍生物的研究进展[J]. 中草药, 2018, 49(5): 1184-1191.
- [61] 黄致喜. 倍半萜香料的新进展[J]. 香料香精化妆品, 1985(4): 1-21.
- [62] YANG D, MICHEL L, CHAUMONT J P, et al. Use of caryophyllene oxide as an antifungal agent in an *in vitro* experimental model of onychomycosis [J]. Mycopathologia, 1999, 148(2): 79-82.
- [63] 夏克坚, 任宇红, 聂娟娟, 等. β -水芹烯的合成与应用[J]. 南昌大学学报(理科版), 2001, 25(4): 380-382.
- [64] 陆凌霄, 李明, 赵梨, 等. 水芹烯的来源·合成及应用[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(26): 14361-14363.
- [65] CHEN W Q, XU B, MAO J W, et al. Inhibitory effects of α -pinene on hepatoma carcinoma cell proliferation [J]. Asian Pacific journal of cancer prevention, 2014, 15(7): 3293-3297.
- [66] 尚春雨. β -蒎烯对柑橘青霉病菌的抑菌机理研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- [67] 王桂英, 黄科林, 韦毅, 等. 高纯 β -蒎烯分离条件及应用研究[J]. 大众科技, 2020, 22(4): 21-23.
- [68] 蒋小龙, 寸东义, 杨晶焰. 香茅精油、香茅醛、香茅醇对储藏霉菌和害虫抑制与熏杀效果的试验研究[J]. 郑州粮食学院学报, 1994, 15(1): 39-47.
- [69] 曹甜, 刘晓艳, 丁心, 等. 柠檬烯的研究与应用进展[J]. 农产品加工, 2017(16): 51-54.
- [70] 邵海, 龚朝明. 植物精油在药理和农药方面的研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2008, 27(5): 5-9.