

蜡梅属植物精油成分及药理活性研究进展

何德颖,肖薇依,黎成,邹峥嵘*

江西师范大学生命科学学院;江西省亚热带植物资源保护与利用重点实验室,南昌 330022

摘要:蜡梅属植物是我国特有的传统药用植物,分布广泛,资源丰富。精油是蜡梅属植物主要的活性成分之一,包括萜类化合物、芳香族化合物和脂肪族化合物等多种类型的化学成分,具有抑菌、抗炎、抗氧化、抗病毒和止咳平喘等药理活性,对血管性痴呆、急性肺损伤和溃疡性结肠炎等疾病有较好的治疗作用。本文对蜡梅属植物精油中主要成分的化学结构与生源合成途径进行了系统的分类整理,对相关的生物活性作简要概述,以期为进一步开发和利用蜡梅属植物资源提供有益参考。

关键词:蜡梅属;植物精油;化学结构;药理活性

中图分类号:R284;R285

文献标识码:A

文章编号:1001-6880(2023)9-1624-13

DOI:10.16333/j.1001-6880.2023.9.016

Research progress on compositions and pharmacological activities of essential oil from *Chimonanthus* Lindl.

HE De-ying, XIAO Wei-yi, LI Cheng, ZOU Zheng-rong*

College of Life Sciences, Jiangxi Normal University;

Key Laboratory of Protection and Utilization of Subtropic Plant Resources of Jiangxi Province, Nanchang 330022, China

Abstract: *Chimonanthus* Lindl. is a unique traditional medicinal plant in China, with a wide distribution and abundant resources. The essential oil is one of the main active components of the plant, including terpenoids, aromatic compounds and aliphatic compounds, which have pharmacological activities such as antibacterial, anti-inflammatory, antioxidant, antiviral and cough suppressant. It has good therapeutic effects on diseases such as vascular dementia, acute lung injury and ulcerative colitis. This paper presents a systematic classification of the chemical structures and synthesis pathways of essential oil components of *Chimonanthus* Lindl. and provides a brief overview of the related biological activities in order to make references for the further development and utilization of *Chimonanthus* Lindl.

Key words: *Chimonanthus* Lindl.; plant essential oil; chemical structure; pharmacological activity

蜡梅属 (*Chimonanthus* Lindl.) 是我国特有的属,根据《中国植物志》该属包括 6 个种:蜡梅 (*C. praecox*)、山蜡梅 (*C. nitens* Oliv)、柳叶蜡梅 (*C. salicifolius*)、西南蜡梅 (*C. campanulatus*)、浙江蜡梅 (*C. zhejiangensis*) 和突托蜡梅 (*C. grammatus*)^[1]。Chen 等^[2]将突托蜡梅归属为蜡梅属的变种。蜡梅不仅有较高的观赏性,还有极高的食用与药用价值。山蜡梅叶和柳叶蜡梅叶可制成香风茶,又名石凉茶,具有抑菌抗炎^[3]、预防感冒^[4]、降血糖^[5]和镇咳止喘^[6]的作用,其能流行起来,很大程度上是因为它

在治疗胃胀、降低血脂、预防中暑和提高免疫力方面的功效^[7]。黄酮、生物碱、香豆素、甾体和木质素等类型的化合物是蜡梅属中的非挥发性成分,而精油是挥发性成分,具有独特的香气。蜡梅属植物精油成分复杂,化合物种类主要包括萜类化合物、芳香族化合物和脂肪族化合物等三大类型,其中单萜与倍半萜化合物的含量最为丰富。许多药理研究都表明蜡梅属精油具有抑菌^[8]、抗炎^[9]、抗氧化^[10,11]、抗病毒^[12]、镇咳平喘^[13]和减脂^[14]等活性,对血管性痴呆^[15]、急性肺损伤^[16]和溃疡性结肠炎^[17]等疾病有较好的治疗作用。

近年来,对蜡梅属植物的关注越来越广泛,研究主要聚焦在品种分类、种质资源、分子生物学和病理应用等方面,但是对挥发性成分的综合研究有待深

收稿日期:2022-08-22

接受日期:2022-12-20

基金项目:国家自然科学基金(31260082,31760099)

*通信作者 Tel:86-791-88120399; E-mail:zouzhr@jxnu.edu.cn

人。本文对新近报道的蜡梅属植物精油成分进行了分类整理,包括蜡梅花、蜡梅叶、蜡梅籽、蜡梅根、蜡梅果皮、突托蜡梅花、山蜡梅花、山蜡梅叶、山蜡梅嫩梢、浙江蜡梅叶、浙江蜡梅花、柳叶蜡梅茎、柳叶蜡梅花和柳叶蜡梅叶等不同种类与不同器官的研究,并概述了它们的药理活性,以期为进一步开发和利用蜡梅属植物的精油资源提供有益参考。

1 蜡梅属植物精油的化学成分

精油是从芳香植物原料中提取的油性芳香液体,是由多种类型化合物组成的混合物。作为次生代谢产物,植物精油可以在花蕾、叶片、种子、树皮和根茎等不同的器官中进行生物合成^[18]。虽然精油的组成成分复杂,但基本的化合物类型主要包括萜类及其含氧衍生物、芳香族和脂肪族及其含氧衍生物等类型。作者查阅近十年来关于蜡梅属植物精油的研究文献,从中筛选出含量大于0.5%的化合物140个,其中萜类占75.0%,是植物精油的主要化合物类型;脂肪族化合物占18.6%,芳香族化合物占6.4%。

1.1 萜类化合物

萜类化合物是天然产物中的一类非常重要的次生代谢产物,在自然界中分布广泛,数量庞大,结构类型多样,大部分都具有重要的生物活性。从化学结构特征看,萜类化合物是异戊二烯的聚合物及其衍生物,根据结构中异戊二烯单元的数目可分为单萜(C_5H_8)、单萜($C_{10}H_{16}$)、倍半萜($C_{15}H_{24}$)、二萜($C_{20}H_{32}$)等。蜡梅属植物精油的主要组成成分是单萜、倍半萜及其含氧衍生物。

1.1.1 单萜、倍半萜化合物的生物合成途径

单萜与倍半萜的生物合成途径主要由3个阶段组成。第一阶段生成 C_5 的前体异戊烯基二磷酸酯(isopentenyl diphosphate, IPP)及其双键异构体二甲烯丙基焦磷酸(dimethylallyl diphosphate, DMAPP)。它们由两条途径形成,分别是位于细胞质的甲羟戊酸(mevalonic acid, MVA)途径和位于质体的甲基赤藓醇-4-磷酸(methylerythritol phosphate, MEP)途径(见图1)。第二阶段生成直接前体物质焦磷酸香叶酯(geranyl diphosphate, GPP)和焦磷酸金合欢酯(farnesyl diphosphate, FPP)。第三阶段是萜类化合物的生成与修饰,直接前体物质在萜类合成酶(terpene synthases, TPS)催化下分别形成单萜和倍半萜化合物,后经酶的修饰形成结构多样的萜类化合物^[19-21]。

在MVA途径中,以2分子的乙酰-CoA(acetyl-CoA)为原料,在乙酰乙酰-CoA硫解酶(acetoacetyl CoA thiolase, AACT)催化下缩合成乙酰乙酰-CoA(acetoacetyl-CoA, AcAc-CoA),然后在3-羟基-3-甲基戊二酰CoA合成酶(3-hydroxy-3-methylglutaryl CoA synthase, HMGS)作用下与第三个乙酰-CoA缩合形成HMG-CoA,随后在HMG-CoA还原酶(HMG-CoA reductase, HMGR)作用下还原成MVA。接下来MVA依次受甲羟戊酸激酶(mevalonate kinase, MK)、磷酸戊酸激酶(phosphomevalonate kinase, PMK)和焦磷酸甲羟戊酸脱羧酶(mevalonate diphosphate decarboxylase, MVD)的催化作用,转化为5-磷酸甲羟戊酸(mevalonate 5-phosphate, MVAP)、焦磷

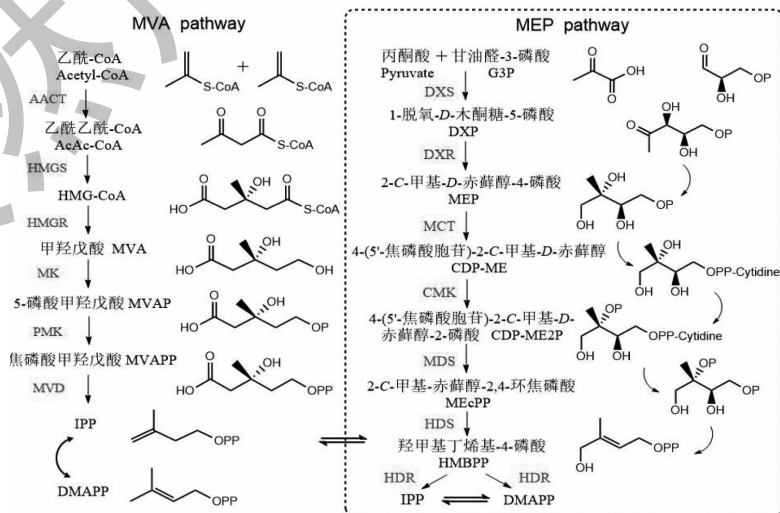


图1 单萜、倍半萜化合物的生物合成途径

Fig. 1 The biosynthesis pathways of monoterpenoid and sesquiterpenoid

酸甲羟戊酸 (mevalonate diphosphate, MVAPP) 和 IPP。而 IPP 可以在异戊烯基二磷酸异构酶 (isopentenyl diphosphate isomerase, IDI) 的催化下发生可逆反应生成它的同分异构体 DMAPP^[22,23]。

在 MEP 途径中,丙酮酸 (pyruvate) 和甘油醛-3-磷酸 (glyceraldehyde-3-phosphate, G3P) 在 1-脱氧-D-木酮糖合成酶 (1-deoxy-D-xylulose-5-phosphate synthase, DXS) 催化下生成 1-脱氧-D-木酮糖-5-磷酸 (1-deoxy-D-xylulose 5-phosphate, DXP), 而后在 1-脱氧-D-木酮糖-5-磷酸还原酶 (DXP reductoisomerase, DXR) 作用下还原成 MEP。接下来 MEP 依次受 2-C-甲基-D-赤藓醇-4-磷酸胞苷转移酶 (2-C-methyl-D-erythritol-4-phosphate cytidyltransferase, MCT)、4-(5'-焦磷酸胞苷)-2-C-甲基-D-赤藓醇激酶 (4-(cytidine 5'-diphospho)-2-C-methyl-D-erythritol kinase, CMK)、2-C-甲基-D-赤藓醇-2,4-环焦磷酸合成酶 (2-C-methyl-D-erythritol-2, 4-cyclodiphosphate synthase, MDS) 和羟甲基丁烯酸-4-磷酸合酶 (4-hydroxy-3-methylbut-2-enyl diphosphate synthase, HDS) 催化作用, 转化为 4-(5'-焦磷酸胞苷)-2-C-甲基-D-赤藓醇 (4-(cytidine 5'-diphospho)-2-C-methyl-D-erythritol, CDP-ME)、4-(5'-焦磷酸胞苷)-2-C-甲基-D-赤藓醇-2-磷酸 (4-(cytidine 5'-diphospho)-2-C-methyl-D-erythritol phosphate, CDP-ME2P)、2-C-甲基-D-赤藓醇-2,4-环焦磷

酸 (2-C-methyl-D-erythritol-2, 4-cyclodiphosphate, MEcPP) 和羟甲基丁烯基-4-磷酸 (4-hydroxy-3-methylbut-2-enyl diphosphate, HMBPP)。最后被羟甲基丁烯基-4-磷酸还原酶 (4-hydroxy-3-methylbut-2-enyl diphosphate reductase, HDR) 还原为 IPP 和 DMAPP^[24,25]。

IPP 和 DMAPP 在短链戊烯基转移酶的催化活性下头尾相接, 形成线性戊烯基二磷酸酯, 作为所有萜类化合物的中心前体。GPP 是所有单萜的前体, 焦磷酸橙花酯 (neryl diphosphate, NPP) 也被证明是规则单萜类化合物的前体^[26]。FPP 则是倍半萜的前体物质。

1.1.2 单萜

单萜依据碳骨架的特征, 可分为链状单萜、环状单萜和变形单萜。在蜡梅属植物精油成分中, 暂未发现变形单萜成分。公开报道的单萜类成分有 8 个链状单萜化合物、10 个单环单萜化合物、6 个双环单萜化合物和 1 个三环单萜化合物, 具体名称与结构见表 1 与图 2。笔者对相关文献进行认真阅读和整理分析, 发现桉叶油醇 (eucalyptol, **18**)、 α -蒎烯 (α -pinene, **19**)、苧烯 (camphene, **21**)、樟脑 (camphor, **22**)、龙脑 (borneol, **23**) 和乙酸冰片酯 (bornyl acetate, **24**) 等化合物在蜡梅属植物精油研究报道中的出现频率较高, 在不同蜡梅属植物的器官中都有发现。

表 1 蜡梅属中的单萜类化合物

Table 1 Monoterpenoids from *Chimonanthus* Lindl.

编号 No.	化合物 Compound	分子式 Molecular formula	来源 Source	参考文献 Ref.
链状单萜 Acyclic monoterpenoids				
1	α -月桂烯 α -Myrcene	C ₁₀ H ₁₆	柳叶蜡梅叶、突托蜡梅花	28,36
2	β -月桂烯 β -Myrcene	C ₁₀ H ₁₆	蜡梅叶、山蜡梅嫩梢、浙江蜡梅叶	31,35,39
3	β -罗勒烯 β -Ocimene	C ₁₀ H ₁₆	蜡梅花、蜡梅叶	30,31,33,35
4	蒿三烯 Artemisia triene	C ₁₀ H ₁₆	蜡梅花	38
5	香叶醇 Geraniol	C ₁₀ H ₁₈ O	柳叶蜡梅茎、蜡梅叶、浙江蜡梅叶	29,31,35
6	芳樟醇 Linalool	C ₁₀ H ₁₈ O	蜡梅叶、蜡梅花	31,33,38
7	乙酸香叶酯 Geranyl acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	柳叶蜡梅叶、浙江蜡梅叶	30,31,35
8	乙酸芳樟酯 Linalyl ester	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	突托蜡梅花、蜡梅花、山蜡梅花、柳叶蜡梅花	36
单环单萜 Monocyclic monoterpenoids				
9	松油烯 Terpinene	C ₁₀ H ₁₆	蜡梅叶、山蜡梅嫩梢	31,33,39
10	柠檬烯 Limonene	C ₁₀ H ₁₆	蜡梅叶	31,35
11	α -水芹烯 α -Phellandrene	C ₁₀ H ₁₆	蜡梅叶、山蜡梅花、山蜡梅嫩梢	35,36,39

续表 1 (Continued Tab. 1)

编号 No.	化合物 Compound	分子式 Molecular formula	来源 Source	参考文献 Ref.
12	β -水芹烯 β -Phellandrene	$C_{10}H_{16}$	蜡梅叶、山蜡梅嫩梢	35,39
13	龙脑烯醛 α -Campholenaldehyde	$C_{10}H_{16}O$	柳叶蜡梅茎	29
14	α -松油醇 α -Terpineol	$C_{10}H_{18}O$	柳叶蜡梅茎、突托蜡梅花、山蜡梅叶	27,29,36
15	4-松油醇 4-Terpineol	$C_{10}H_{18}O$	蜡梅叶	31,35
16	α -乙酸松油酯 α -Terpinyl acetate	$C_{12}H_{20}O_2$	突托蜡梅花、山蜡梅花、蜡梅花、柳叶蜡梅花	36
17	β -乙酸松油酯 β -Terpinyl acetate	$C_{12}H_{20}O_2$	突托蜡梅花、山蜡梅花、蜡梅花、柳叶蜡梅花	36
18	桉叶油醇 Eucalyptol	$C_{10}H_{18}O$	山蜡梅叶、山蜡梅花、柳叶蜡梅叶、柳叶蜡梅茎、柳叶蜡梅花、蜡梅叶、蜡梅果皮、蜡梅根、蜡梅花、突托蜡梅花、浙江蜡梅叶、浙江蜡梅花	8,27,31,34-36
双环单萜 Bicyclic monoterpenoids				
19	α -蒎烯 α -Pinene	$C_{10}H_{16}$	山蜡梅叶、山蜡梅花、山蜡梅嫩梢、柳叶蜡梅叶、柳叶蜡梅茎、柳叶蜡梅花、蜡梅叶、蜡梅根、浙江蜡梅叶、浙江蜡梅花	8,27-29,31,35,36,39
20	β -蒎烯 β -Pinene	$C_{10}H_{16}$	柳叶蜡梅茎、蜡梅叶、山蜡梅嫩梢、蜡梅根	8,29,31,35,39
21	莜烯 Camphene	$C_{10}H_{16}$	柳叶蜡梅叶、突托蜡梅花、山蜡梅叶、蜡梅根、浙江蜡梅叶	8,27,28,35,36
22	樟脑 Camphor	$C_{10}H_{16}O$	山蜡梅叶、山蜡梅嫩梢、山蜡梅花、柳叶蜡梅茎、浙江蜡梅花	27,29,36,39
23	龙脑 Borneol	$C_{10}H_{18}O$	柳叶蜡梅叶、柳叶蜡梅茎、蜡梅果皮、蜡梅根、浙江蜡梅叶	8,28,29,31,34,35
24	乙酸冰片酯 Bornyl acetate	$C_{12}H_{20}O_2$	柳叶蜡梅叶、柳叶蜡梅花、蜡梅花、蜡梅果皮、蜡梅根、突托蜡梅花、山蜡梅花、浙江蜡梅花、浙江蜡梅叶	8,28,30,34-36
三环单萜 Tricyclic monoterpenoids				
25	三环烯 Tricyclene	$C_{10}H_{16}$	蜡梅根	8

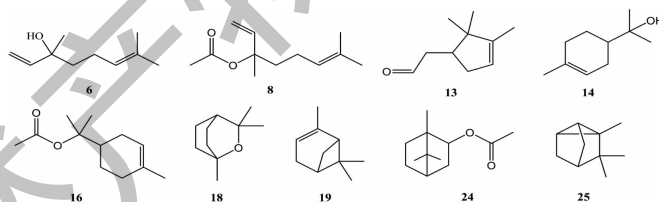


图 2 蜡梅属植物中单萜类代表化合物的结构

Fig. 2 Structures of representative monoterpenoids from *Chimonanthus* Lindl.

1.1.3 倍半萜

倍半萜依据碳骨架的特征,可分为无环倍半萜、环状倍半萜和萜类衍生物。倍半萜类是高沸点芳香植物精油的主要组成成分,虽然碳骨架只有 15 个碳原子,但由于生物体内多种酶参与的次生代谢过程产生了许多的基本碳骨架和复杂的衍生物,数量居萜类化合物之首。

在蜡梅属植物精油成分中,暂未发现萜类衍生物,公开报道的倍半萜类成分包括 3 个无环倍半萜、12 个单环倍半萜,48 个双环倍半萜和 17 个三环倍

半萜,涉及的基本碳骨架包括金合欢烷、没药烷、蛇麻烷、吉马烷、榄香烷、桉叶烷、杜松烷、愈创烷、石竹烷、柏木烷、广藿香烷、衣兰烷、香木兰烷、葑澄茄烷和长叶烷等^[40],结构复杂多样。这些倍半萜化合物多数是在蜡梅属植物的花和叶片的精油中发现;而如顺式-橙花叔醇(*cis*-nerolidol, **28**)、 β -榄香烯(β -elemene, **31**)、大根香叶烯 D (germacrene D, **32**)、石竹烯(caryophyllene, **43**)、 γ -杜松烯(γ -cadinene, **48**)、石竹烯氧化物(caryophyllene oxide, **66**)、桉油烯醇(spathulenol, **69**)、杜松醇(cadinol, **73**)和古巴烯(co-

paene, 91) 等则发现于多个器官提取的精油中, 其中 具体化合物名称与结构见表 2 与图 3、4。
化合物 83 ~ 88 是从蜡梅叶中新分离纯化得到的。

表 2 蜡梅属中的倍半萜类化合物

Table 2 Sesquiterpenoids from *Chimonanthus* Lindl.

编号 No.	化合物 Compound	分子式 Molecular formula	来源 Source	参考文献 Ref.
无环倍半萜 Acyclic sesquiterpenoids				
26	α -金合欢烯 α -Farnesene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅花、蜡梅叶、山蜡梅花、浙江蜡梅花、柳叶蜡梅花	30, 31, 35, 36 38
27	金合欢醇 Farnesol	C ₁₅ H ₂₆ O	柳叶蜡梅叶	28
28	顺式-橙花椒醇 <i>cis</i> -Nerolidol	C ₁₅ H ₂₆ O	柳叶蜡梅茎、柳叶蜡梅花、蜡梅叶、蜡梅果皮、蜡梅花	8, 29, 31 34, 36, 38
单环倍半萜 Monocyclic sesquiterpenoids				
29	α -芳姜黄烯 α -Curcumene	C ₁₅ H ₂₂	蜡梅叶、蜡梅果皮	8
30	γ -榄香烯 γ -Elemene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅叶、蜡梅花	31, 35, 38
31	β -榄香烯 β -Elemene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅花、蜡梅叶、突托蜡梅花、柳叶蜡梅花、山蜡梅花、浙江蜡梅花	30, 31 36-38
32	大根香叶烯 D Germacrene D	C ₁₅ H ₂₄	柳叶蜡梅叶、柳叶蜡梅茎、蜡梅花、蜡梅叶、蜡梅果皮、 突托蜡梅花、山蜡梅花、浙江蜡梅花、浙江蜡梅叶	28-31, 34-36
33	大根香叶烯 B Germacrene B	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅叶	31
34	甘香烯 Elixene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅叶	31
35	蛇麻烯 Humulene	C ₁₅ H ₂₄	突托蜡梅花、蜡梅叶、蜡梅花、山蜡梅花、柳叶蜡梅花、浙江蜡梅花	35, 36, 38
36	黑蚁素 Dendrolasin	C ₁₅ H ₂₂ O	突托蜡梅花、山蜡梅花、蜡梅花、柳叶蜡梅花、浙江蜡梅花	36
37	环氧化蛇麻烯 II Humulene epoxide II	C ₁₅ H ₂₄ O	蜡梅叶	31
38	榄香醇 Elemol	C ₁₅ H ₂₆ O	蜡梅叶、蜡梅花	8, 31, 38
39	大根香叶烯 D-4-醇 Germacrene D-4-ol	C ₁₅ H ₂₆ O	柳叶蜡梅花、突托蜡梅花、蜡梅花、山蜡梅花、浙江蜡梅花	36, 38
40	四甲基环癸二烯甲 Hedycaryol	C ₁₅ H ₂₆ O	蜡梅花、山蜡梅花、柳叶蜡梅花、浙江蜡梅花	36
双环倍半萜 Bicyclic sesquiterpenoids				
41	白菖考烯 α -Calacorene	C ₁₅ H ₂₀	柳叶蜡梅茎、蜡梅花	29, 36
42	顺-菖蒲烯 <i>cis</i> -Calamenene	C ₁₅ H ₂₂	突托蜡梅花、柳叶蜡梅花、蜡梅花、浙江蜡梅花	36
43	石竹烯 Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	山蜡梅嫩梢、山蜡梅叶、山蜡梅花、柳叶蜡梅茎、柳叶蜡梅花、 蜡梅花、蜡梅叶、突托蜡梅花、浙江蜡梅花、浙江蜡梅叶	8, 27, 29-31, 35, 36, 38, 39
44	反式石竹烯 β -Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅叶、蜡梅果皮	8
45	异石竹烯 Isocaryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅花、突托蜡梅花、山蜡梅花	33, 36
46	α -愈创木烯 α -Guaiene	C ₁₅ H ₂₄	柳叶蜡梅叶、蜡梅花	28, 30
47	δ -杜松烯 δ -Cadinene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅叶、蜡梅根	8, 31, 35, 38
48	γ -杜松烯 γ -Cadinene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅果皮、蜡梅叶、蜡梅花、蜡梅根	8, 34, 35, 38
49	β -杜松烯 β -Cadinene	C ₁₅ H ₂₄	柳叶蜡梅茎	29
50	马兜铃烯 Aristolene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅花	30
51	异喇叭烯 Isoledene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅花、浙江蜡梅叶	30, 35
52	表圆线藻烯 Epizonarene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅花	30
53	芹子烯 Selinene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅花、蜡梅叶	30, 31
54	γ -芹子烯 γ -Selinene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅果皮	34
55	γ -古芸烯 γ -Gurjunene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅叶	31
56	7-epi-Sesquithujene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅花	33
57	杜松-1(10),4-二烯 Cadina-1(10),4-diene	C ₁₅ H ₂₄	突托蜡梅花、蜡梅花、柳叶蜡梅花、山蜡梅花、浙江蜡梅花	36, 38

续表 2(Continued Tab. 2)

编号 No.	化合物 Compound	分子式 Molecular formula	来源 Source	参考文献 Ref.
58	双环吉玛烯 Bicyclgermacrene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅花	38
59	1,2,4a,5,8,8a-六氢-4,7-二甲基-1-异丙基-萘 1-Isopropyl-4,7-dimethyl-1,2,4a,5,8,8a-hexahydronaphthalene	C ₁₅ H ₂₄	山蜡梅叶、柳叶蜡梅茎	27,29
60	1,2,4a,5,6,8a-六氢-4,7-二甲基-1-异丙基-萘 1-Isopropyl-4,7-dimethyl-1,2,4a,5,6,8a-hexahydronaphthalene	C ₁₅ H ₂₄	柳叶蜡梅茎	29
61	1,2,3,4,4a,7-六氢-1,6-二甲基-1-异丙基-萘 4-Isopropyl-1,6-dimethyl-1,2,3,4,4a,7-hexahydronaphthalene	C ₁₅ H ₂₄	柳叶蜡梅茎	29
62	1,2,3,4,4a,5,6,8a-八氢-7-甲基-4-亚甲基-1-异丙基-萘 1-Isopropyl-7-methyl-4-methylene-1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydronaphthalene	C ₁₅ H ₂₄	柳叶蜡梅茎、蜡梅花	29,30
63	1,2,3,5,6,7,8,8a-八氢-4,8a-二甲基-6-异丙基-2-萘酚 6-Isopropenyl-4,8a-dimethyl-1,2,3,5,6,7,8,8a-octahydro-2-naphthalenol	C ₁₅ H ₂₆ O	蜡梅花、山蜡梅花、柳叶蜡梅花、浙江蜡梅花	36
64	诺卡酮 Nootkatone	C ₁₅ H ₂₂ O	蜡梅果皮	34
65	马兜铃酮 Aristolone	C ₁₅ H ₂₂ O	蜡梅果皮	34
66	石竹烯氧化物 Caryophyllene oxide	C ₁₅ H ₂₄ O	蜡梅果皮、蜡梅籽、蜡梅花、蜡梅根、柳叶蜡梅茎、柳叶蜡梅花、山蜡梅花、突托蜡梅花、浙江蜡梅花	8,29,34 36-38
67	氧化喇叭烯 Ledene oxide-1	C ₁₅ H ₂₄ O	山蜡梅叶、蜡梅花、突托蜡梅花、浙江蜡梅花	27,36
68	环氧化白莪油萜 Calarene epoxid	C ₁₅ H ₂₄ O	山蜡梅叶、浙江蜡梅叶	27,35
69	桉油烯醇 Spathulenol	C ₁₅ H ₂₄ O	蜡梅叶、蜡梅籽、蜡梅花、突托蜡梅花、山蜡梅嫩梢、浙江蜡梅花、柳叶蜡梅花	31,36,37,39
70	茅苍术醇 Hinesol	C ₁₅ H ₂₆ O	蜡梅花	30
71	沉香螺萜醇 Agrarospinol	C ₁₅ H ₂₆ O	蜡梅花	30
72	杜香醇 Ledol	C ₁₅ H ₂₆ O	蜡梅花	30
73	杜松醇 Cadinol	C ₁₅ H ₂₆ O	蜡梅花、蜡梅果皮、蜡梅根	8,30,34
74	β-杜松醇 β-Cadinol	C ₁₅ H ₂₆ O	蜡梅花	38
75	τ-杜松醇 τ-Cadinol	C ₁₅ H ₂₆ O	蜡梅花、蜡梅根、蜡梅叶	8,38
76	木罗醇 Muurulol	C ₁₅ H ₂₆ O	蜡梅花、蜡梅叶	30,35
77	杜松脑 Juniper camphor	C ₁₅ H ₂₆ O	蜡梅叶	31
78	绿花白千层醇 Viridiflorol	C ₁₅ H ₂₆ O	蜡梅果皮	34
79	胡萝卜烯醇 Carotol	C ₁₅ H ₂₆ O	蜡梅果皮、蜡梅花、浙江蜡梅叶	34,35,38
80	蓝桉醇 Globulol	C ₁₅ H ₂₆ O	蜡梅花	36
81	葎澄茄油烯醇 Cubenol	C ₁₅ H ₂₆ O	柳叶蜡梅花、浙江蜡梅花	36
82	β-桉叶醇 β-Eudesmol	C ₁₅ H ₂₈ O	蜡梅花、蜡梅籽、柳叶蜡梅花、浙江蜡梅花、山蜡梅花	36,38
83	Chimnitensin A	C ₁₅ H ₂₆ O ₂	蜡梅叶	32
84	Chimnitensin B	C ₁₅ H ₂₆ O ₂	蜡梅叶	32
85	Chimnitensin C	C ₁₇ H ₂₈ O ₃	蜡梅叶	32
86	Chimnitensin D	C ₁₇ H ₂₈ O ₃	蜡梅叶	32
87	Chimnitensin E	C ₁₅ H ₂₆ O ₂	蜡梅叶	32
88	Chimnitensin F	C ₁₅ H ₂₈ O ₃	蜡梅叶	32

续表 2 (Continued Tab. 2)

编号 No.	化合物 Compound	分子式 Molecular formula	来源 Source	参考文献 Ref.
三环倍半萜 Tricyclic sesquiterpenoids				
89	β -广藿香烯 β -Patchoulene	C ₁₅ H ₂₄	柳叶蜡梅茎	29
90	长叶烯 Longifolene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅花、蜡梅叶	30, 31
91	古巴烯 Copaene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅花、蜡梅叶、蜡梅果皮、 山蜡梅花	8, 30, 36, 38
92	衣兰烯 Ylangene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅叶	31
93	α -葎澄茄油烯 α -Cubebene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅果皮、突托蜡梅花	34, 36
94	β -葎澄茄油烯 β -Cubebene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅花	38
95	檀香烯 Santalene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅果皮	34
96	雪松烯 α -Cedrene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅叶、浙江蜡梅叶	35
97	别香橙烯 Alloaromadendrene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅叶	35
98	绿叶烯 α -Patchoulene	C ₁₅ H ₂₄	蜡梅根	8
99	长叶醛 Longifolenaldehyde	C ₁₅ H ₂₄ O	蜡梅叶	35
100	氧化香橙烯-1 Aromadendrene oxide-1	C ₁₅ H ₂₄ O	山蜡梅叶	27
101	氧化香橙烯-2 Aromadendrene oxide-2	C ₁₅ H ₂₄ O	山蜡梅叶、柳叶蜡梅叶	27, 28
102	异构环氧化香橙烯 Isoaromadendrene epoxide	C ₁₅ H ₂₄ O	山蜡梅叶、山蜡梅花、蜡梅花、 突托蜡梅花、柳叶蜡梅花、浙江蜡梅花	27, 36
103	α -檀香醇 α -Santalol	C ₁₅ H ₂₄ O	柳叶蜡梅叶	28
104	环氧柏木烷 α -Cedrene epoxide	C ₁₅ H ₂₄ O	蜡梅花、蜡梅叶	30, 35
105	雪松醇 Cedrol	C ₁₅ H ₂₆ O	蜡梅花	33

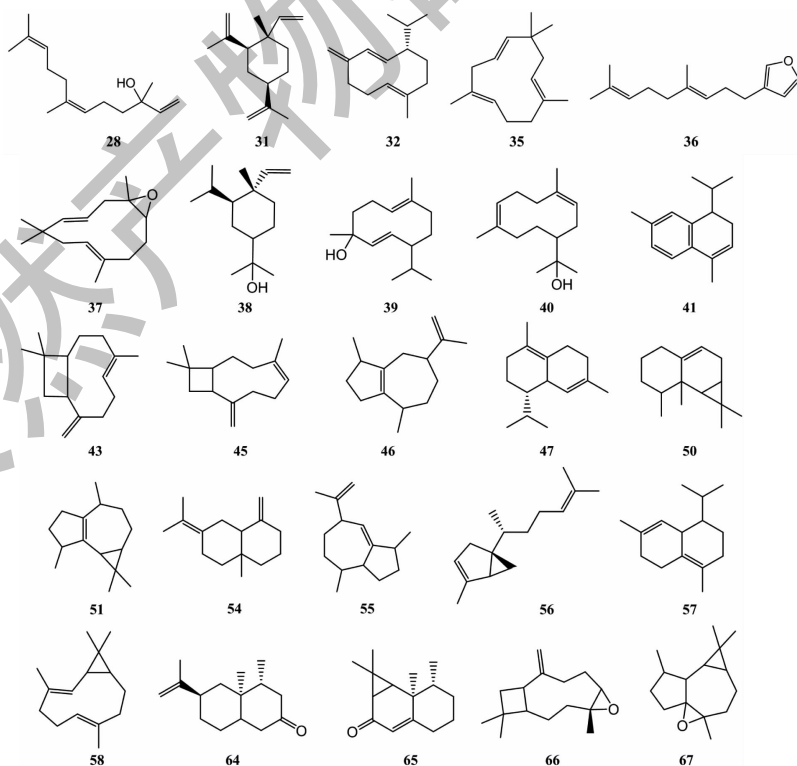


图 3 蜡梅属中的倍半萜类代表化合物的结构

Fig. 3 Structures of representative sesquiterpenoids compounds from *Chimonanthus* Lindl.

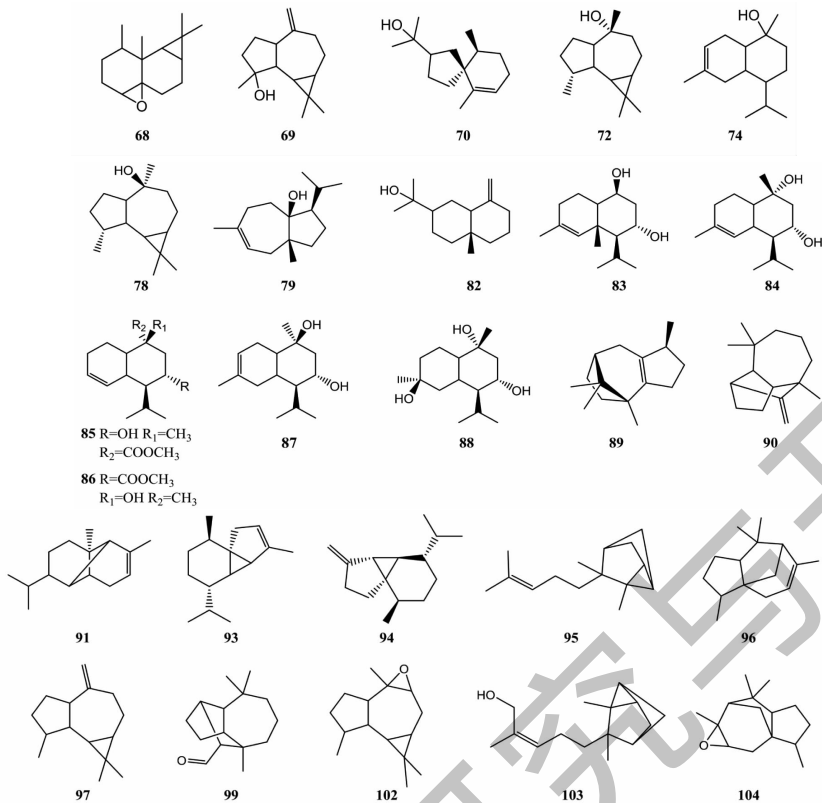


图4 蜡梅属中的倍半萜类代表化合物的结构

Fig. 4 Structures of representative sesquiterpenoids compounds from *Chimonanthus* Lindl.

1.2 芳香族化合物

芳香族化合物在精油中的分布也十分广泛,在蜡梅属植物精油的文献中整理得到9个芳香族化合物,主要是在蜡梅花精油中发现,此类化合物也是蜡梅植物精油中分布最少的,具体化合物名称与结构见表3与图5。

萜类、苯丙类和脂肪族衍生物是观赏性植物的主要花香化合物,不同植物的花这三类化合物的含量也不同^[41]。有研究发现苯甲醇(benzyl alcohol, **106**)、乙酸苯甲酯(benzyl acetate, **108**)和丁香酚(eugenol, **109**)是蜡梅花的典型花香化合物^[42]。

表3 蜡梅属中的芳香族类化合物

Table 3 Aromatic compounds from *Chimonanthus* Lindl.

编号 No.	化合物 Compound	分子式 Molecular formula	来源 Source	参考文献 Ref.
106	苯甲醇 Benzyl alcohol	C ₇ H ₈ O	蜡梅花	33
107	水杨酸甲酯 Methyl salicylate	C ₈ H ₈ O ₃	蜡梅花	33
108	乙酸苯甲酯 Benzyl acetate	C ₉ H ₁₀ O ₂	蜡梅花	30, 33
109	丁香酚 Eugenol	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	蜡梅花	33
110	4-丁基苯乙酮 4-Butylacetophenone	C ₁₂ H ₁₆ O	蜡梅花	30
111	2,4-二叔丁基苯酚 2,4-Di-tert-butyl-phenol	C ₁₄ H ₂₂ O	柳叶蜡梅叶	28
112	2,6-二叔丁基对甲酚 Butylated hydroxytoluene	C ₁₅ H ₂₄ O	柳叶蜡梅叶	28
113	邻乙酰苯酚 <i>o</i> -Acetoacetylphenol	C ₁₀ H ₁₀ O ₃	蜡梅花	30
114	邻-异丙基苯 <i>o</i> -Cymene	C ₁₀ H ₁₄	山蜡梅嫩梢	39

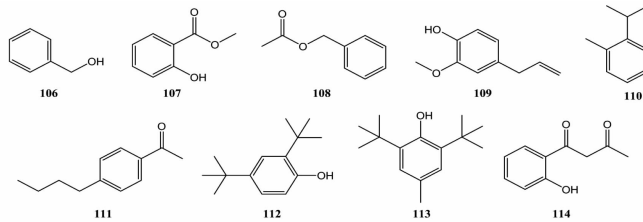


图5 蜡梅属中的芳香族类代表化合物的结构

Fig. 5 Structures of representative aromatic compounds from *Chimonanthus Lindl.*

1.3 脂肪族化合物

植物精油中也存在一些小分子的脂肪族化合物,包括烷烃、烯烃、酸、醛、酮、醇和酯等,从蜡梅属

植物精油相关报道中整理得到26个脂肪族化合物,具体名称与结构见表4与图6。

表4 蜡梅属中的脂肪族类化合物

Table 4 Aliphatic compounds from *Chimonanthus Lindl.*

编号 No.	化合物 Compound	分子式 Molecular formula	来源 Source	参考文献 Ref.
115	十五烷 Pentadecane	C ₁₅ H ₃₂	柳叶蜡梅叶	28
116	正十六烷 <i>n</i> -Hexadecane	C ₁₆ H ₃₄	蜡梅花	33
117	十七烷 Heptadecane	C ₁₇ H ₃₆	柳叶蜡梅叶、柳叶蜡梅茎	28, 29
118	十九烷 Nonadecane	C ₁₉ H ₄₀	蜡梅花	38
119	二十八烷 Octacosane	C ₂₈ H ₅₈	柳叶蜡梅茎	29
120	正三十五烷 <i>n</i> -Pentatriacontene	C ₃₅ H ₇₂	蜡梅籽	37
121	1-十九烯 1-Nonadecene	C ₁₉ H ₃₈	蜡梅花	38
122	(<i>Z</i>)-9-二十三烯 (<i>Z</i>)-9-Tricosene	C ₂₃ H ₄₆	蜡梅花	38
123	2-己烯醛 2-Hexenal	C ₆ H ₁₂ O	山蜡梅嫩梢	39
124	正己醛 Hexanal	C ₆ H ₁₂ O	山蜡梅嫩梢	39
125	壬醛 Nonanal	C ₉ H ₁₈ O	蜡梅花	38
126	癸二酸 Sebacic acid	C ₁₀ H ₁₈ O ₄	蜡梅籽	37
127	6,6,10-甲基碳-3,8,10-三烯-2,7-二酮 6,6,10-Trimethylundeca-3,8,10-triene-2,7-dione	C ₁₄ H ₂₀ O ₂	蜡梅叶	35
128	<i>Z,Z</i> -10,12-十六二醛 <i>Z,Z</i> -10,12-Hexadecadienal	C ₁₆ H ₂₈ O	蜡梅花	38
129	棕榈酸 Palmitic acid	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	柳叶蜡梅茎、蜡梅叶、蜡梅籽	29, 31, 37
130	2,13-十八烷二烯-1-醇 2,13-Octadecadien-1-ol	C ₁₈ H ₃₄ O	蜡梅籽	37
131	亚油酸 Linoleic acid	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	柳叶蜡梅茎	29
132	戊酸-3,7-二甲基-2,6-辛二烯酯 3,7-Dimethylocta-2,6-dien-1-yl pentanoate	C ₁₅ H ₂₆ O ₂	蜡梅叶	31
133	棕榈酸甲酯 Methyl hexadecanoate	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	柳叶蜡梅茎、蜡梅籽	29, 37
134	十六烷酸甲酯 Hexadecanoic acid methyl ester	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	蜡梅籽	37
135	棕榈酸乙酯 Ethyl hexadecanoate	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	柳叶蜡梅茎	29
136	巴西酸亚乙酯 Ethylene brassylate	C ₁₅ H ₂₆ O ₄	柳叶蜡梅茎	29
137	亚油酸甲酯 Methyl linoleate	C ₁₉ H ₃₄ O ₂	柳叶蜡梅茎、蜡梅籽	29, 37
138	亚油酸乙酯 Ethyl linoleate	C ₂₀ H ₃₆ O ₂	柳叶蜡梅茎	29
139	亚麻酸甲酯 Methyl linolenate	C ₁₉ H ₃₂ O ₂	柳叶蜡梅茎	29
140	亚麻酸乙酯 Ethyl linolenate	C ₂₀ H ₃₄ O ₂	柳叶蜡梅茎	29

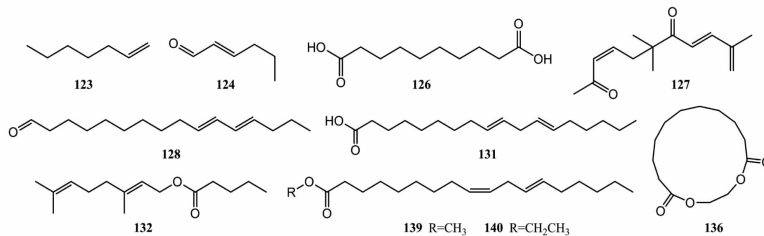


图6 蜡梅属中的脂肪族类代表化合物的结构

Fig. 6 Structures of representative aliphatic compounds from *Chimonanthus* Lindl.

2 蜡梅属植物精油成分的药理活性

2.1 抑菌作用

蜡梅属植物精油对病原真菌表现出抑制作用,如禾谷镰刀菌 (*Fusarium graminearum*)、核盘菌 (*Sclerotinia sclerotiorum*)、胶孢炭疽菌 (*Colletotrichum gloeosporioides*)、玉米大斑病菌 (*Helminthosporium turcicum*) 等^[35],而不同产地的蜡梅精油表现的抑菌作用存在一定的差异^[31]。研究发现萜类化合物是蜡梅属植物精油具有抑菌作用的主要物质。Lou 等^[43]在蜡梅茎和根中分离纯化得到 8 个倍半萜化合物,可以抑制金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*)、白色念珠菌 (*Candida albicans*)、大肠杆菌 (*Escherichia coli*) 和绿脓杆菌 (*Pseudomonas aeruginosa*) 的增殖,最小抑制浓度为 128 ~ 254 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。此外,蜡梅不同部位精油的抑菌效果也存有差异,Wang 等^[8]探究了蜡梅根、叶和果皮精油对细菌和真菌的抑制作用,对耐甲氧西林金黄色葡萄球菌 (methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*) 和人参锈腐 (*Cylindrocarpon destructans*) 的抑菌效果:蜡梅根 > 蜡梅叶 > 蜡梅果皮。而对小麦根腐病菌 (*Bipolaris sorokinianum*) 的抑制率则是:蜡梅果皮精油 (66.14%) > 蜡梅根精油 (63.21%) > 蜡梅叶精油 (55.53%)。

2.2 抗炎

抗炎作用是蜡梅属植物药理活性中研究最多的,多在香豆素、生物碱和黄酮类(如芦丁、槲皮素和山柰酚)化合物等非挥发性成分中发现^[44,45],但植物精油也有抗炎活性。Dai 等^[9]利用足肿胀模型证明了蜡梅花精油具有抗炎作用,能够抑制足部肿胀组织中肿瘤坏死因子- α (TNF- α) 和白细胞介素 (IL-1 β) 的增殖。Yuan 等^[13]通过耳肿胀模型,证明高、中、低剂量的山蜡梅叶精油均能显著抑制小鼠的耳肿胀,抑制率都大于 50%,其中高剂量组效果最

佳。

2.3 抗氧化

自由基是人体细胞代谢产生的副产物,如果不消除会对功能性大分子如 DNA、蛋白质和脂质造成氧化性伤害,蜡梅属植物精油被证实是有效的抗氧化剂。Lv 等^[10]通过对比蜡梅精油和半挥发性组分 (semi-volatile fractions, SVFs) 的抗氧化活性,发现 EOs 对 O_2^- 与 $\cdot\text{OH}$ 的抗氧化活性更高,对 DPPH \cdot 的抗氧化性较低,分析发现 EOs 中主要化学成分为含氧单萜、倍半萜,并推测萜类化合物具有与 SVFs 中的酚类化合物相似的清除自由基的作用。Zhou 等^[11]研究证明 2% 野生柳叶蜡梅叶挥发油对 ABTS 自由基和亚硝酸钠 (NaNO_2) 有清除效果,随精油体积的增加,清除率逐渐增加,两者间存在较好的量效关系。

2.4 抗病毒

蜡梅属植物精油具有抗病毒活性。Wu 等^[12]利用流感病毒感染传代犬肾细胞 (madin-darby canine kidney, MDCK),使其在感染病毒 48 h 后出现病变效应 (CPE),给予山蜡梅挥发油后 CPE 减弱,正常形态的细胞数量明显增加,病毒抑制率随药物浓度的上升而提高。这表明山蜡梅精油的组分可以穿入细胞,并对病毒基因组的释放、复制或转录等过程产生抑制或干扰作用。

2.5 镇咳平喘

蜡梅属植物的叶片可制成香风茶,因其具有镇咳平喘的活性在民间被广泛应用。Yuan 等^[13]研究证实山蜡梅叶挥发油的低、中、高剂量组用药均能明显延长小鼠的咳嗽潜伏期,减少小鼠咳嗽次数,而中高剂量的挥发油能显著延长大鼠的平喘潜伏期,其中高剂量效果最佳,延长率达 109.54%。

2.6 减脂作用

Chen 等^[14]研究山蜡梅叶精油对小鼠脂肪的合

成有干预作用,且对肌肉和体重无明显影响。其 Lee's 指数(反应小鼠肥胖程度的参数)均显著低于正常组,总脂肪指数有下降趋势,并显著降低血清甘油三酯和总胆固醇的含量;山蜡梅挥发油干预脂肪合成的一条途径就是抑制脂肪合酶(fatty acid synthase, FAS)的活性,从而抑制甘油三酯的合成,40mg 生药/mL 的精油即可抑制 50% 以上的酶活性。

2.7 其他活性

蜡梅属植物精油对临床上一些疾病的治疗也具有一定的生物活性。Wang 等^[15]发现山蜡梅叶挥发油可以改善血管性痴呆(vascular dementia, VD)大鼠认知功能障碍。山蜡梅叶挥发油使得大鼠逃避潜伏期缩短、穿越原平台次数增多、垂直得分和水平得分增高,血清指标超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性升高、丙二醛(malonaldehyde, MDA)含量下降。其机制可能与纠正大鼠脑组织氧化或抗氧化失衡,保护脑组织免于氧化损伤,并减轻海马区损伤有关。Wan 等^[16]研究证明山蜡梅叶精油对脂多糖(lipopolysaccharide, LPS)诱导的大鼠急性肺损伤有保护作用,可增加大鼠白细胞计数、降低免疫器官指数以及改善肺组织病理变化。在保护过程中炎症因子 IL-1 β 水平明显降低,同时,精油的保护作用伴随着脂质氧化的减弱和抗氧化酶的升高,表明抗氧化防御的增强与其对肺的保护作用有关。此外,与单纯应用 LPS 相比,精油与 LPS 的组合应用可增加丙酸、异丁酸、丁酸和异戊酸而显著增加短链脂肪酸(short-chain fatty acids, SCFAs)的含量。因此,山蜡梅精油可以通过控制异常炎症、纠正氧化还原系统和调节 SCFAs 来减轻 LPS 引起的急性肺损伤。He 等^[17]研究了蜡梅叶精油对葡聚糖硫酸钠(dextran sodium sulfate, DSS)诱导的小鼠溃疡性结肠炎(ulcerative colitis, UC)的保护作用,发现蜡梅叶精油可有效延迟小鼠体重减轻,明显恢复 DSS 引起的大鼠结肠长度缩短,且组织损伤也显著减少。此外精油剂量组可减轻 DSS 对结肠上皮细胞的损伤,抑制炎症细胞的浸润,维持肠上皮和腺体的完整性。

3 结语与展望

蜡梅属植物为我国所特有,分布广泛且具有很高的观赏性与药用价值,具有较大的开发潜力;其精油组成丰富,化合物类型多样,具有抑菌、抗炎、抗氧化、抗病毒和止咳平喘等药理活性,对血管性痴呆、急性肺损伤和溃疡性结肠炎等疾病有潜在的治疗作

用。但是目前有关蜡梅属植物资源研究与利用深度明显不足,具体表现为:蜡梅属植物的种质资源和系统进化需更加深入,对其种属分类依旧存在争议;其次,当前对蜡梅属精油药理活性的研究大多数都是基于未经分离纯化的精油,化学成分十分复杂,这导致对蜡梅属精油作用靶点及其作用机制等并没有得到很好的阐明;最后,萜类化合物是精油的主要成分,现在有许多研究表明一些植物中的萜类化合物是对抗疾病的有效成分,如倍半萜类的青蒿素可以对抗疟疾,环状倍半萜小白菊内酯可以抗亚马逊利什曼原虫,因此对植物精油中萜类化合物药理作用的探究需要进一步深入,特别是结构复杂多样的倍半萜类化合物,其不同类型碳骨架是否会对应不同的药理活性,这都有待研究人员去发现。深入研究蜡梅属精油的化学组成、生物活性、作用机理和构效关系将有助于更好地开发利用我国丰富的蜡梅属植物资源。

参考文献

- 1 The Editorial Committee of Flora of China. Flora of China(中国植物志)[M]. Beijing: Science Press, 2008, 7: 92-94.
- 2 Chen LQ. Research advances on Calycanthaceae[J]. Chin Landsc Arch(中国园林), 2012, 28: 49-53.
- 3 Wang N, et al. Phytochemical profile of ethanolic extracts of *Chimonanthus salicifolius* S. Y. Hu. leaves and its antimicrobial and antibiotic-mediating activity[J]. Ind Crops Prod, 2018, 125: 328-334.
- 4 Bi W, et al. Research progress and traditional application of Xiang-feng tea[J]. Mod Chin Med(中国现代中药), 2013, 15: 1012-1018.
- 5 Chen H, et al. Constituent analysis of the ethanol extracts of *Chimonanthus nitens* Oliv. leaves and their inhibitory effect on alpha-glucosidase activity[J]. Int J Biol Macromol, 2017, 98: 829-836.
- 6 Huang W, et al. Anticomplement and antitussive activities of major compound extracted from *Chimonanthus nitens* Oliv. leaf[J]. Biomed Chromatogr, 2020, 34: e4736.
- 7 Yang B, et al. Proteomics and metabolomics reveal the mechanism underlying differential antioxidant activity among the organs of two base plants of Shiliang tea (*Chimonanthus salicifolius* and *Chimonanthus zhejiangensis*)[J]. Food Chem, 2022, 385: 132698.
- 8 Wang ZF, et al. Chemical composition and in vitro antibacterial and antifungal activity of essential oils from different

- parts of *Chimonanthus praecox* (Linn.) Link [J]. Chin J Mod Appl Pharm(中国现代应用药理学),2019,36:901-905.
- 9 Dai WJ, et al. GC-MS analysis of essential oil extracted from *Chimonanthus praecox* flowers and exploration of its anti-inflammatory effect[J]. J Xi'an Jiaotong Univ Med Sci(西安交通大学学报医学版),2021,42:468-473.
- 10 Lv JS, et al. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activity of the extracts of the flowers of the Chinese plant *Chimonanthus praecox* [J]. Nat Prod Res, 2012, 26: 1363-1367.
- 11 Zhou J, et al. Study on chemical constituents of volatile oil from leaf of wild *Chimonanthus salicifolicus* with GC-MS analysis and their antioxidant activity [J]. West China J Pharm Sci(华西药理学杂志),2013,28:238-240.
- 12 Wu QH, et al. Study on anti-influenza virus effect *in vitro* of *Chimonanthus nitens* Oliv. leaf extract [J]. Lishizhen Med Mater Med Res(时珍国医国药),2020,31:536-538.
- 13 Yuan QQ, et al. Study on antiasthmatic, expectorant, anti-inflammatory and immunomodulatory effects of the essential oil of *Chimonanthus nitens* Oliv leaves[J]. Asia-Pac Tradit Med(亚太传统医药),2018,14:17-19.
- 14 Chen L, et al. Intervention effect of *Chimonanthus nitens* Oliv. leaf extract on the adipose tissue of mice[J]. Mod Food Sci Technol(现代食品科技),2014,30:13-17.
- 15 Wang Y, et al. Improving effect of volatile oil from *Chimonanthus nitens* Oliv. leaves on cognitive disorder in rats with vascular dementia[J]. J Anhui Agric Sci(安徽农业科学),2021,49:170-174.
- 16 Wan M, et al. *Chimonanthus nitens* Oliv. essential oil mitigates lipopolysaccharide-induced acute lung injury in rats [J]. Food Chem Toxicol,2021,156:112445.
- 17 He J, et al. Extraction, chemical composition, and protective effect of essential oil from *Chimonanthus nitens* Oliv. leaves on dextran sodium sulfate-induced colitis in mice [J]. Oxid Med Cell Longevity,2022,2022:9701938.
- 18 El Asbahani A, et al. Essential oils; from extraction to encapsulation [J]. Int J Pharm,2015,483:220-243.
- 19 Shi M, et al. Research progress in terms of the biosynthesis and regulation of terpenoids from medicinal plants [J]. Sci Sin: Vitae(中国科学:生命科学),2018,48:352-364.
- 20 Tholl D. Biosynthesis and biological functions of terpenoids in plants [J]. Adv Biochem Eng Biotechnol,2015,148:63-106.
- 21 Nagegowda DA, et al. Advances in biosynthesis, regulation, and metabolic engineering of plant specialized terpenoids [J]. Plant Sci,2020,294:110457.
- 22 Li YY. Study on accumulation of active components in *Salvia miltiorrhiza* and *Salvia castanea* and their response to methyl jasmonate treatment [D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University(浙江理工大学),2021.
- 23 Chen XY, et al. Research progress of dendrobine-type alkaloids and synthetic biology of dendrobine [J]. J Chongqing Technol Business Univ: Nat Sci(重庆工商大学学报:自科版),2021,38:8-18.
- 24 Huang Y, et al. Research progress in biosynthesis and regulation of plant terpenoids [J]. Biotechnol Biotechnol Equip,2022,35:1799-1808.
- 25 Du Y, et al. Advances in biosynthesis and pharmacological effects of *Cinnamomum camphora* (L.) presl essential oil [J]. Forests,2022,13:1020.
- 26 Zhang K, et al. Integrated metabolite profiling and transcriptome analysis reveals tissue-specific regulation of terpenoid biosynthesis in *Artemisia argyi* [J]. Genomics,2022,114:110388.
- 27 Zhan ZG, et al. GC-MS studies on chemical constituents of the essential oil of *Chimonanthus nitens* Oliv. [J]. Chin J Pharm Anal(药物分析杂志),2006,26:1168-1170.
- 28 Shi XJ, et al. Extract and analysis of volatile components in *Chimonanthus salicifolius* by GC-MS [J]. Chin J Exp Tradit Med Form(中国实验方剂学杂志),2011,17:129-132.
- 29 Mu FF, et al. GC-MS analysis of the volatile oils from the stem of wild *Chimonanthus salicifolicus* Hu [J]. Chin J Trop Crops(热带作物学报),2013,34:382-385.
- 30 Xiong M, et al. Analysis of essential oil in *Chimonanthus praecox* by GC-MS [J]. J Huazhong Agric Univ(华中农业大学学报),2012,31:182-186.
- 31 Gui RY, et al. Chemical composition, antifungal activity and toxicity of essential oils from the leaves of *Chimonanthus praecox* located at two different geographical origin [J]. Asian J Chem,2014,26:4445-4458.
- 32 Guo N, et al. Six new cadinane-type sesquiterpenoids from the leaves of *Chimonanthus nitens* Oliv [J]. Fitoterapia,2021,154:105019.
- 33 Li ZG, et al. Analysis of volatile compounds emitted from *Chimonanthus praecox* (L.) Link in different florescence and QSRR study of GC retention indices [J]. Chromatographia,2009,70:1153-1162.
- 34 Cao L, et al. Analysis of essential oil from pericarps of *Chimonanthus praecox* [J]. Asian J Chem,2013,25:671-674.
- 35 Yu CL, et al. Chemical composition, antifungal activity and toxicity of essential oils from leaves of *Chimonanthus praecox* and *Chimonanthus zhejiangensis* [J]. Asian J Chem,2014,26:254-256.

- 36 Xu M, et al. Determination of volatile components from *Chimonanthus flowers* by HS-SPME-GC-MS [J]. *Sci Silvae Sin* (林业科学), 2016, 52:58-65.
- 37 Liu ZX, et al. Chemical constituents from the seed of *Chimonanthus praecox* extracted by supercritical carbon dioxide [J]. *J Chin Med Mater* (中药材), 2008, 31:992-995.
- 38 Zhang WQ, et al. Component analysis of the essential oils extracted from *Chimonanthus praecox* (L.) Link at three different blooming stages [J]. *Fine Chem* (精细化工), 2012, 29:774-777.
- 39 Shen ZG, et al. HS-SPME-GC-MS analysis of volatile components in tender shoots from six plants of Calycanthaceae [J]. *Acta Horti Sin* (园艺学报), 2020, 47:2349-2361.
- 40 Zhang CP, et al. Terpenoids in *propoli* [J]. *Nat Prod Res Dev* (天然产物研究与开发), 2012, 24:976-984.
- 41 Li Y, et al. Comparative analysis of floral scent profiles between two *Chimonanthus praecox* plants under different rhythms and blooming stages [J]. *Sci Hortic*, 2022, 301:111129.
- 42 Meng L, et al. Analysis of floral fragrance compounds of *Chimonanthus praecox* with different floral colors in Yunnan, China [J]. *Separations*, 2021, 8:122.
- 43 Lou HY, et al. Novel sesquiterpenoids isolated from *Chimonanthus praecox* and their antibacterial activities [J]. *Chin J Nat Med*, 2018, 16:621-627.
- 44 Liu ZZ, et al. *Chimonanthus nitens* var. *salicifolius* aqueous extract protects against 5-fluorouracil induced gastrointestinal mucositis in a mouse model [J]. *Evid-based Complement Alternat Med*, 2013, 2013:789263.
- 45 Sun Q, et al. Anti-inflammatory properties of extracts from *Chimonanthus nitens* Oliv. leaf [J]. *PLoS One*, 2017, 12:e0181094.