

## 沉香属的化学分类学研究

黄圣卓, 赵友兴, 梅文莉, 杨德兰, 刘寿柏, 戴好富\*

(中国热带农业科学院热带生物技术研究所, 农业部热带作物生物学与遗传资源利用重点实验室, 海南省黎药资源天然产物研究与利用重点实验室, 海口 571101)

**摘要:** 为探讨瑞香科沉香亚科的分类学地位, 结合其他亚科植物的化学成分类型, 对从沉香属植物分离到的各类化学成分进行了综述。从二萜和黄酮(烷)的成分类型判断, 沉香亚科的进化地位低于瑞香亚科; 从三萜成分类型来看, 其地位又比 *Gonystyloideae* 亚科稍高; 同时 2-(2-苯乙基)色酮类和二苯基甲酮类成分为沉香属甚至沉香亚科的特征性成分。因此, 沉香亚科是瑞香科中进化程度相对较低的类群, 处于瑞香亚科和 *Gonystyloideae* 亚科之间。

**关键词:** 沉香属; 化学成分; 化学分类学

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2013.03.014

## Chemotaxonomy Studies on the Genus *Aquilaria*

HUANG Sheng-zhuo, ZHAO You-xing, MEI Wen-li, YANG De-lan, LIU Shou-bai, DAI Hao-fu\*

(Key Laboratory of Biology and Genetic Resources of Tropical Crops, Ministry of Agriculture, Hainan Key Laboratory for Research and Development of Natural Products from Li Folk Medicine, Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agriculture Sciences, Haikou 571101, China)

**Abstract:** In order to understand taxonomy position of *Aquilarioideae*, belonging to *Thymelaeaceae*, the chemical constituents extracted from the genus *Aquilaria* was summarized, and the chemotaxonomy of subfamily *Aquilarioideae* was discussed by comparing the chemical constituents from other subfamilies in *Thymelaeaceae*. It was regarded that the evolution status of subfamily *Aquilarioideae* was lower than that of subfamily *Thymelaeoideae* according to the types of diterpenoid and flavonoid, but higher than that of subfamily *Gonystyloideae* according to the type of triterpenoid. At the same time, 2-(2-phenylethyl) chromones and dibenzophenones were taken as the characteristic components of the genus *Aquilaria*, or even subfamily *Aquilarioideae*. Therefore, the status of subfamily *Aquilarioideae* was approved and regarded as the lower evolution group in *Thymelaeaceae*, existing between subfamily *Thymelaeoideae* and subfamily *Gonystyloideae*.

**Key words:** *Aquilaria*; Chemical constituent; Chemotaxonomy

瑞香科(*Thymelaeaceae*)作为一个中小型科, 最早是在 Jussieu 的系统中得到确认, 并独立成科<sup>[1]</sup>。该科约有 50 属 650 种植物, 广泛分布于热带和温带地区, 特别是南半球澳大利亚、热带非洲至南亚地区。吴征镒等<sup>[2]</sup>根据区系成分推断其即使不是

古南大陆东部和中部起源, 起码也是在古南大陆, 在南太平洋和印度洋扩张时获得较大的发展。本文基于沉香属植物中化学成分的类型, 对其分类学地位进行了探讨, 为沉香属植物的系统演化研究提供科学依据。

收稿日期: 2012-09-21

接受日期: 2012-12-05

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费(201303117); 国家科技支撑计划课题(2013BAI11B04)资助

作者简介: 黄圣卓(1984~), 男, 助理研究员, 从事植物天然产物化学研究。E-mail: huangshengzhuo@yahoo.com.cn

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hfdai@126.com

## 1 瑞香科的分类系统

Domke 最早将瑞香科划分成 2 ~ 4 亚科<sup>[3]</sup>, 后来 Wagenitz 认为瑞香科有 48 属, 其中 31 属归入 4 亚科(Gonystyloideae、沉香亚科 Aquilarioideae、Giliodaphnoideae 和瑞香亚科 Thymelaeoideae)中, 其余 17 属待定<sup>[4]</sup>。之后 Gilg 对瑞香科一些属的归属进行了修订, 成为最广泛接受的系统<sup>[5]</sup>(图 1)。与传统分类学家不同, Herber 根据分子生物学的证据, 将瑞香科划分成两亚科, 保留了 Gonystyloideae

亚科, 但重新命名为 Octolepidoideae, 并将其他 3 个传统的 Synandrodaphnoideae 亚科、沉香亚科 (Aquilarioideae) 和瑞香亚科 (Thymelaeoideae) 归入瑞香亚科 (Thymelaeoideae) 并降级为族<sup>[6]</sup>(图 2)。从这里可以看出, 目前对瑞香科分类系统研究的焦点之一集中在沉香亚科和 Synandrodaphnoideae 亚科与瑞香亚科和 Gonystyloideae (或 Octolepidoideae) 亚科的关系和地位问题。

由于沉香亚科仅有沉香属 *Aquilaria* 和拟沉香属 *Gyrinops* 两属, 对沉香属植物的化学成分数

- Family: Thymelaeaceae  
 subfamily: Gonystyloideae: *Gonystylus*, *Amyxa*, *Aetoxylon*  
 subfamily: Aquilarioideae  
 Tribe: Microsemmeae: *Microsemma*  
 Tribe: Solmsiae: *Solmsia*, *Deltaria*  
 Tribe: Octolepidae: *Oxtolepis*  
 subfamily: Giliodaphnoideae: *Giliodaphne*  
 subfamily: Thymelaeoideae  
 Tribe: *Dicranolepidae*: *Dicranolepiphne*, *Dicranolepis*,  
*Englerodaphne*, *Enkleia*, *Linostoma*, *lophostoma*,  
*Stephanodaphne*, *Synaptolepis*  
 Tribe: Phaleriae: *Peddiea*, *Phaleria*  
 Tribe: Daphneae: *Chymococca*, *Cryptadenia*, *Dais*, *Daphne*, *Daphnopsis*,  
*Dendrostellera*, *Diarthron*, *Direa*, *Edgeworthia*, *Funifera*, *Goodallia*,  
*Lagetta*, *Lasiadenia*, *Linodendron*, *Ovidia*, *Prhmnoneuron*, *Stellera*,  
*Wikstroemia*  
 Tribe: Thymelaeae: *Arthrosolen*, *Drapetes*, *Gnidia* (incl. *Lasiosiphon*)  
*Kelleria*, *Lachnaea*, *Passerina*, *Pimelea*, *Schoenobiblos*,  
*Struthiola*, *Thymelaea*

图 1 Gilg 的瑞香科分类系统

Fig. 1 Gilg taxonomy system of Thymelaeaceae

- Octolepidoideae  
 Octolepis group: *Arnhemia*, *Deltairia*, *Lethedon*, *Octolepis* *Solmsia*  
 Gonystylus group: *Aetoxylon*, *Amyxa*, *Gonystylus*  
 Thymelaeoideae  
 Synandrodaphneae: *Synandrodaphne*  
 Aquilariae: *Aquilaria*, *Gyrinops*  
 Daphneae  
 Linostoma group: *Craterosiphon*, *Dicranolepis*, *Enkleia*, *Jedda*,  
*Linostoma*, *Lophostoma*, *Synaptolepis*  
 Phaleria group: *Phaleria*, *Peddiea*  
 Daphne group: *Daphne*, *Daphnopsis*, *Diarthron*, *Dirca*, *Edgeworthia*,  
*Funifera*, *Goodallia*, *Lagetta*, *Ovidia*, *Rhamnoneuron*,  
*Schoenobiblus*, *Stellera*, *Thymelaea*, *Wikstroemia*  
 Gnidia group: *Dais*, *Drapetes*, *Gnidia*, *Kelleria*, *Lachnaea*, *Passerina*,  
*Pimelea*, *Struthiola*  
 Incertae sedis: *Linodendron*, *Stephanodaphne*, *Lasiadenia*

图 2 Herber 的瑞香科分类系统

Fig. 2 Herber taxonomy system of Thymelaeaceae

量和种类的研究最多,而对拟沉香属的研究相对较少,因此沉香属是研究瑞香科各亚科之间关系的一个很好的类群。前人根据植物解剖学的特征,认为沉香亚科应该与瑞香亚科分离<sup>[7]</sup>。本文基于沉香属植物中化学成分的类型,对比瑞香亚科和 Gonystyloideae 亚科的化学成分类型,认为在 Herber 的瑞香科分类系统的基础上,沉香亚科作为一个特殊类群应该从瑞香亚科中独立出来成为一个亚科,置于瑞香亚科和 Gonystyloideae 亚科之间。

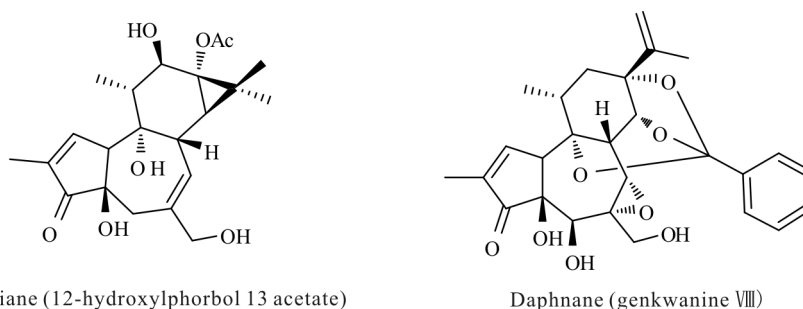
## 2 化学成分和分析

### 2.1 二萜类

从沉香属植物中分离到的二萜类成分有两种类型:一类为 tigliane 类型(图 3),另一类为常见的松香烷型、海松烷型等。其中报道的 tigliane 二萜有两个:12-hydroxyphorbol 13 acetate<sup>[8]</sup>和 12-*O*-n-deca-2,4,6-trienoylphorbol 13-acetate<sup>[9]</sup>;而报道的松香烷型、海松烷型等二萜则较多,如:methyl abieta-

8(14),9(11),12-trien-19-oate<sup>[10]</sup>、氢松香酸、去氢松香酸甲酯、methyl 7-oxodehydroabietate、7 $\alpha$ ,15-二羟基去氢松香酸、7 $\alpha$ -hydroxypodocarpene-8(14)-en-13-on-18-oic acid、海松酸、海松醇、18-norpimara-8(14),15-dien-4 $\alpha$ -ol、8-norisopimara-8(14),15-dien-4 $\beta$ -ol<sup>[11]</sup>、隐丹参酮(cryptotanshinone)、二氢丹参酮 I (dihydrotanshinone I)、丹参酮 I (tanshinone I)、丹参酮 IIA (tanshinone IIA)<sup>[12]</sup>。

Tigliane 和 daphnane 两种类型的二萜是瑞香科植物非常特征性的成分,其中 tigliane 应该是 daphnane 的前体<sup>[13]</sup>(图 3)。这两种类型是瑞香亚科植物中主要的二萜类成分,其中 daphnane 普遍存在于含有二萜成分的瑞香亚科各属植物中,而 tigliane 型二萜的分布和数量则相对较少<sup>[14-16]</sup>。但是沉香属植物中仅分离到少量的 tigliane 型二萜,未能分离到 daphnane 型二萜。同时裸子植物中广泛分布的四环或五环二萜在沉香属植物中却含量丰富,而在瑞香亚科植物中却少有报道<sup>[14]</sup>。这从一定程度上说明沉香亚科植物在进化程度上要低于瑞香亚科。



Tigliane (12-hydroxyphorbol 13 acetate)

Daphnane (genkwane VIII)

图 3 Tigliane 类型和 daphnane 类型二萜

Fig. 3 Diterpenoid with tigliane and daphnane types

### 2.2 三萜类

从沉香属植物分离到的三萜类成分包含两种类型:五环三萜,如 22-hydroxyhopan-3-one<sup>[17]</sup>、hederagenin<sup>[10,18]</sup>、2 $\alpha$ -羟基熊果烷(2 $\alpha$ -hydroxyursane)、2 $\alpha$ -羟基熊果酸(2 $\alpha$ -hydroxyursolic acid)<sup>[12]</sup>和四环三萜,如 dihydrocucurbitacin F<sup>[8]</sup>、hexanorcucurbitacin I、cucurbitacin I、cucurbitacin D、isocucurbitacin D、neocucurbitacin B<sup>[19]</sup>。从两种类型的三萜的生源合成途径来看,四环三萜应该是五环三萜的前体,在瑞香科位于低端的 Gonystyloideae 亚科植物中,报道的三萜成分为葫芦烷型四环三萜<sup>[20]</sup>;瑞香亚科植物中报道的三萜则都是五环三萜<sup>[14]</sup>(图 4)。这也

在一定程度上证明沉香亚科应该介于瑞香亚科和 Gonystyloideae 亚科之间。

### 2.3 倍半萜类

沉香属植物的倍半萜类成分较多,且类型丰富,主要来自其树脂。最近 Regula Naef 综述了 2010 年 5 月前报道的 69 个沉香倍半萜类成分,主要包括沉香呋喃类(agarofurans)、cadinanes、selinanes、valencanes、eremophilanes、guaianes、prezianes、vetispiranes 等类型<sup>[1]</sup>。之后又有报道从沉香茎中分离到 aquilarin B<sup>[8]</sup>。

同样在瑞香亚科,如瑞香属植物中也报道了不

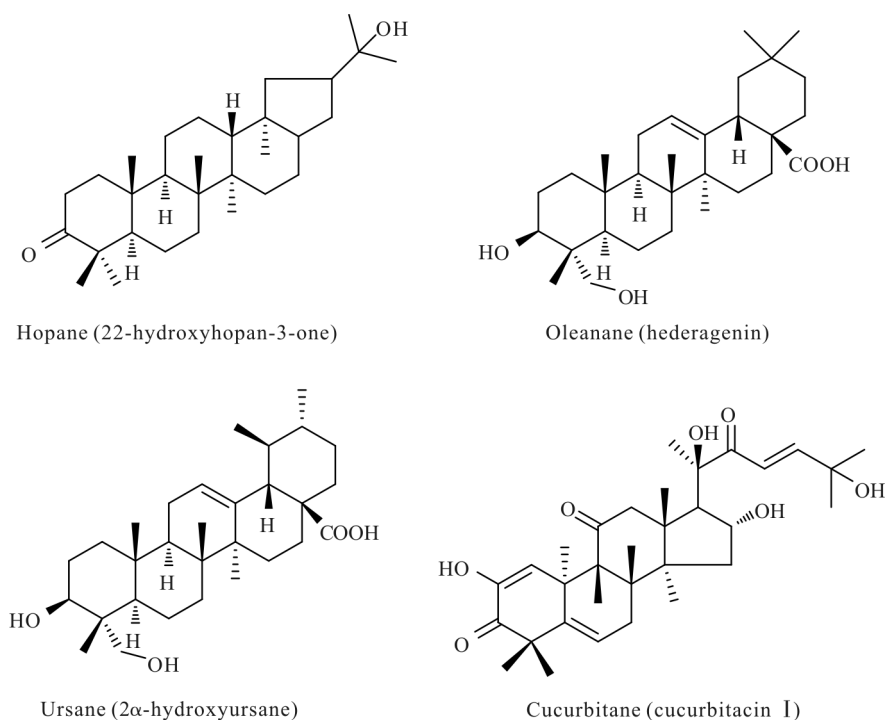


图4 三种类型的五环三萜和葫芦烷型四环三萜

Fig. 4 Three types of pentacyclic triterpenoid and cucurbitane tetracyclic triterpenoid

少倍半萜类成分,其中主要是愈创木烷 *guaiane* 型和少量的 *daucane* 类型<sup>[21]</sup>。但是从沉香(*Aquilaria sinensis*)的树叶、种子、花和果实的挥发油中,仅分离和检测到少量的倍半萜<sup>[8-9]</sup>,其主要成分多是一些脂肪族化合物<sup>[22-24]</sup>。由于沉香属植物的倍半萜类成分多数来源于树脂,所以不能排除由植物提供一些倍半萜的前体原料,再经微生物进行转化合成了多个系列类型的倍半萜的可能。所以这些倍半萜类成分不能作为证明沉香亚科分类学地位的直接证据,只适合作为化学分类学的一个辅助证据。

## 2.4 酚性成分

沉香属植物中分离到的酚性成分有:香豆木脂素(*coumarinolignan*)、黄烷(酮)、2-(2-苯乙基)色酮、木脂素和简单酚性成分等。

文献报道从沉香属植物中分离到的香豆木脂素仅有1个,即 *aquillochin*<sup>[25]</sup>,未见其他类型的香豆素报道。而瑞香亚科植物中则富含香豆素类成分,除同样含有少量的香豆木脂素以外<sup>[14,26]</sup>,还有简单香豆素、双香豆素、三香豆素、呋喃香豆素等,是瑞香亚科植物的特征化学成分之一。

黄烷(酮)成分在沉香属植物中非常丰富,报道

的成分有 7-β-D-glucoside of 5-O-methylapigenin、*mangiferin*、5-O-xylosylglucoside of 7-O-methylapigenin、7,4'-二甲氧基洋芹素-5-O-木糖葡萄糖苷(5-O-xylosylglucoside of 7,4'-di-O-methylapigenin)、5-β-D-glucoside of 7,3'-di-O-methyl-luteolin、木犀草素(*luteolin*)、莞花素(*genkwanin*)、羟基莞花素(*hydroxygenkwanin*)<sup>[27]</sup>、洋芹素-7,4'-二甲醚(*apigenin-7,4'-dimethylether*)、5-羟基-7,3',4'-三甲氧基黄酮(5-hydroxyl-7,3',4'-trimethoxyflavone)、木犀草素-7,4'-二甲醚(7,4'-dimethyl-luteolin)、4',5'-dihydroxy-3',7'-dimethoxyflavone<sup>[28-29]</sup>、白木香苷 A1、*lethedioside A*、*lethedioside A*、7-羟基-4'-甲氧基-5-O-葡萄糖黄酮苷、7,3'-二甲氧基-4'-羟基-5-O-葡萄糖黄酮苷、7,4'-二甲氧基-5-O-葡萄糖黄酮苷、木犀草素-7,3',4'-三甲醚、金合欢素、芒柄花素<sup>[30]</sup>、*genkwanin 5-O-β-primeveroside*<sup>[31]</sup>。这些成分都是从沉香属植物的茎和叶中分离得到,同样黄烷(酮)在瑞香亚科植物中的分布也很广泛<sup>[14,26,32]</sup>,其中部分化合物如莞花素(*genkwanin*)、羟基莞花素(*hydroxygenkwanin*)还是瑞香属药用植物莞花(*Daphne genkwa*)中的重要活性成分。此外瑞香亚科的瑞香属(*Daphne*)、莞花属(*Wikstroemia*)和狼毒

属(*Stellera*)植物中还富含双黄烷(酮)类成分<sup>[14,26,33]</sup>(图5),这类成分的生物合成原料应该是黄烷(酮),这也表明瑞香亚科在进化地位上处于沉香亚科之上。

沉香属植物的特征性2-(2-苯乙基)色酮类成分,主要是从树脂中分离得到的<sup>[34]</sup>。最近 Regula Naef 综述了2010年5月前报道沉香的43个色酮类成分<sup>[10]</sup>。最近又有报道从沉香属植物的树脂中分离得到6-羟基-7-甲氧基-2-(2-苯乙基)色酮、6-羟基-2-[2-(4'-羟基苯基)乙基]色酮<sup>[35]</sup>、5-hydroxy-6-methoxy-2-[2-(4-methoxyphenyl)ethyl]-4H-1-benzopyran-4-one、7-methoxy-2-(2-phenylethyl)-4H-chromen-4-one、2-[2-(4-methoxyphenyl)ethyl]-4H-chromen-4-one、5-hydroxy-6-methoxy-2-(2-phenylethyl)-4H-chromen-4-one、6-methoxy-2-[2-(4-methoxyphenyl)ethyl]-4H-chromen-4-one、6-methoxy-2-[2-(3-

methoxyphenyl)ethyl]-4H-chromen-4-one 和1个2-(2-苯乙基)色酮类化合物的前体二苯基戊酮类成分1-hydroxy-1,5-diphenylpentan-3-one<sup>[36]</sup>;从白木香(*Aquilaria sinensis*)果实中分离到6-羟基-2-[2-(4-羟基苯基)乙基]色原酮<sup>[37]</sup>。2-(2-苯乙基)色酮类成分是证明沉香亚科作为一个独立亚科的特征性成分,同时其前体二苯基戊酮类成分在瑞香亚科植物中有广泛分布<sup>[14]</sup>(图5)。

主要报道的木脂素类成分有justicidin A、justidin F、ciwujiaton、(+)-syringaresinol、syringaresinol-4,4'-di-*O*- $\beta$ -D-glucopyranoside、syringaresinol-4'- $\beta$ -*O*-D-glucopyranoside<sup>[38]</sup>。主要类型有二苯基丁烷型、联苯四氢萘型和常见的二苯基二四氢呋喃型(图5),这些类型的木脂素在瑞香亚科特别是瑞香属植物中有比较广泛的分布<sup>[14]</sup>。这在一定程度上也能说明沉香亚科与瑞香亚科的关联关系。

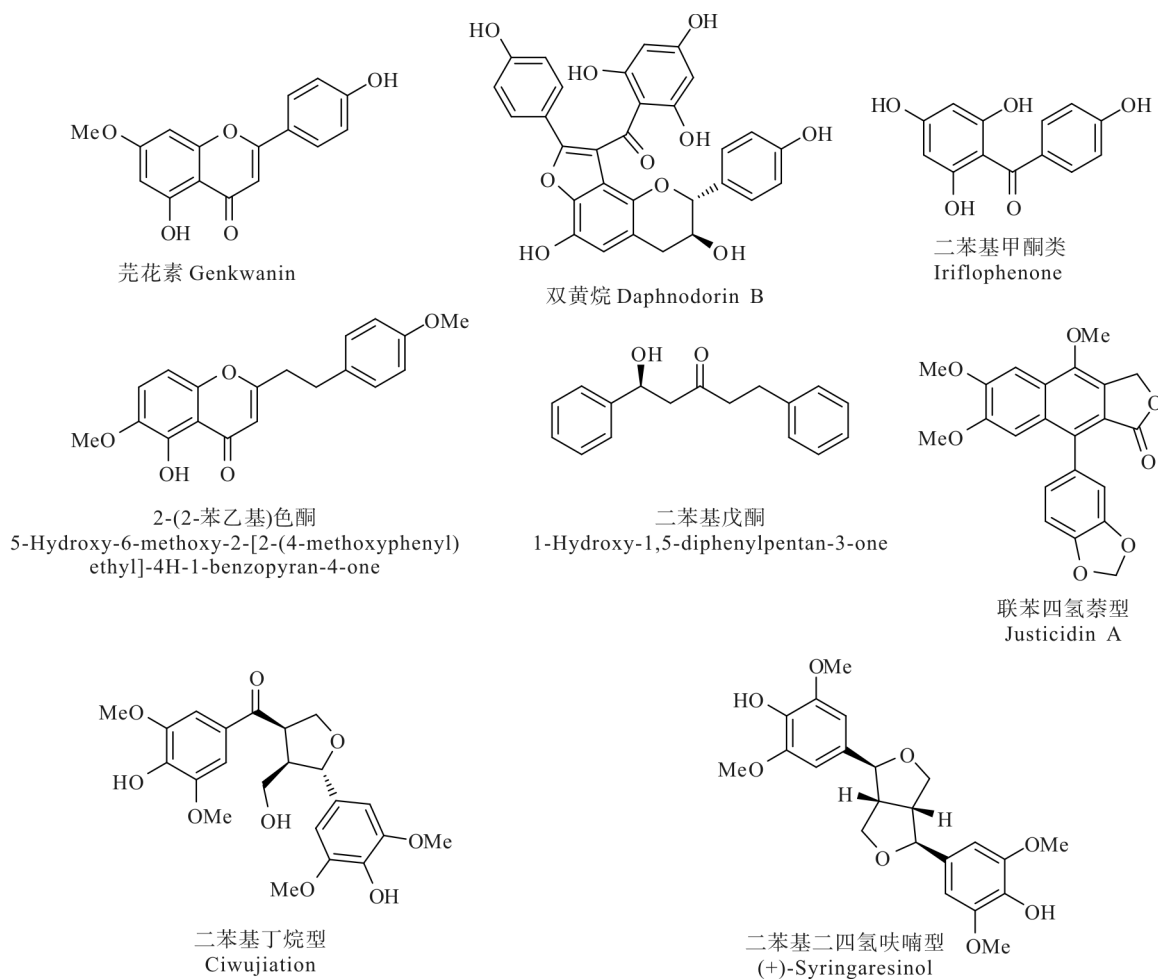


图5 酚性成分类型的结构

Fig. 5 Structures of different phenol types

表 1 部分化合物类型在代表性属中的分布

Table 1 Distribution of compound types in representative genus

成分类型 Compound types		瑞香属 <i>Daphne</i>	<i>Daphnopsis</i>	堇花属 <i>Wikstroemia</i>	狼毒属 <i>Stellera</i>	沉香属 <i>Aquilaria</i>	<i>Gyrinops</i>	棱柱木属 <i>Gonystylus</i>
二萜 Diterpenoid	Tigliane	+	+	+	+	+		
	Daphnane	+	+	+	+			
	其他 Other	+				+		
三萜 Triterpenoid	五环 Five ring	+				+		
	四环 Fourth ring					+	+	+
倍半萜 Sesquiterpenoid		+	+	+		+		
黄酮(烷) Flavone (Flavane)	简单 Single	+	+	+	+	+	+	+
	二聚 Dimer	+		+	+			
其他酚性成分 Other phenol	木脂素 Lignan	+		+	+	+		
	香豆素 Coumarin	+	+	+	+	+		
	二苯基戊酮 Diphenyl-pentanone	+		+		+		
	2-(2-苯乙基)色酮 2-(2-phenethyl) chromone					+		
	二苯基甲酮 Diphenylmethanone					+		

从沉香叶中还分离到少量的二苯基酮类等酚性成分,如 aquilarinoside A、iriflophenone、7- $\beta$ -D-glucoside of 5-O-methylapigenin<sup>[27]</sup>、2-O- $\alpha$ -L-rhamnopyranosy-1,4,6,4'-trihydroxybenzo-phenone<sup>[39]</sup>、mangiferin、iriflophenone 2-O- $\alpha$ -rhamnoside、iriflophenone 3,5C- $\alpha$ -rhamnoside<sup>[31]</sup>;从沉香树脂中首次分离到 3,3'-(3-hydroxypropane-1,2-diyl) diphenol<sup>[40]</sup>。上述酚性成分在瑞香科其他属植物中未见报道,应该是沉香属植物的特征性成分(图5)。

此外苯丙素类等简单的酚性成分由于在被子植物中分布广泛,不具有化学分类学的价值,在此不作讨论。

### 3 讨论

沉香属和拟沉香属植物具有产生芳香树脂的奇特习性,是瑞香科其他亚科植物所不具有的特征,Herber 根据分子生物学的证据将这两属作为沉香族归于瑞香亚科<sup>[6]</sup>,但是根据早先的解剖学特征,沉香亚科与瑞香亚科植物具有很大的差异<sup>[41-42]</sup>。对从沉香属植物和其他瑞香亚科代表性属植物中

分离到的各种类型化学成分进行分析可见(部分化学成分分布见表 1),从二萜类成分和黄酮(烷)成分可以看出沉香亚科的地位应该没有达到瑞香亚科的水平,处于相对较低的水平;但从三萜类成分来看,其地位又比 Gonystyloideae 亚科稍高;同时 2-(2-苯乙基)色酮类和二苯基甲酮类成分可作为沉香属或者可以说是沉香亚科植物的特征性成分。因此本文认同 Gilg 的分类系统中沉香亚科地位的合理性,但只包含 Herber 的沉香族,并认为沉香亚科是瑞香科中进化相对较低等的类群,处于瑞香亚科和 Gonystyloideae 亚科之间。但是由于 Gonystyloideae 亚科的植物种类少,分布狭窄,对其化学成分,特别是二萜类和酚性成分的研究报道较少,因此对这个类群还有待于进一步的研究,以确定其分类学地位和验证本文的结论。

### 参考文献

- [1] Jussieu A L D. Genera Plantarum [M]. Paris: Herrisant & Burrois, 1789: 1-76.
- [2] Wu C Y, Lu A M, Tang Y C, et al. The Families and Genera of Angiosperms in China [M]. Beijing: Science Press, 2003: 588-

592.  
吴征镒, 路安民, 汤彦承, 等. 中国被子植物科属综论 [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 588–592.
- [3] Domke W. Untersuchung unber die systematische and geographische Gliederung der Yhymelaeaceen nebst einer Neubeschreibung ihrer Gattungen [J]. *Bibliothca Bot*, 1934, 111(1): 1–151.
- [4] Wagenitz G. *Thymelaeaceae* [M]// Melchior H. *Syllabus der Pflanzenfamilien*. 12th ed. Berlin: Gebruder Borntraeger, 1964: 316–322.
- [5] Gilg E. *Thymelaeaceae* [M]// Engler A, Prantl K. *Die Natürlichen Pflanzenfamilien, Teil III, Abteilung 6a*. Leipzig: Verlag von Wilhelm Engelmann, 1984: 216–245.
- [6] Klaus K, Clemens B. *Thymelaeaceae* [M]// Herber B E. *The Families and Genera of Vascular Plants*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2003: 373–396.
- [7] Wang Y, Gilbert M G, Mathew B, et al. *Flora of China, Vol.13* [M]. Beijing: Science Press, 2007: 213–250.
- [8] Peng K, Mei W L, Zhao Y X, et al. A novel degraded sesquiterpene from the fresh stem of *Aquilaria sinensis* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2011, 13(10): 951–955.
- [9] Gunasekera S P, Kinghorn A D, Cordell G A, et al. Plant anticancer agents: XIX. Constituents of *Aquilaria malaccensis* [J]. *J Nat Prod*, 1981, 44(5): 569–572.
- [10] Chen H Q, Wei J H, Yang J S, et al. Chemical constituents of agarwood originating from the endemic genus *Aquilaria* plants [J]. *Chem Biodiv*, 2012, 9(2): 236–250.
- [11] Yang L, Qiao L R, Xie D, et al. Diterpenoids from Chinese eaglewood [J]. *Chin J Chin Mat Med*, 2011, 36(15): 2088–2091.  
杨林, 乔立瑞, 谢丹, 等. 国产沉香中的二萜类化学成分 [J]. *中国中药杂志*, 2011, 36(15): 2088–2091.
- [12] Feng J, Yang X W. Liposolubility constituents from leaves of *Aquilaria sinensis* [J]. *Chin J Chin Mat Med*, 2011, 36(15): 2092–2095.  
冯洁, 杨秀伟. 白木香叶脂溶性化学成分研究 [J]. *中国中药杂志*, 36(15): 2092–2095.
- [13] Hecker E. New toxic, irritant and cocarcinogenic diterpene esters from Euphorbiaceae and from Thymelaeaceae [J]. *Pure Appl Chem*, 1977, 49(9): 1423–1431.
- [14] Xu W C, Shen J G, Jiang J Q. Phytochemical and biological studies of the plants from the genus *Daphne* [J]. *Chem Biodiv*, 2011, 8(7): 1215–1233.
- [15] He W D, Cik M, Appendino G, et al. Daphnane-type diterpene orthoesters and their biological activities [J]. *Mini-Rev Med Chem*, 2002, 2(2): 185–200.
- [16] Liao S G, Chen H D, Yue J M. Plant orthoesters [J]. *Chem Rev*, 2009, 109(3): 1092–1140.
- [17] Lin L D, Qi S Y. Triterpenoid from Chinese eaglewood (*Aquilaria sinensis*) [J]. *Chin Trad Herb Drug*, 2000, 31(2): 89–90.  
林立东, 戚树源. 国产沉香中的三萜成分 [J]. *中草药*, 2000, 31(2): 89–90.
- [18] Liu J M, Gao Y H, Xu H H, et al. Chemical constituents of *Lignum Aquilariae resinatum* (II) [J]. *Chin Trad Herb Drug*, 2007, 38(8): 1138–1140.  
刘军民, 高幼衡, 徐鸿华, 等. 沉香化学成分研究(II) [J]. *中草药*, 2007, 38(8): 1138–1140.
- [19] Mei W L, Lin F, Zuo W J, et al. Cucurbitacins from fruits of *Aquilaria sinensis* [J]. *Chin J Nat Med*, 2012, 10(3): 234–237.
- [20] Fuller R W, Cardellina J H II, Cragg G M, et al. Cucurbitacins: Differential cytotoxicity, dereplication and first isolation from *Gonystylus keithii* [J]. *J Nat Prod*, 1994, 57(10): 1442–1445.
- [21] Liang S, Shen Y H, Feng Y, et al. Terpenoids from *Daphne aurantiaca* and their potential anti-inflammatory activity [J]. *J Nat Prod*, 2010, 73(4): 532–535.
- [22] Mei W L, Lin F, Dai H F. GC-MS Analysis of volatile constituents from flowers and fruits of *Aquilaria sinensis* [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2009, 17(3): 305–308.  
梅文莉, 林峰, 戴好富. 白木香花和果实挥发油成分的GC-MS分析 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2009, 17(3): 305–308.
- [23] Liu Y F, Yang X W, Liu T H. GC-MS analysis of essential oil from the leaves of *Aquilaria sinensis* [J]. *Mod Chin Med*, 2007, 9(8): 7–11.  
刘玉峰, 杨秀伟, 刘铜华. 沉香叶挥发油化学成分的GC-MS分析 [J]. *中国现代中药*, 2007, 9(8): 7–11.
- [24] Liu J, Mei W L, Cui H B, et al. Study on chemical constituents and anti-bacterial activity of volatile oil from seeds of *Aquilaria sinensis* [J]. *J Chin Med Mat*, 2008, 31(3): 340–342.  
刘俊, 梅文莉, 崔海滨, 等. 白木香种子挥发油的化学成分及抗菌活性研究 [J]. *中药材*, 2008, 31(3): 340–342.
- [25] Bhandari P, Pant P, Rastogi R P. Aquillochin: A coumarinolignan from *Aquilaria agallocha* [J]. *Phytochemistry*, 1982, 21(8): 2147–2149.
- [26] Yang G, Chen D. Biflavanones, flavonoids, and coumarins from the roots of *Stellera chamaejasme* and their antiviral effect on hepatitis B virus [J]. *Chem Biodiv*, 2008, 5(7): 1419–1424.
- [27] Qi J, Lu J J, Liu J H, et al. Flavonoid and a rare benzophenone glycoside from the leaves of *Aquilaria sinensis* [J]. *Chem Pharm Bull*, 2009, 57(2): 134–137.
- [28] Peng K, Mei W L, Wu J, et al. Flavones from the stems of *Aquilaria sinensis* [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2010, 18(1): 97–100.  
彭可, 梅文莉, 吴娇, 等. 白木香树干中的黄酮类成分 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2010, 18(1): 97–100.
- [29] Lu J J, Qi J, Zhu D N, et al. Antioxidant activity and structure-activity relationship of the flavones from the leaves of *Aquilaria sinensis* [J]. *Chin J Nat Med*, 2008, 6(6): 456–460.  
路晶晶, 戚进, 朱丹妮, 等. 白木香叶中黄酮类成分结构与抗氧化功能的相关性研究 [J]. *中国天然药物*, 2008, 6(6): 456–460.

- [30] Chen D, Bi D, Song Y L, et al. Flavanoids from the stems of *Aquilaria sinensis* [J]. *Chin J Nat Med*, 2012, 10(4): 287–291.  
陈东, 毕丹, 宋月林, 等. 白木香中的黄酮类成分 [J]. *中国天然药物*, 2012, 10(4): 287–291.
- [31] Hara H, Ise Y, Morimoto N, et al. Laxative effect of agarwood leaves and its mechanism [J]. *Biosci Biotechn Biochem*, 2008, 72(2): 335–345.
- [32] Hu X J, Jin H Z, Su J, et al. Chemical constituents from *Daphne koreana* Nakai [J]. *Chin J Nat Med*, 2008, 6(3): 411–414.
- [33] Feng B M, Pei Y H, Wang Y Q. Biflavones distribution in six Thymelaeaceae plants [J]. *J Dalian Univ*, 2003, 24(2): 95–98, 112.  
冯宝民, 裴月湖, 王永奇. 六种瑞香科植物中双黄酮类化合物的分布 [J]. *大连大学学报*, 2003, 24(2): 95–98, 112.
- [34] Yang J S. Review of the chemical constitutions isolated from Cheng-Xiang [J]. *Nat Prod Res Dev*, 1998, 10(1): 99–103.  
杨峻山. 沉香化学成分的研究概况 [J]. *天然产物研究与开发*, 1998, 10(1): 99–103.
- [35] Chen Y, Jiang B, Zeng Y E. Study on chromones of *Aquilariae lignum resinatum* [J]. *Mod Chin Med*, 2011, 13(1): 21–22, 38.  
陈亚, 江滨, 曾元儿. 沉香色酮类化学成分研究 [J]. *中国现代中药*, 2011, 13(1): 21–22, 38.
- [36] Wu B, Lee J G, Lim C J, et al. Sesquiterpenoids and 2-(2-Phenylethyl)-4H-chromen-4-one (= 2-(2-Phenylethyl)-4H-1-benzopyran-4-one) derivatives from *Aquilaria malaccensis* agarwood [J]. *Helv Chim Acta*, 2012, 95(4): 636–642.
- [37] Lin F, Mei W L, Zuo W J, et al. Studies on chemical constituents from fruits of *Aquilaria sinensis* [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2012, 20(1): 89–91.  
林峰, 梅文莉, 左文健, 等. 白木香果实化学成分研究 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2012, 20(1): 89–91.
- [38] Chen D, Song Y L, Nie C X, et al. Chemical constituents from *Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilg [J]. *J Chin Pharm Sci*, 2012, 21(1): 88–92.
- [39] Wang H G, Zhou M H, Lu J J, et al. Antitumor constituents from the leaves of *Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilg. [J]. *Chem Ind For Prod*, 2008, 28(2): 1–5.  
王红刚, 周敏华, 路晶晶, 等. 沉香叶抗肿瘤活性化学成分研究 [J]. *林产化学与工业*, 2008, 28(2): 1–5.
- [40] Mei W L, Liu J, Li X N, et al. Study on the chemical constituents from Chinese eaglewood in Hainan [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2010, 18(5): 573–576.  
梅文莉, 刘俊, 李小娜, 等. 海南国产沉香的化学成分研究 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2010, 18(5): 573–576.
- [41] Maberley D J. *The Plant-Book* [M]. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1997: 771–781.
- [42] Takhtajan. *Diversity and Classification of Flowering Plants* [M]. New York: Columbia University Press, 1997: 1–643.