

## · 基础研究 ·

奇楠沉香超临界提取物的化学成分研究<sup>△</sup>陈德力<sup>1</sup>, 马国需<sup>1,2</sup>, 刘会梅<sup>1</sup>, 王灿红<sup>1</sup>, 刘洋洋<sup>1</sup>, 杨云<sup>1\*</sup>, 魏建和<sup>1,2\*</sup>

1. 中国医学科学院 北京协和医学院 药用植物研究所 海南分所/海南省南药资源保护与开发重点实验室, 海南 海口 570311;
2. 中国医学科学院 北京协和医学院 药用植物研究所, 北京 100193

**[摘要]** 目的: 研究奇楠沉香超临界提取物的化学成分。方法: 采用硅胶柱色谱、薄层色谱及半制备液相色谱等技术对奇楠沉香超临界提取物进行分离纯化, 结合谱学手段和文献数据鉴定化合物的结构。体外测定化合物对皮质酮(CORT)诱导的PC12细胞损伤的保护作用。结果: 从奇楠沉香超临界提取物中分离得到17个化合物, 分别鉴定为12,15-二酮基- $\alpha$ -芹子烯(1)、15-酮基-桉叶烷-4,11(13)-二烯-12-甲酯(2)、petafolia A(3)、12-羟基-4(5),11(13)-桉叶二烯-15-醛(4)、12,15-二酮基-芹子-4,11-二烯(5)、(7S,8R,10S)-(+)-8,12-二羟基-芹子-4,11-二烯-14-醛(6)、白木香酸(7)、1 $\alpha$ -羟基-7 $\beta$ H-荒漠木-9,11-二烯-8-酮(8)、7 $\alpha$ -H-9(10)-烯-11,12-环氧-8-氧代荒漠木烷(9)、petafolia B(10)、11-羟基-瓦伦-1(10)-烯-2-酮(11)、白木香醇(12)、2-(2-苯乙基)色酮(13)、奇楠沉香酮A(14)、4'-甲氧基-2-(2-苯乙基)色酮(15)、6-甲氧基-2-[2-(4'-甲氧基苯乙基)色酮(16)和丁香醛(17)。CORT诱导细胞损伤后的细胞存活率为48.78%, 给予受试药物后, 不同化合物不同质量浓度下细胞存活率出现不同程度的升高, 存活率为50.35%~91.36%。结论: 化合物1~17均为首次从奇楠沉香超临界提取物中分离得到, 化合物2和4对CORT诱导的PC12细胞损伤的保护活性较强。

**[关键词]** 奇楠沉香; 超临界; 倍半萜; 色酮; 神经保护

**[中图分类号]** R284 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-4890(2023)09-1925-09

**doi:** 10.13313/j.issn.1673-4890.20230324002

Chemical Constituents of "Qi-Nan" Agarwood from *Aquilaria sinensis*CHEN De-li<sup>1</sup>, MA Guo-xu<sup>1,2</sup>, LIU Hui-mei<sup>1</sup>, WANG Can-hong<sup>1</sup>, LIU Yang-yang<sup>1</sup>, YANG Yun<sup>1\*</sup>, WEI Jian-he<sup>1,2\*</sup>

1. Hainan Provincial Key Laboratory of Resources Conservation and Development of Southern Medicine, Hainan Branch Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Haikou 570311, China;
2. Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100193, China

**[Abstract]** **Objective:** To study the chemical constituents of "Qi-Nan" agarwood from *Aquilaria sinensis*. **Methods:** The compounds were isolated and purified by silica gel column chromatography, thin layer chromatography, and semi-preparative high performance liquid chromatography, and their chemical structures were identified by spectral techniques and comparison with literature data. Furthermore, the protective effects of the compounds on the PC12 cells exposed to corticosterone (CORT) were determined. **Results:** Seventeen compounds were isolated from "Qi-Nan" agarwood and identified as 12,15-dioxo- $\alpha$ -selinen (1), methyl-15-oxo-eudesmane-4,11(13)-dien-12-oate (2), petafolia A (3), 12-hydroxy-4(5),11(13)-eudesmadien-15-al(4), 12,15-dioxo-selina-4,11-diene(5), (7S,8R,10S)-(+)-8,12-dihydroxy-selina-4,11-dien-14-al(6), baimuxifuranic acid (7), 1 $\alpha$ -hydroxy-7 $\beta$ H-eremophil-9,11-dien-8-one (8), 7 $\alpha$ -H-9(10)-ene-11,12-epoxy-8-oxoeremophilane

<sup>△</sup> [基金项目] 海南省重点研发计划项目(ZDYF2020111, ZDYF2022SHFZ030); 国家自然科学基金项目(82204657); 中国医学科学院医学与健康科技创新工程项目(2021-I2M-1-032)

\* [通信作者] 杨云, 研究员, 研究方向: 濒危南药资源可持续利用; Tel: 0898-31589008, E-mail: yangyun43@aliyun.com  
魏建和, 研究员, 研究方向: 药用植物基因资源、分子育种及次生代谢产物调控; Tel: 010-57833016, E-mail: wjianh@263.net

(9), petafolia B (10), 11-hydroxy-valenc-1(10)-en-2-one (11), baimuxinol (12), 2-(2-phenylethyl)chromone (13), qinanone A (14), 4'-methoxy-2-(2-phenylethyl)chromone (15), 6-methoxy-2-[2-(4'-methoxyphenyl)ethyl] chromone (16), and syringaldehyde (17). The survival of the cells exposed to CORT was 48.78%, and it increased to 50.35%-91.36% after treatment with different compounds at different concentrations. **Conclusions:** Compounds 1-17 were isolated from the supercritical extract of "Qi-Nan" agarwood from *A. sinensis* for the first time, and compounds 2 and 4 showed strong neuroprotective activities against CORT-induced damage in PC12 cells.

**[Keywords]** "Qi-Nan" agarwood; supercritical extraction; sesquiterpenoid; chromone; neuroprotective

沉香为瑞香科 (Thymelaeaceae) 沉香属 (*Aquilaria* spp.) 和拟沉香属 (*Gyrinops* spp.) 植物含树脂的木材, 作为名贵中药材和传统天然香料, 在医药、日化、工艺品、宗教文化等领域广泛应用<sup>[1-3]</sup>。沉香作为药材, 始载于汉魏时期陶弘景的《名医别录》, 列为上品<sup>[4]</sup>。《中华人民共和国药典》2020年版中规定的沉香基原植物为白木香 *Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilg, 主产于海南、广东、广西、云南和台湾等地, 其味辛、苦, 性微温, 具有行气止痛、温中止呕、纳气平喘的功效, 用于治疗胸腹胀闷疼痛、胃寒呕吐呃逆、肾虚气逆喘急等病证<sup>[5]</sup>。近年来, 广东和海南等地大量种植的奇楠种质是采用嫁接普通白木香的方式繁育、通过钻孔法生产的沉香, 因其独特的气味和性状可与普通沉香相区分, 且与记载的奇楠沉香相似, 现已开始批量上市销售, 其物种仍为白木香, 是一种新的化学型<sup>[6-7]</sup>。

对普通沉香化学成分和药理作用已有大量研究, 其主要化学成分为倍半萜和色酮类化合物, 具有抗菌、抗炎、抗肿瘤和抗焦虑等药理活性<sup>[8-12]</sup>。奇楠沉香化学成分的研究报道较少, 仅见从其乙醚提取物中分离鉴定出少量的2-(2-苯乙基)色酮类和倍半萜类化合物<sup>[13-19]</sup>。超临界CO<sub>2</sub>提取工艺环保高效, 已被广泛应用于奇楠沉香挥发性成分的提取, 但其提取物的化学成分研究尚未见报道。为了解奇楠沉香超临界提取物的化学成分, 本研究利用硅胶柱色谱、薄层色谱及半制备高效液相色谱对其超临界提取物的化学成分进行了分离纯化, 采用谱学技术手段鉴定17了个化合物(图1), 包括倍半萜12个、色酮类4个及其他类化合物1个, 分别为12,15-二酮基- $\alpha$ -芹子烯(12,15-dioxo- $\alpha$ -selinen, 1)、15-酮基-桉叶烷-4,11(13)-二烯-12-甲酯[methyl-15-oxo-eudesmane-4,11(13)-dien-12-oate, 2]、petafolia A (3)、12-羟基-4(5),11(13)-桉叶二烯-15-醛[12-hydroxy-4(5),11(13)-eudesmadien-15-al, 4]、12,15-二酮基-芹子-4,11-二烯(12,15-dioxo-selina-4,11-diene, 5)、(7S,8R,10S)-

(+)-8,12-二羟基-芹子-4,11-二烯-14-醛[(7S,8R,10S)-(+)-8,12-dihydroxy-selina-4,11-dien-14-al, 6]、白木香酸(7)、1 $\alpha$ -羟基-7 $\beta$ H-荒漠木-9,11-二烯-8-酮(1 $\alpha$ -hydroxy-7 $\beta$ H-eremophil-9,11-dien-8-one, 8)、7 $\alpha$ -H-9(10)-烯-11,12-环氧-8-氧代荒漠木烷[7 $\alpha$ -H-9(10)-ene-11,12-epoxy-8-oxoeremophilane, 9]、petafolia B (10)、11-羟基-瓦伦-1(10)-烯-2-酮[11-hydroxy-valenc-1(10)-en-2-one, 11]、白木香醇(baimuxinol, 12)、2-(2-苯乙基)色酮(13)、奇楠沉香酮A(qinanone A, 14)、4'-甲氧基-2-(2-苯乙基)色酮(15)、6-甲氧基-2-[2-(4'-甲氧基苯乙基)色酮(16)和丁香醛(17), 其中化合物1~7为桉烷型倍半萜、化合物8~11为艾里莫芬烷型倍半萜、化合物12为沉香螺烷型倍半萜、化合物13~16为色酮类化合物。同时, 体外评价化合物对皮质酮(CORT)诱导的PC12细胞损伤的保护作用, 发现化合物2、4和5具有显著保护皮质酮诱导的PC12细胞损伤的活性。

## 1 材料

### 1.1 试药

奇楠沉香CO<sub>2</sub>超临界提取物(100.0 g)由瑜丰沉香汇(广东)科技有限公司提供(批号:QN2021042205);水(杭州娃哈哈集团有限公司);常规分析纯(AR)试剂石油醚、二氯甲烷、乙酸乙酯、甲醇等均购于广州化学试剂厂。

### 1.2 仪器与耗材

Avance III 600型核磁共振波谱仪(德国布鲁克公司);Xevo G2-XS Qtof型高分辨质谱仪(美国沃特世公司);Nicolet iS5 FT-IR型傅里叶红外光谱仪(美国赛默飞公司);Photophysics Chirscan型圆二色谱仪(英国应用光物理公司);MCP200型自动旋光仪(德国安东帕公司);BS110S型分析天平(北京赛多利斯仪器系统有限公司);P230型高效液相色谱仪、DAD230+二极管阵列检测器(大连依利特

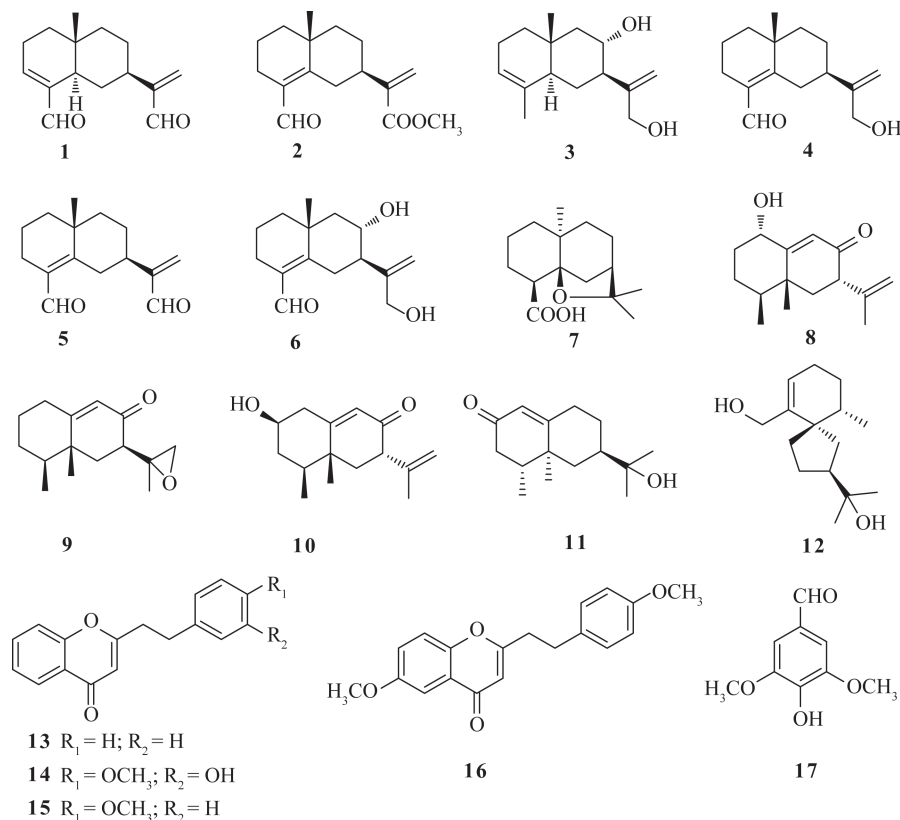


图1 奇楠沉香超临界提取物中分离鉴定的化合物1~17的化学结构

分析仪器有限公司); SB-Phenyl 色谱柱 (250 mm×9.4 mm, 5 μm, 安捷伦公司); 柱色谱用硅胶 (100~200目), 薄层色谱用硅胶 G、H、GF<sub>254</sub> 均购于青岛海洋化工有限公司。

## 2 提取与分离

奇楠沉香 CO<sub>2</sub> 超临界提取物 100.0 g 经硅胶柱色谱分离, 使用石油醚-乙酸乙酯溶剂系统进行梯度系统洗脱 (40:1、30:1、20:1、15:1、10:1、8:1、6:1、3:1、1:1、0:1), 得 Fr. A~Fr. J。Fr. A 经硅胶柱色谱分离, 以石油醚-乙酸乙酯 (100:1、80:1、60:1、40:1、20:1、1:1) 梯度洗脱得 Fr. A1~Fr. A6, 其中 Fr. A5 经半制备液相色谱分离, 以 65% 甲醇等度洗脱得化合物 **7** (1.5 mg,  $t_R=21.3$  min)。Fr. B 经半制备液相色谱分离纯化, 乙腈-水 (55:45) 等度洗脱, 得到化合物 **1** (20.3 mg,  $t_R=25.3$  min) 和混合物 Fr. B2; Fr. B2 以乙腈-水 (60:40) 等度洗脱, 得到化合物 **2** (2.6 mg,  $t_R=38.5$  min)。Fr. C 经半制备液相色谱分离, 以 60% 甲醇等度洗脱得到混合物 Fr. C-1, 进一步使用 45% 甲醇等度洗脱得到化

合物 **9** (1.6 mg,  $t_R=45.0$  min)。

Fr. D 部位经硅胶柱色谱, 以石油醚-乙酸乙酯 (100:1、50:1、10:1、8:1、4:1、2:1、1:1、0:1) 梯度洗脱, 得 Fr. D1~Fr. D8。Fr. D1 经半制备液相色谱分离, 以 60% 甲醇等度洗脱得到化合物 **13** (5.8 mg,  $t_R=55.9$  min)。Fr. D2 经半制备液相色谱, 以 60% 甲醇等度洗脱得到化合物 **5** (22.9 mg,  $t_R=45.3$  min) 和 **13** (449.0 mg,  $t_R=55.0$  min)。Fr. D4 经半制备液相色谱分离, 以 60% 甲醇等度洗脱得到化合物 **15** (95.7 mg,  $t_R=57.3$  min)。Fr. D5 经半制备液相色谱分离, 以 70% 甲醇等度洗脱得到混合物 Fr. D5-1、化合物 **15** (930.6 mg,  $t_R=27.3$  min) 和化合物 **16** (6.9 mg,  $t_R=34.8$  min)。Fr. D5-1 经 55% 甲醇等度洗脱得到化合物 **3** (17.8 mg,  $t_R=48.4$  min) 和 **8** (3.3 mg,  $t_R=32.1$  min)。Fr. D7 经半制备液相色谱分离, 以 55% 甲醇等度洗脱得到化合物 **12** (13.3 mg,  $t_R=38.5$  min)。Fr. E 经半制备液相色谱分离, 以 60% 甲醇等度洗脱得到化合物 **4** (1.9 mg,  $t_R=11.5$  min)。Fr. F 经重结晶, 得到 Fr. FA 和 Fr. FB。Fr. FA 经半制备液相色谱分离, 以 60% 甲醇等度洗

脱, 得化合物 **17** (1.5 mg,  $t_r=9.0$  min) 和混合物 Fr. F-1。混合物 Fr. F-1 经 45% 甲醇等度洗脱, 得到化合物 **11** (6.4 mg,  $t_r=38.6$  min)。Fr. FB 经半制备液相色谱分离, 以 60% 甲醇等度洗脱得到化合物 **10** (2.9 mg,  $t_r=30.0$  min) 和 **11** (3.9 mg,  $t_r=33.2$  min)。Fr. G 经半制备液相色谱分离, 以 70% 甲醇等度洗脱, 得化合物 **14** (8.06 mg,  $t_r=17.3$  min)。Fr. I 经半制备液相色谱分离, 以 60% 甲醇等度洗脱, 得到混合物 Fr. I-1, 进一步使用 50% 甲醇等度洗脱, 得到化合物 **6** (8.1 mg,  $t_r=28.4$  min)。

### 3 结构鉴定

化合物 **1**: 无色油状物, 分子式为  $C_{15}H_{20}O_2$ , 电喷雾离子源-质谱法 (ESI-MS)  $m/z$ : 233.2  $[M+H]^+$ 。 $^1H$ -NMR (600 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 9.51 (1H, s, 12-CHO), 6.27 (1H, s, H-13), 5.97 (1H, s, H-13), 0.84 (3H, s, H-14), 9.40 (1H, s, 15-CHO);  $^{13}C$ -NMR (150 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 39.7 (C-1), 16.0 (C-2), 142.2 (C-3), 153.8 (C-4), 32.3 (C-5), 27.2 (C-6), 37.1 (C-7), 27.2 (C-8), 43.6 (C-9), 36.6 (C-10), 154.9 (C-11), 133.8 (C-12), 195.3 (C-13), 26.6 (C-14), 195.0 (C-15)。以上数据与文献报道基本一致<sup>[20]</sup>, 故鉴定化合物 **1** 为 12,15-二酮基- $\alpha$ -芹子烯。

化合物 **2**: 淡黄色油状物, 分子式为  $C_{16}H_{22}O_3$ , ESI-MS  $m/z$ : 263.2  $[M+H]^+$ 。 $^1H$ -NMR (600 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 6.25 (1H, s, H-13 $\alpha$ ), 5.63 (1H, s, H-13 $\beta$ ), 1.21 (3H, s, H-14), 10.17 (1H, s, 15-CHO), 3.77 (3H, s, 12-OCH<sub>3</sub>);  $^{13}C$ -NMR (150 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 39.5 (C-1), 18.0 (C-2), 24.0 (C-3), 133.2 (C-4), 163.5 (C-5), 30.0 (C-6), 41.6 (C-7), 27.4 (C-8), 41.5 (C-9), 36.8 (C-10), 144.4 (C-11), 167.5 (C-12), 123.8 (C-13), 25.4 (C-14), 191.1 (C-15), 52.1 (12-OCH<sub>3</sub>)。以上数据与文献报道基本一致<sup>[21-22]</sup>, 故鉴定化合物 **2** 为 15-酮基-桉叶烷-4,11(13)-二烯-12-甲酯。

化合物 **3**: 无色油状物, 分子式为  $C_{15}H_{24}O_2$ , ESI-MS  $m/z$ : 237.2  $[M+H]^+$ 。 $^1H$ -NMR (600 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 5.31 (1H, t,  $J=1.8$  Hz, H-3), 2.00 (1H, m, H-5), 2.05 (1H, m, H-7), 3.90 (1H, m, H-8), 4.10 (2H, m, H-12), 5.22 (1H, s, H-13), 5.08 (1H, s, H-13), 1.59 (3H, s, CH<sub>3</sub>-14), 0.85 (3H, s, CH<sub>3</sub>-15);  $^{13}C$ -NMR (150 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 37.8 (C-1), 22.9 (C-2), 121.5 (C-3), 134.1 (C-4), 46.6 (C-5), 30.1 (C-6), 51.6 (C-

7), 70.7 (C-8), 48.5 (C-9), 34.1 (C-10), 151.1 (C-11), 112.9 (C-12), 66.1 (C-13), 21.5 (C-14), 16.9 (C-15)。以上数据与文献报道基本一致<sup>[23-24]</sup>, 故鉴定化合物 **3** 为 petafolia A。

化合物 **4**: 无色油状物, 分子式为  $C_{15}H_{22}O_2$ , ESI-MS  $m/z$ : 235.2  $[M+H]^+$ 。 $^1H$ -NMR (600 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 1.39 (1H, m, H-1 $\alpha$ ), 1.60 (1H, m, H-1 $\beta$ ), 1.65 (2H, m, H-2), 2.35 (1H, m, H-3 $\alpha$ ), 2.15 (1H, m, H-3 $\beta$ ), 1.50 (1H, m, H-6 $\alpha$ ), 3.43 (1H, dd,  $J=10.8$ , 1.8 Hz, H-6 $\beta$ ), 2.18 (1H, m, H-7), 1.70 (1H, m, H-8 $\alpha$ ), 1.15 (1H, m, H-8 $\beta$ ), 2.08 (2H, m, H-9), 5.12 (1H, s, H-12 $\alpha$ ), 5.00 (1H, s, H-12 $\beta$ ), 4.17 (2H, br s, H-13), 1.21 (3H, s, CH<sub>3</sub>-14), 10.17 (1H, s, H-15);  $^{13}C$ -NMR (150 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 41.7 (C-1), 17.9 (C-2), 24.0 (C-3), 133.0 (C-4), 164.1 (C-5), 29.8 (C-6), 43.3 (C-7), 27.8 (C-8), 39.5 (C-9), 36.9 (C-10), 152.6 (C-11), 65.4 (C-12), 109.2 (C-13), 25.3 (C-14), 191.0 (C-15)。以上数据与文献报道基本一致<sup>[20,25]</sup>, 故鉴定化合物 **4** 为 12-羟基-4(5),11(13)-桉叶二烯-15-醛。

化合物 **5**: 无色油状物, 分子式为  $C_{15}H_{20}O_2$ , ESI-MS  $m/z$ : 233.2  $[M+H]^+$ 。 $^1H$ -NMR (600 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 9.54 (1H, s, 12-CHO), 6.33 (1H, s, H-13), 6.06 (1H, s, H-13), 1.21 (3H, s, H-14), 10.14 (1H, s, 15-CHO);  $^{13}C$ -NMR (150 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 39.5 (C-1), 17.9 (C-2), 23.9 (C-3), 133.3 (C-4), 163.1 (C-5), 29.1 (C-6), 38.5 (C-7), 26.9 (C-8), 41.4 (C-9), 36.6 (C-10), 153.6 (C-11), 194.5 (C-12), 133.8 (C-13), 25.3 (C-14), 191.1 (C-15)。以上数据与文献报道基本一致<sup>[20]</sup>, 故鉴定化合物 **5** 为 12,15-二酮基-芹子-4,11-二烯。

化合物 **6**: 无色油状物, 分子式为  $C_{15}H_{22}O_3$ , ESI-MS  $m/z$ : 251.2  $[M+H]^+$ 。 $^1H$ -NMR (600 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 1.42 (1H, m, H-1 $\alpha$ ), 1.60 (1H, m, H-1 $\beta$ ), 1.65 (2H, m, H-2), 2.34 (1H, m, H-3 $\alpha$ ), 2.05 (1H, m, H-3 $\beta$ ), 1.49 (1H, m, H-6 $\alpha$ ), 3.37 (1H, dd,  $J=14.4$ , 3.6 Hz, H-6 $\beta$ ), 2.15 (1H, t,  $J=3.0$  Hz, H-7), 4.02 (1H, td,  $J=10.8$ , 3.0 Hz, H-8), 2.02 (1H, dd,  $J=10.2$ , 4.2 Hz, H-9 $\alpha$ ), 1.42 (1H, d,  $J=10.2$  Hz, H-9 $\beta$ ), 5.29 (1H, s, H-12 $\alpha$ ), 5.15 (1H, s, H-12 $\beta$ ), 4.15 (1H, br s, H-13 $\alpha$ ), 4.20 (1H, br s, H-13 $\beta$ ), 1.25 (3H, s, CH<sub>3</sub>-14), 10.14 (1H, s, H-15);  $^{13}C$ -NMR (150 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 39.2 (C-1), 17.6 (C-2), 23.8 (C-3), 133.5 (C-4), 161.3 (C-5),

29.1 (C-6), 51.6 (C-7), 69.5 (C-8), 49.1 (C-9), 38.1 (C-10), 149.3 (C-11), 65.9 (C-12), 114.5 (C-13), 26.2 (C-14), 191.3 (C-15)。以上数据与文献报道基本一致<sup>[26]</sup>, 故鉴定化合物**6**为(7*S*,8*R*,10*S*)-(+)-8,12-二羟基-芹子-4,11-二烯-14-醛。

化合物**7**: 无色油状物, 分子式为 $C_{15}H_{24}O_3$ , ESI-MS  $m/z$ : 275.2 [M+Na]<sup>+</sup>。<sup>1</sup>H-NMR (600 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 2.81 (1H, dd,  $J=13.2, 4.2$  Hz, H-4), 1.25 (3H, s, H-12), 1.48 (3H, s, H-13), 1.02 (3H, s, H-15); <sup>13</sup>C-NMR (150 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 37.0 (C-1), 20.4 (C-2), 28.3 (C-3), 47.8 (C-4), 86.5 (C-5), 36.5 (C-6), 43.8 (C-7), 24.4 (C-8), 35.6 (C-9), 38.2 (C-10), 84.8 (C-11), 23.4 (C-12), 30.8 (C-13), 175.3 (C-14), 23.5 (C-15)。以上数据与文献报道基本一致<sup>[27]</sup>, 故鉴定化合物**7**为白木香酸。

化合物**8**: 无色油状物, 分子式为 $C_{15}H_{22}O_2$ , ESI-MS  $m/z$ : 235.2 [M+H]<sup>+</sup>。<sup>1</sup>H-NMR (600 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 4.44 (1H, t,  $J=3.0$  Hz, H-1), 1.60 (1H, m, H-4), 3.02 (1H, dd,  $J=5.4, 10.2$  Hz, H-7), 5.88 (1H, s, H-9), 1.79 (3H, s, H-12), 4.94 (1H, m, H-13), 4.81 (1H, m, H-13), 1.30 (3H, s, CH<sub>3</sub>-14), 0.97 (3H, d,  $J=6.6$  Hz, CH<sub>3</sub>-15); <sup>13</sup>C-NMR (150 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 74.8 (C-1), 32.5 (C-2), 25.5 (C-3), 40.7 (C-4), 38.6 (C-5), 42.6 (C-6), 51.0 (C-7), 200.8 (C-8), 125.0 (C-9), 168.1 (C-10), 143.9 (C-11), 21.4 (C-12), 113.8 (C-13), 21.3 (C-14), 16.0 (C-15)。以上数据与文献报道基本一致<sup>[28]</sup>, 故鉴定化合物**8**为1 $\alpha$ -羟基- $\beta$ 7H-荒漠木-9,11-二烯-8-酮。

化合物**9**: 无色油状物, 分子式为 $C_{15}H_{22}O_2$ , ESI-MS  $m/z$ : 235.2 [M+H]<sup>+</sup>。<sup>1</sup>H-NMR (600 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 1.85 (1H, m, H-4), 2.00 (1H, m, H-7), 5.74 (1H, s, H-9), 1.28 (3H, s, CH<sub>3</sub>-12), 2.70 (1H, d,  $J=1.2$  Hz, H-13), 2.82 (1H, d,  $J=3.6$  Hz, H-13), 1.10 (3H, s, CH<sub>3</sub>-14), 0.95 (3H, d,  $J=4.8$  Hz, CH<sub>3</sub>-15); <sup>13</sup>C-NMR (150 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 33.3 (C-1), 29.9 (C-2), 30.4 (C-3), 38.0 (C-4), 40.4 (C-5), 34.2 (C-6), 49.7 (C-7), 197.0 (C-8), 122.5 (C-9), 173.6 (C-10), 56.4 (C-11), 17.5 (C-12), 56.2 (C-13), 21.3 (C-14), 16.4 (C-15)。以上数据与文献报道基本一致<sup>[29]</sup>, 故鉴定化合物**9**为7 $\alpha$ -H-9(10)-烯-11,12-环氧-8-氧代荒漠木烷。

化合物**10**: 无色油状物, 分子式为 $C_{15}H_{22}O_2$ , ESI-MS  $m/z$ : 235.2 [M+H]<sup>+</sup>。<sup>1</sup>H-NMR (600 MHz, CDCl<sub>3</sub>)

$\delta$ : 3.67 (1H, m, H-2), 1.85 (1H, m, H-4), 3.01 (1H, m, H-7), 5.83 (1H, s, H-9), 1.77 (3H, s, CH<sub>3</sub>-12), 4.73 (1H, t,  $J=1.8$  Hz, H-13), 4.95 (1H, t,  $J=1.8$  Hz, H-13), 1.00 (3H, s, CH<sub>3</sub>-14), 0.97 (3H, d,  $J=7.2$  Hz, CH<sub>3</sub>-15); <sup>13</sup>C-NMR (150 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 42.4 (C-1), 71.8 (C-2), 37.1 (C-3), 35.9 (C-4), 39.4 (C-5), 39.6 (C-6), 50.7 (C-7), 199.6 (C-8), 125.1 (C-9), 166.5 (C-10), 143.7 (C-11), 20.9 (C-12), 114.1 (C-13), 20.1 (C-14), 15.9 (C-15)。以上数据与文献报道基本一致<sup>[23-24]</sup>, 故鉴定化合物**10**为petafolia B。

化合物**11**: 无色油状物, 分子式为 $C_{15}H_{24}O_2$ , ESI-MS  $m/z$ : 237.2 [M+H]<sup>+</sup>。<sup>1</sup>H-NMR (600 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 5.76 (1H, s, H-1), 2.20~2.30 (2H, m, H-3), 1.98 (1H, m, H-4), 2.03 (1H, m, H-6 $\alpha$ ), 0.99 (1H, m, H-6 $\beta$ ), 1.72 (1H, m, H-7), 1.18 (2H, m, H-8), 2.47 (2H, m, H-9), 1.19 (3H, s, CH<sub>3</sub>-12), 1.21 (3H, s, CH<sub>3</sub>-13), 1.08 (3H, s, CH<sub>3</sub>-14), 0.97 (3H, d,  $J=6.6$  Hz, CH<sub>3</sub>-15); <sup>13</sup>C-NMR (150 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 124.7 (C-1), 200.1 (C-2), 42.3 (C-3), 40.8 (C-4), 39.4 (C-5), 39.8 (C-6), 44.1 (C-7), 27.9 (C-8), 33.2 (C-9), 171.1 (C-10), 72.7 (C-11), 27.1 (C-12), 27.6 (C-13), 17.2 (C-14), 15.2 (C-15)。以上数据与文献报道基本一致<sup>[30]</sup>, 故鉴定化合物**11**为11-羟基-瓦伦-1(10)-烯-2-酮。

化合物**12**: 无色油状物, 分子式为 $C_{15}H_{26}O_2$ , ESI-MS  $m/z$ : 239.2 [M+H]<sup>+</sup>。<sup>1</sup>H-NMR (600 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 5.63 (1H, t,  $J=3.0$  Hz, H-7), 4.12 (2H, s, H-14), 2.08 (1H, m, H-8a), 2.05 (1H, m, H-3), 1.95 (1H, m, H-8b), 1.75 (1H, m, H-4a), 1.72 (1H, m, H-1a), 1.70 (1H, m, H-9a), 1.68 (1H, m, H-4b), 1.67 (1H, m, H-2a), 1.61 (1H, m, H-10), 1.43 (1H, m, H-9b), 1.42 (1H, m, H-1b), 1.38 (1H, m, H-2b), 1.20 (6H, s, CH<sub>3</sub>-12/13), 0.90 (3H, d,  $J=6.6$  Hz, CH<sub>3</sub>-15); <sup>13</sup>C-NMR (150 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 35.9 (C-1), 27.6 (C-2), 53.1 (C-3), 39.6 (C-4), 47.6 (C-5), 144.2 (C-6), 122.7 (C-7), 22.4 (C-8), 27.1 (C-9), 39.3 (C-10), 72.1 (C-11), 28.4 (C-12), 28.4 (C-13), 64.9 (C-14), 15.5 (C-15)。以上数据与文献报道基本一致<sup>[24]</sup>, 故鉴定化合物**12**为白木香醇。

化合物**13**: 淡黄色粉末, 分子式为 $C_{17}H_{14}O_2$ , ESI-MS  $m/z$ : 251.1 [M+H]<sup>+</sup>。<sup>1</sup>H-NMR (600 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 8.18 (1H, m, H-5), 7.34 (8H, m, H-6~8, 2'~6'), 6.16 (1H, s, H-3), 3.00 (4H, m, H-11/12); <sup>13</sup>C-

NMR (150 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 168.7 (C-2), 110.5 (C-3), 178.6 (C-4), 125.2 (C-5), 125.9 (C-6), 133.8 (C-7), 118.1 (C-8), 123.9 (C-9), 156.7 (C-10), 36.4 (C-11), 33.2 (C-12), 139.9 (C-1'), 128.9 (C-2'/6'), 128.5 (C-3'/5'), 126.8 (C-4')。以上数据与文献报道基本一致<sup>[31]</sup>, 故鉴定化合物 **13** 为 2-(2-苯乙基)色酮。

化合物 **14**: 白色粉末, 分子式为 C<sub>18</sub>H<sub>16</sub>O<sub>4</sub>, ESI-MS *m/z*: 297.1 [M+H]<sup>+</sup>。<sup>1</sup>H-NMR (600 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 6.14 (1H, s, H-3), 8.17 (1H, dd, *J*=1.8, 7.8 Hz, H-5), 7.38 (1H, t, *J*=6.6 Hz, H-6), 7.65 (1H, m, H-7), 7.44 (1H, d, *J*=8.4 Hz, H-8), 2.89 (2H, m, H-11), 2.95 (2H, m, H-12), 6.65 (1H, dd, *J*=1.8, 7.8 Hz, H-2'), 6.75 (1H, d, *J*=7.8 Hz, H-3'), 6.79 (1H, d, *J*=1.8 Hz, H-6'), 3.85 (3H, s, 4'-OCH<sub>3</sub>); <sup>13</sup>C-NMR (150 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 168.8 (C-2), 110.4 (C-3), 178.6 (C-4), 125.8 (C-5), 125.2 (C-6), 133.8 (C-7), 118.1 (C-8), 156.6 (C-9), 123.8 (C-10), 36.5 (C-11), 32.5 (C-12), 133.1 (C-1'), 119.8 (C-2'), 110.9 (C-3'), 145.5 (C-4'), 145.9 (C-5'), 114.7 (C-6'), 56.1 (4'-OCH<sub>3</sub>)。以上数据与文献报道基本一致<sup>[31]</sup>, 故鉴定化合物 **14** 为奇楠沉香酮 A。

化合物 **15**: 淡黄色粉末, 分子式为 C<sub>18</sub>H<sub>16</sub>O<sub>3</sub>, ESI-MS *m/z*: 281.1 [M+H]<sup>+</sup>。<sup>1</sup>H-NMR (600 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 6.13 (1H, s, H-3), 8.17 (1H, d, *J*=6.6 Hz, H-5), 7.63 (1H, t, *J*=8.4 Hz, H-6), 7.35 (1H, t, *J*=15.0 Hz, H-7), 7.43 (1H, d, *J*=8.4 Hz, H-8), 3.00 (2H, t, *J*=6.0 Hz, H-11), 2.91 (2H, t, *J*=6.0 Hz, H-12), 6.82 (2H, d, *J*=7.8 Hz, H-2'/6'), 7.11 (2H, d, *J*=7.8 Hz, H-3'/5'), 3.80 (3H, s, 4'-OCH<sub>3</sub>); <sup>13</sup>C-NMR (150 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 168.6 (C-2), 110.2 (C-3), 178.3 (C-4), 125.0 (C-5), 125.6 (C-6), 133.6 (C-7), 117.9 (C-8), 123.7 (C-9), 156.4 (C-10), 36.4 (C-11), 32.1 (C-12), 131.7 (C-1'), 129.3 (C-2'/6'), 114.0 (C-3'/5'), 158.2 (C-4'), 55.2 (4'-OCH<sub>3</sub>)。以上数据与文献报道基本一致<sup>[31]</sup>, 故鉴定化合物 **15** 为 4'-甲氧基-2-(2-苯乙基)色酮。

化合物 **16**: 淡黄色粉末, 分子式为 C<sub>19</sub>H<sub>18</sub>O<sub>4</sub>, ESI-MS *m/z*: 311.1 [M+H]<sup>+</sup>。<sup>1</sup>H-NMR (600 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 6.13 (1H, s, H-3), 7.54 (1H, s, H-5), 7.25 (1H, dd, *J*=3.6, 9.0 Hz, H-7), 7.37 (1H, d, *J*=9.0 Hz, H-8), 2.89 (2H, m, H-11), 3.00 (2H, m, H-12), 7.11 (2H, d, *J*=8.4 Hz, H-2'/6'), 6.82 (2H, d, *J*=8.4 Hz, H-

3'/5'), 3.80 (3H, s, 4'-OCH<sub>3</sub>), 3.89 (3H, s, 6-OCH<sub>3</sub>); <sup>13</sup>C-NMR (150 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 168.6 (C-2), 109.7 (C-3), 178.5 (C-4), 104.9 (C-5), 151.5 (C-6), 123.8 (C-7), 119.5 (C-8), 157.0 (C-9), 124.5 (C-10), 36.6 (C-11), 32.4 (C-12), 132.0 (C-1'), 129.5 (C-2'/6'), 114.2 (C-3'/5'), 158.4 (C-4'), 55.5 (4'-OCH<sub>3</sub>), 56.2 (6-OCH<sub>3</sub>)。以上数据与文献报道基本一致<sup>[32]</sup>, 故鉴定化合物 **16** 为 6-甲氧基-2-[2-(4'-甲氧基苯乙基)色酮]。

化合物 **17**: 白色粉末, 分子式为 C<sub>9</sub>H<sub>10</sub>O<sub>4</sub>, ESI-MS *m/z*: 183.1 [M+H]<sup>+</sup>。<sup>1</sup>H-NMR (600 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 9.82 (1H, s, -CHO), 7.16 (2H, s, H-2/6), 3.98 (6H, s, 3/5-OCH<sub>3</sub>); <sup>13</sup>C-NMR (150 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 191.1 (-CHO), 128.3 (C-1), 106.9 (C-2/6), 147.5 (C-3/5), 142.3 (C-4), 56.7 (3/5-OCH<sub>3</sub>)。以上数据与文献报道基本一致<sup>[33-34]</sup>, 故鉴定化合物 **17** 为丁香醛。

#### 4 神经保护活性筛选

采用体外法测定化合物对 CORT 诱导的 PC12 细胞损伤的保护作用<sup>[35]</sup>。PC12 细胞按常规方法培养, 在 96 孔板中接种对数生长期细胞, 使细胞浓度为 5×10<sup>4</sup> 个/mL, 每孔加入 100 μL, 置于 37 °C 含 5% CO<sub>2</sub> 的培养箱中培养 24 h。设置空白组、模型组、阳性对照地西洋组、实验组。空白组中加入不完全培养基 200 μL, 不做任何处理; 模型组用 CORT 200 μL (终浓度为 200 μmol·L<sup>-1</sup>) 处理; 地西洋组加入 3.125 μg·mL<sup>-1</sup> 地西洋 100 μL (地西洋产生毒性的血药质量浓度为 30 μg·mL<sup>-1</sup>, 故给药剂量设其 1/10 剂量) 处理细胞; 实验组以 CORT 100 μL (终浓度为 200 μmol·L<sup>-1</sup>) 和相应药物 (预实验检测化合物对 PC12 细胞存活率影响, 化合物以质量浓度 50.000 0、25.000 0、12.500 0、6.250 0、3.125 0、1.562 5 μg·mL<sup>-1</sup> 给药)。各组细胞置于 37 °C 含 5% CO<sub>2</sub> 的培养箱中培养 24 h, 精密吸取含药培养基 100 μL, 加入 CCK-8 10 μL, 置于 37 °C 含 5% CO<sub>2</sub> 的培养箱中孵育 1~2 h 后, 将 96 孔板置于酶标仪 450 nm 波长处测定吸光度 (*A*), 按照公式 (1) 计算细胞存活率。结果见表 1。

$$\text{细胞存活率} = \frac{A_{\text{药物组}} - A_{\text{空白组}}}{A_{\text{对照组}} - A_{\text{空白组}}} \times 100\% \quad (1)$$

结果发现, CORT 诱导细胞损伤后的细胞存活率为 48.78%, 给予受试药物后不同化合物不同质量

**表1 化合物对CORT诱导PC12细胞存活率的影响**  
( $\bar{x}\pm s, n=3$ )

组别	质量浓度/ $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	细胞存活率/%
对照组		100.00±0
模型组		48.78±0.72 <sup>##</sup>
地西洋组	3.125	85.23±1.76 <sup>**</sup>
	12.50	82.60±2.85 <sup>**</sup>
	6.25	72.53±2.47 <sup>**</sup>
化合物1组	25.00	57.45±1.05 <sup>**</sup>
	12.50	91.36±3.87 <sup>***</sup>
	6.25	78.01±2.82 <sup>**</sup>
化合物2组	25.00	64.74±1.12 <sup>**</sup>
	12.50	72.92±1.88 <sup>**</sup>
	6.25	60.79±1.54 <sup>**</sup>
化合物3组	25.00	59.96±0.94 <sup>**</sup>
	12.50	88.95±3.24 <sup>***</sup>
	6.25	77.52±2.12 <sup>**</sup>
化合物4组	25.00	60.19±1.08 <sup>**</sup>
	12.50	85.49±3.72 <sup>**</sup>
	6.25	74.63±2.04 <sup>**</sup>
化合物5组	25.00	58.27±1.05 <sup>**</sup>
	12.50	70.71±1.96 <sup>**</sup>
	6.25	61.18±1.50 <sup>**</sup>
化合物6组	25.00	50.64±0.84 <sup>*</sup>
	12.50	68.81±0.88 <sup>**</sup>
	6.25	57.14±1.08 <sup>**</sup>
化合物7组	25.00	52.01±0.75 <sup>*</sup>
	12.50	60.65±1.11 <sup>**</sup>
	6.25	55.85±0.65 <sup>**</sup>
化合物8组	25.00	50.35±0.93 <sup>*</sup>
	12.50	63.28±1.05 <sup>**</sup>
	6.25	54.22±0.84 <sup>*</sup>
化合物9组	25.00	51.69±1.05 <sup>*</sup>
	12.50	67.60±2.01 <sup>**</sup>
	6.25	56.53±1.12 <sup>**</sup>
化合物10组	25.00	52.45±1.10 <sup>*</sup>
	12.50	68.36±2.15 <sup>**</sup>
	6.25	58.01±1.24 <sup>**</sup>
化合物11组	25.00	53.74±0.88 <sup>*</sup>
	12.50	67.25±1.43 <sup>**</sup>
	6.25	57.65±0.88 <sup>**</sup>
化合物12组	25.00	51.36±0.95 <sup>*</sup>
	12.50	69.35±1.72 <sup>**</sup>
	6.25	58.58±0.60 <sup>**</sup>
化合物17组	25.00	53.45±1.12 <sup>*</sup>

注: 与对照组比较, <sup>##</sup> $P<0.01$ ; 与模型组比较, <sup>\*</sup> $P<0.05$ , <sup>\*\*</sup> $P<0.01$ , <sup>\*\*\*</sup> $P<0.001$ 。

浓度下细胞存活率出现不同程度升高, 存活率为50.35%~91.36%, 表明化合物对CORT诱导的PC12细胞有明显的保护作用, 其中化合物2和4活性较强。

## 5 讨论

本研究对奇楠种质产奇楠沉香的超临界提取物化学成分进行分离与纯化研究, 共得到17个化合物, 其中12个倍半萜类化合物和4个色酮类化合物。从结构类型上分析, 桉烷型和艾里莫芬烷型是奇楠沉香超临界提取物中芳香倍半萜的主要成分, 2-(2-苯乙基)色酮母核及其4'-甲氧基-2-(2-苯乙基)色酮是奇楠沉香中色酮类的大量成分。从结构特点上分析, 桉烷型倍半萜普遍在C-12位或C-15位有醛基存在, 艾里莫芬烷型倍半萜普遍存在 $\alpha, \beta$ -不饱和酮片段。通过奇楠沉香超临界提取物与水蒸气蒸馏挥发油成分的研究比较<sup>[36-37]</sup>, 发现2种提取物均富含2-(2-苯乙基)色酮类化合物, 其中2-(2-苯乙基)色酮与2-[2-(4'-甲氧基苯乙基)色酮的含量较高; 但其倍半萜类成分存在差异, 水蒸气蒸馏的挥发油中倍半萜类成分有莫芬烷型、愈创木烷型及桉烷型等, 而奇楠沉香超临界提取物中倍半萜主要是桉烷型、艾里莫芬烷型及沉香螺烷型, 未见愈创木烷型倍半萜类成分。本研究丰富了奇楠沉香的化学成分数据, 发现了化合物1、2、4和5具有较强的保护CORT诱导的PC12细胞损伤活性, 为奇楠沉香的进一步开发和利用提供了参考。

## 参考文献

- [1] 王云云, 侯文成, 魏建和, 等. 沉香中倍半萜类化合物与生物活性研究进展及其质量标志物预测分析[J]. 中草药, 2022, 53(4): 1191-1209.
- [2] 王灿红, 王帅, 刘洋洋, 等. 通体结香技术产沉香的药效学研究进展及药用开发前景[J]. 生物资源, 2021, 43(4): 328-335.
- [3] 吕菲菲, 杨云, 孙佩文, 等. 伤害诱导普通白木香与奇楠种质沉香中倍半萜类成分及早期倍半萜合酶基因表达的差异分析[J]. 中国现代中药, 2021, 23(12): 2060-2066.
- [4] 陶弘景. 名医别录[M]. 尚志钧, 辑校. 北京: 人民卫生出版社, 1986: 64.
- [5] 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, 2020: 192.
- [6] 冯剑, 侯文成, 陈兰, 等. 基于《中华人民共和国药典》的奇楠种质产沉香的质量分析与评价[J]. 中国现代中药,

- 2022,24(3):432-437.
- [7] HOU W C, LIU P W, LIU Y Y, et al. Chi-Nan agarwood germplasms constitute a new chemotype of *Aquilaria sinensis* (Lour.) Spreng [J]. *Ind Crops Prod*, 2022, 187: 115494.
- [8] LI W, CHEN H Q, WANG H, et al. Natural products in agarwood and *Aquilaria* plants: Chemistry, biological activities and biosynthesis [J]. *Nat Prod Rep*, 2021, 38 (3):528-565.
- [9] 董梅月, 杨中一, 马祯, 等. 国产沉香化学成分及药理作用研究进展[J]. *山东中医杂志*, 2020, 39(2):189-194.
- [10] 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.
- [11] CHEN X Q, WANG C H, HE Q Q, et al. Chemical composition and potential properties in mental illness (anxiety, depression and insomnia) of agarwood essential oil: A review [J]. *Molecules*, 2022, 27 (14) : 4528.
- [12] WANG S A, YU Z X, WANG C H, et al. Chemical constituents and pharmacological activity of agarwood and *aquilaria* plants[J]. *Molecules*, 2018, 23(2):342.
- [13] 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.
- [14] YANG D L, WANG H, GUO Z K, et al. A new 2-(2-phenylethyl) chromone derivative in Chinese agarwood 'Qi-Nan' from *Aquilaria sinensis* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2014, 16(7):770-776.
- [15] 杨锦玲, 梅文莉, 蔡彩虹, 等. 黄奇楠生物活性和化学成分的研究[J]. *中成药*, 2015, 37(8):1740-1747.
- [16] SHAO H, MEI W L, KONG F D, et al. A new 2-(2-phenylethyl) chromone glycoside in Chinese agarwood "Qi-Nan" from *Aquilaria sinensis* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2017, 19(1):42-46.
- [17] 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.
- [18] YANG D L, WANG J, LI W, et al. New guaiane and acorane sesquiterpenes in high quality agarwood Qi-Nan from *Aquilaria sinensis* [J]. *Phytochem Lett*, 2016, 17: 94-99.
- [19] SHAO H, KONG F D, WANG H, et al. Qinanmer, a new compound from Chinese agarwood 'Qi-Nan' originating from *Aquilaria sinensis* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2017, 19(9):935-940.
- [20] BOHLMANN F, ZDERO C, CUATRECASAS J, et al. Neue sesquiterpene und norditerpene aus vertretern der gattung *Libanothamnus* [J]. *Phytochemistry*, 1980, 19 (6):1145-1148.
- [21] 康科星, 戴好富, 王佩, 等. 柯拉斯那沉香的倍半萜类化学成分研究[J]. *中草药*, 2017, 48(22):4601-4607.
- [22] DAWIDAR A A, METWALLY M. New  $\alpha$ -cyclocostunolide and isocostic acid derivatives from *Pluchea dioscoridis* [J]. *Chem Pharm Bull*, 1985, 33 (11):5068-5070.
- [23] ZHAO L Z, JIN Y, HAN X M, et al. Two new sesquiterpenes from the aerial parts of *Schizonepeta tenuifolia* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2017, 19 (2) : 152-156.
- [24] 余章昕, 王灿红, 陈德力, 等. 通体结香技术产沉香的倍半萜及其抗炎活性研究[J]. *中国中药杂志*, 2019, 44 (19):4196-4202.
- [25] DE LEO M, SALTOS M B V, PUENTE B F N, et al. Sesquiterpenes and diterpenes from *Ambrosia arborescens* [J]. *Phytochemistry*, 2010, 71(7):804-809.
- [26] LI W, CAI C H, GUO Z K, et al. Five new eudesmane-type sesquiterpenoids from Chinese agarwood induced by artificial holing [J]. *Fitoterapia*, 2015, 100:44-49.
- [27] YANG J S, WANG Y L, SU Y L. Baimuxifuranic acid, a new sesquiterpene from the volatile oil of *Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilg [J]. *Chin Chem Lett*, 1992, 3: 983-984.
- [28] LIN A Q, WU G W, GU Q Q, et al. New eremophilane-type sesquiterpenes from an Antarctic deep-sea derived fungus, *Penicillium* sp. PR19 N-1 [J]. *Arch Pharmacol Res*, 2014, 37(7):839-844.
- [29] YANG D L, WANG H, GUO Z K, et al. Fragrant agarofuran and eremophilane sesquiterpenes in agarwood 'Qi-Nan' from *Aquilaria sinensis* [J]. *Phytochem Lett*, 2014, 8:121-125.
- [30] SAVONA G, PIOZZI F, DE LA TORRE M C, et al. A valencane sesquiterpenoid from *Teucrium carolipau* [J]. *Phytochemistry*, 1987, 26(2):571-572.
- [31] HASHIMOTO K, NAKAHARA S, INOUE T, et al. A new chromone from agarwood and pyrolysis products of chromone derivatives [J]. *Chem Pharm Bull*, 1985, 33 (11):5088-5091.
- [32] NAKANISHI T, INADA A, NISHI M, et al. A new and a known derivatives of 2-(2-phenylethyl) chromone from a kind of agarwood ("kanankoh" in Japanese) originating from *Aquilaria agallocha* [J]. *J Nat Prod*,

- 1986,49(6):1106-1108.
- [33] 李小军,金官佑,吴贤哲,等. 糙叶五加茎化学成分研究[J]. 中草药,2019,50(5):1055-1060.
- [34] 陈林,王琦,吴蓓,等. 百尾参化学成分的分离与鉴定(II)[J]. 中草药,2018,49(20):4803-4807.
- [35] HE Q, HU D B, ZHANG L, et al. Neuroprotective compounds from the resinous heartwood of *Aquilaria sinensis*[J]. *Phytochemistry*, 2021, 181:112554.
- [36] 王雅丽,李薇,曾军,等. 栽培奇楠沉香精油中致香成分的GC-MS分析[J]. 中国热带农业,2021(1):90-97.
- [37] 谷田,彭海刚. 奇楠沉香挥发油化学成分分析[J]. 广东化工,2012,39(4):257-258.

(收稿日期: 2023-03-24 编辑: 田苗)