

• 化学成分 •

广藿香的化学成分研究

兰婷婷¹, 朱 欢^{1,2}, 郑 琪^{1,2}, 郭 力¹, 熊 亮^{1,2,3*}, 周勤梅^{1,2,4*}

1. 成都中医药大学药学院, 四川 成都 611137

2. 成都中医药大学 西南特色药材创新药物成分研究所, 四川 成都 611137

3. 成都中医药大学医学技术学院, 四川 成都 611137

4. 成都中医药大学 中医药创新研究院, 四川 成都 611137

摘要: 目的 研究广藿香 *Pogostemon cablin* 的化学成分, 并进行神经保护活性评价。方法 采用硅胶柱色谱、C₁₈ 柱色谱、Sephadex LH-20 凝胶柱色谱、高效液相色谱等多种方法进行分离纯化, 并利用现代波谱技术和理化性质鉴定化合物的结构。采用皮质酮诱导损伤的 PC12 细胞为模型, 评价广藿香成分的神经保护作用。结果 从广藿香 75% 甲醇提取物中分离得到 18 个化合物, 分别鉴定为 (-)-3 β ,5 β -dihydroxyl-5(6 $\rightarrow$ 7)abeo-sitostan-22-ene-6 β -aldehyde (1)、podosterol (2)、豆甾-5,22-二烯-3 β ,7 α -二醇 (3)、豆甾-5-烯-3 β ,7 α -二醇 (4)、豆甾-4,22-二烯-3 β ,6 α -二醇 (5)、豆甾-4-烯-3 β ,6 β -二醇 (6)、4',7-二羟基-5-甲氧基黄酮 (7)、5,4'-二羟基-3,7-二甲氧基黄酮 (8)、阿亚黄素 (9)、5-羟基-3,7,4'-三甲氧基黄酮 (10)、丁香醛 (11)、3,4-二羟基苯乙酸甲酯 (12)、3,4-二羟基苯甲酸甲酯 (13)、原儿茶醛 (14)、4-羟基苯甲 (15)、伞形酮 (16)、1,5-辛二烯-3-羟基-3-甲基-7-酮 (17)、十六烷酸 (18)。其中, 化合物 1、3、9、11、12 能显著提高皮质酮损伤的 PC12 细胞的存活率。结论 从广藿香中分离鉴定了 18 个化合物, 类型包括黄酮、甾体、芳香族类等, 其中化合物 1 为新的甾体化合物, 命名为 22-去氢波多甾醇, 化合物 2~7、11~13、16~17 为首次从广藿香中分离得到。且化合物 1、3、9、11、12 表现出一定的神经保护活性。

关键词: 广藿香; 22-去氢波多甾醇; 豆甾-5,22-二烯-3 β ,7 α -二醇; 丁香醛; 3,4-二羟基苯乙酸甲酯; 神经保护作用

中图分类号: R284.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2025)23-8473-09

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2025.23.001

Study on constituents of *Pogostemon cablin*LAN Tingting¹, ZHU Huan^{1,2}, ZHENG Qi^{1,2}, GUO Li¹, XIONG Liang^{1,2,3}, ZHOU Qinmei^{1,2,4}

1. College of Pharmacy, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611137, China

2. Institute of Innovative Medicine Ingredients of Southwest Specialty Medicinal Materials, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611137, China

3. College of Medical Technology, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611137, China

4. Innovation Institute of Chinese Medicine and Pharmacy, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611137, China

Abstract: Objective To investigate the chemical constituents of *Pogostemon cablin* and evaluate their potential neuroprotective effects. **Methods** The methanolic extract of *P. cablin* were isolated and purified by various chromatographic techniques, including silica gel column chromatography, C₁₈ column chromatography, Sephadex LH-20 gel column chromatography, and high-performance liquid chromatography (HPLC). The structures of the isolated compounds were elucidated based on comprehensive analysis of their physicochemical properties and modern spectroscopic data. Furthermore, a corticosterone-induced injured PC12 cell model was employed to evaluate the neuroprotective effect of the constituents. **Results** A total of 18 compounds were isolated from the 75% methanol extract of *P. cablin* and identified as (-)-3 β ,5 β -dihydroxyl-5(6 $\rightarrow$ 7)abeo-sitostan-22-ene-6 β -aldehyde (1), podosterol (2),

收稿日期: 2025-10-11

基金项目: 国家自然科学基金项目 (81903779); 四川省自然科学基金资助项目 (2022NSFC1577); 四川省中医药科技产业创新团队 (2022C001)

作者简介: 兰婷婷, 本科生, 制药工程专业。E-mail: 1937431306@qq.com

*通信作者: 周勤梅, 高级实验师, 研究方向为中药药效物质基础研究。E-mail: zhqmyx@sina.cn

熊 亮, 研究员, 研究方向为中药药效物质基础研究。E-mail: xiling@cdutcm.edu.cn

stigmas-5,22-diene-3 β ,7 α -diol (3), 7 α -hydroxysitosterol (4), stigmas-4,22-diene-3 β ,6 β -diol (5), stigmas-4-ene-3 β ,6 β -diol (6), 4',7-dihydroxy-5-methoxyflavone (7), 5,4'-dihydroxy-3,7-dimethoxyflavone (8), 5,4'-dihydroxy-3,7,3'-trimethoxyflavon (9), 5-hydroxy-7,3',4'-trimethoxyflavanone (10), syringaldehyde (11), 3,4-dihydroxyphenylacetic acid methyl ester (12), methyl 3,4-dihydroxybenzoate (13), protocatechuyl aldehyde (14), 4-hydroxybenzaldehyde (15), umbelliferone (16), 1,5-octadien-3-hydroxy-3-methyl-7-one (17), hexadecanoic acid (18). Among these, compounds 1, 3, 9, 11, and 12 significantly enhanced the survival rate of CORT-induced PC12 cells. **Conclusion** Eighteen compounds were obtained from patchouli, including flavonoids, steroids, aromatic compounds, and others. Notably, compound 1 was identified as a novel steroid, named 22-dehydropodosterol. Additionally, compounds 2—7, 11—13, and 16—17 were reported from *P. cablin* for the first time. Among all isolated compounds 1, 3, 9, 11, and 12 demonstrated notable neuroprotective activity.

Key words: *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.; 22-dehydropodosterol; stigmas-5,22-diene-3 β ,7 α -diol; syringaldehyde; 3,4-dihydroxyphenylacetic acid methyl ester; neuroprotective activity

广藿香为唇形科 (Labiatae) 刺蕊草属植物广藿香 *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth. 的干燥地上部分, 原产于现今越南、马来西亚等东南亚一带, 国内目前广东、海南大面积种植, 广西、云南、福建等地也有少量栽培^[1-2]。文献报道, 广藿香中化学成分包括萜类、黄酮、苯丙素、甾体、有机酸及糖苷类物质等^[3], 在抗菌、镇痛等方面显示出特殊疗效^[4]。目前, 从广藿香中分离得到的多为萜类和黄酮类化学成分^[5-6], 为了进一步揭示广藿香的药效物质基础, 本实验采用各种分离方法, 并且利用现代波谱技术和化合物的理化性质, 共分离得到 18 个化合物 (图 1), 分别鉴定为 (-)-3 β ,5 β -dihydroxyl-5(6 $\rightarrow$ 7)abeo-sitostan-22-ene-6 β -aldehyde (1)、podosterol (2)、豆甾-5,22-二烯-3 β ,7 α -二醇 (stigmas-5,22-

diene-3 β ,7 α -diol, 3)、豆甾-5-烯-3 β ,7 α -二醇 (7 α -hydroxysitosterol, 4)、豆甾-4,22-二烯-3 β ,6 α -二醇 (stigmas-4,22-diene-3 β ,6 β -diol, 5)、豆甾-4-烯-3 β ,6 β -二醇 (stigmas-4-ene-3 β ,6 β -diol, 6)、4',7-二羟基-5-甲氧基黄酮 (4',7-dihydroxy-5-methoxyflavone, 7)、5,4'-二羟基-3,7-二甲氧基黄酮 (5,4'-dihydroxy-3,7-dimethoxyflavone, 8)、阿亚黄素 (5,4'-dihydroxy-3,7,3'-trimethoxyflavon, 9)、5-羟基-3',4',7-三甲氧基黄酮 (5-hydroxy-7,3',4'-trimethoxyflavanone, 10)、丁香醛 (syringaldehyde, 11)、3,4-二羟基苯乙酸甲酯 (3,4-dihydroxyphenylacetic acid methyl ester, 12)、3,4-二羟基苯甲酸甲酯 (methyl 3,4-dihydroxybenzoate, 13)、原儿茶醛 (protocatechuyl aldehyde, 14)、4-羟基苯甲醛 (4-hydroxybenzaldehyde,

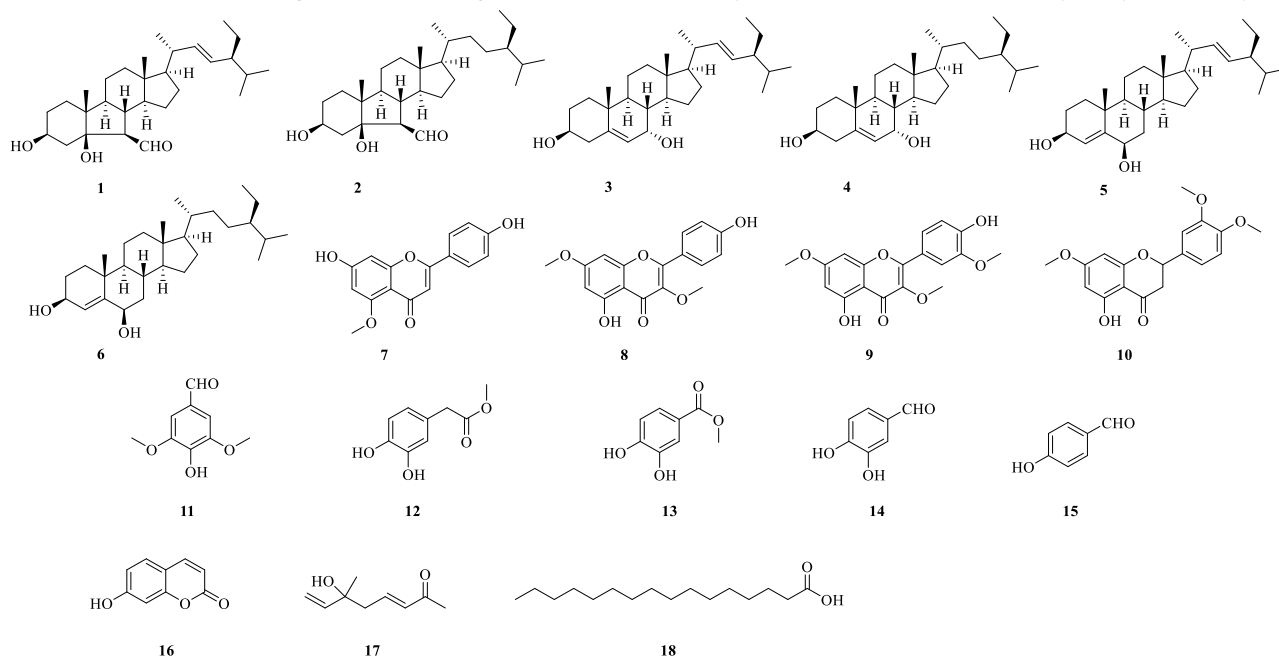


图 1 化合物 1~18 的化学结构

Fig. 1 Chemical structures of compounds 1—18

15)、伞形酮(umbelliferone, 16)、1,5-辛二烯-3-羟基-3-甲基-7-酮(1,5-octadien-3-hydroxy-3-methyl-7-one, 17)、十六烷酸(hexadecanoic acid, 18)。其中化合物 1 为新颖的甾体化合物, 化合物 2~7、11~13、16~17 为首次从广藿香中分离。此外, 神经细胞保护活性筛选结果表明, 通过神经细胞保护活性筛选发现, 化合物 1、3、9、11 和 12 均表现出潜在的神经保护作用。

1 材料与仪器

1.1 细胞株

大鼠肾上腺髓质嗜铬瘤 PC12 细胞源自中国科学院典型培养物保藏委员会细胞库。

1.2 药品与试剂

石油醚、醋酸乙酯、甲醇、二氯甲烷(分析级, 成都市科隆化学品有限公司); 柱色谱硅胶(200~300 目, 青岛海洋化工厂); Sephadex LH-20 凝胶(瑞典 Amershan Pharmacia 公司); Toyopearl HW-40F 凝胶(日本 Tosoh 公司); 反相 C₁₈ 填料(月旭科技(上海)股份有限公司); 色谱甲醇、色谱乙腈(美国 Sigma 公司); GF₂₅₄ 薄层色谱硅胶(安徽良臣硅源材料有限公司); CCK8 试剂盒(北京兰杰柯科技有限公司); 皮质酮(上海源叶生物有限公司); 氟西汀(上海吉至生化有限公司, 批号 54910-89-3); DMEM 培养基、胎牛血清、青霉素-链霉素双抗、磷酸盐缓冲液(Gibco 公司); 细胞培养板(Costar 公司)。

广藿香(原产地广东省, 批号 2105094)购买于四川新荷花中药有限公司, 经成都中医药大学高继海副教授鉴定为唇形科刺蕊草属植物广藿香 *P. cablin* (Blanco) Benth. 的干燥地上部分, 标本(GHX202307)现存于成都中医药大学。

1.3 仪器

RE-52A 旋转蒸发仪(亚荣生化仪器); CASCADA III.I-10 实验室水纯化系统[美谷富迪生物仪器(上海)有限公司]; Agilent 1220、Agilent 1100 高效液相色谱仪(美国 Agilent 公司); Bruker-AV III HD-600 核磁共振仪(德国 Bruker 公司); 半制备型 C₁₈ 色谱柱(Ultimate XB-C₁₈, 250 mm×9.4 mm, 5 μm, 月旭科技(上海)股份有限公司); MicroTOF-Q II 型质谱仪(美国 Agilent 公司); Agilent 6230 accurate-Mass tof LC/MS instrument 高分辨质谱仪(美国 Agilent 公司); Cary 600 series FTIR 红外光谱仪(美国 Agilent 公司); Autopol-I 旋光测定仪(美国鲁道夫公司); ZG-TP203 电子天平(上海然浩电

子有限公司); Series II Water Jacketed 型 CO₂ 孵箱(美国 Thermo Fisher Scientific 公司)。

2 方法

2.1 提取与分离

取广藿香干燥地上部分 100 kg, 用 75% 甲醇加热回流提取(料液比 1:4), 60 °C 浓缩得浸膏 13.08 kg。浸膏经硅胶柱色谱分离, 以石油醚-醋酸乙酯(20:1~3:1)、二氯甲烷-甲醇梯度(20:1~0:1)洗脱, 得 7 个部分 Fr. A~G。

Fr. B (399.15 g) 经硅胶柱色谱, 石油醚-醋酸乙酯(70:1~1:1)梯度洗脱得到 14 个组分 Fr. B1~B14。Fr. B6 经反复析晶得到化合物 10 (5.6 mg)。Fr. B9 经 Sephadex LH-20 凝胶柱色谱(石油醚-二氯甲烷-甲醇 5:5:1)、反相 C₁₈ 减压柱色谱(30%~100% 甲醇水溶液)和制备薄层色谱(石油醚-丙酮 3:1)得到化合物 15 (1.2 mg)。

Fr. D (271.57 g) 经硅胶柱色谱, 石油醚-醋酸乙酯(20:1~3:1)、二氯甲烷-甲醇(20:1~0:1)梯度洗脱, 洗脱液经薄层色谱检测, 合并组成相似的流分得 10 个洗脱部分 Fr. D1~D10。Fr. D6 经 Sephadex LH-20 凝胶柱(石油醚-二氯甲烷-甲醇 5:5:1), 分为 8 个部分 Fr. D6-1~D6-8。Fr. D6-3 经反复析晶得到化合物 18 (20.3 mg), Fr. D6-4 经硅胶柱色谱, 石油醚-二氯甲烷梯度洗脱, 再经反相半制备高效液相色谱, 100% 乙腈为流动相洗脱得化合物 1 (0.67 mg, t_R =25.5 min, 体积流量 4 mL/min)、2 (2.5 mg, t_R =29.1 min, 体积流量 4 mL/min), 以 100% 甲醇为洗脱剂洗脱得到化合物 3 (1.7 mg, t_R =21.5 min, 体积流量 2 mL/min)、4 (1.6 mg, t_R =23.7 min, 体积流量 2 mL/min)、5 (2.0 mg, t_R =31.1 min, 体积流量 2 mL/min)、6 (4.0 mg, t_R =34.3 min, 体积流量 2 mL/min)。Fr. D8 经反相 C₁₈ 减压色谱柱分离, 以 30%~100% 甲醇水溶液进行梯度洗脱得到 10 个洗脱部分 Fr. D8-1~D8-10。其中 Fr. D8-1 经 HW-40F 凝胶柱色谱(甲醇溶液)、制备薄层色谱(二氯甲烷-醋酸乙酯 3:1)和反相半制备高效液相色谱(40% 甲醇水溶液)得到化合物 14 (5.2 mg, t_R =22.2 min, 体积流量 1.5 mL/min)。Fr. D8-2 经硅胶柱色谱以石油醚-醋酸乙酯(20:1~1:1)梯度洗脱, 得到 4 个流分 Fr. D8-2-1~D8-2-4。Fr. D8-2-2 经薄层制备后, 各组分分别经反相半制备高效液相色谱, 以 40% 甲醇水溶液分别洗脱得到化合物 17 (2.1 mg, t_R =15.7 min, 体积流量 2 mL/min)、16 (3.2

mg, t_R = 26.5 min, 体积流量 2 mL/min)、**12** (3.0 mg, t_R = 19.3 min, 体积流量 2 mL/min)、**11** (1.4 mg, t_R = 21.1 min, 体积流量 2 mL/min) 和 **13** (2.9 mg, t_R = 25.3 min, 体积流量 2 mL/min)。将 FrD8-8 经 Sephadex LH-20 凝胶柱 (二氯甲烷-甲醇 1:1) 分离后, 得到 5 个流分 Fr. D8-8-1~D8-8-5。其中 Fr. D8-8-4 经制备薄层色谱, 二氯甲烷-醋酸乙酯 (10:1) 展开得到含化合物 **7** 的混合物和含化合物 **8**、**9** 的混合物。最后分别经反相半制备高效液相色谱, 以 75% 甲醇水溶液为流动相进行分离纯化得化合物 **7** (1.4 mg, t_R = 16.2 min, 体积流量 2 mL/min), 以 72% 甲醇水溶液为流动相进行分离纯化得化合物 **8** (2.3 mg, t_R = 20.5 min, 体积流量 2 mL/min) 和 **9** (3.0 mg, t_R = 22.0 min, 体积流量 2 mL/min)。

2.2 对皮质酮诱导 PC12 细胞损伤的保护作用

建立以皮质酮损伤的 PC12 细胞为神经细胞损伤模型^[7], 氟西汀为阳性药, 采用 CCK8 法检测细胞活力。PC12 细胞培养于含有 10% 胎牛血清、1% 双抗的 DMEM 完全培养基中, 置于 37 °C、5% CO₂ 的培养箱中培养 24 h。在 96 孔板中接种对数生长期 PC12 细胞, 每孔 2×10^5 个/mL, 每孔加入 100 μ L, 分别设置空白组、对照组、模型组以及给药组 (氟西汀或受试药物)。空白组为不加入细胞, 加入完全培养基后不作任何处理; 对照组中用完全培养基正常培养的 PC12 细胞; 模型组和给药组加入终浓度 500 μ mol/L 含皮质酮的完全培养基, 且给药组中分别加入 12.5 μ mol/L 的广藿香化合物 (含 0.1% DMSO) 或氟西汀。细胞经培养 24 h 后, 每孔加入 10 μ L CCK8 溶液, 置于培养箱中孵育 1 h, 将 96 孔板置于酶标仪 450 nm 波长处测定吸光度 (A), 并按公式计算细胞存活率, 实验每组设置 4 个复孔, 每组进行 3 次。

$$\text{细胞存活率} = (A_{\text{给药}} - A_{\text{空白}}) / (A_{\text{对照}} - A_{\text{空白}})$$

3 结果

3.1 结构鉴定

化合物 **1**: 无色油状物; $[\alpha]_D^{20}$ -5.88 (c 0.02, MeOH); HR-ESI-MS m/z : 467.349 8 $[M+Na]^+$ (计算值为 467.350 1, C₂₉H₄₈O₃Na), 表明分子式为 C₂₉H₄₈O₃, 不饱和度为 6。红外光谱显示 3 420、1 725、1 622 cm⁻¹ 信号, 表明化合物含有羟基、羰基以及双键等官能团。¹H-NMR (600 MHz, Acetone-*d*₆) 显示 1 个三重峰甲基质子信号 [δ_H 0.82 (3H, t, J = 9.0 Hz)]; 2 个单峰甲基质子信号 [δ_H 0.78 (3H, s), 0.90

(3H, s)], 3 个双峰甲基质子信号 [δ_H 0.81 (3H, d, J = 7.8 Hz), 0.86 (3H, d, J = 6.6 Hz), 1.05 (3H, d, J = 6.6 Hz)] 以及多个脂肪族亚甲基质子和次甲基质子信号。同时 ¹H-NMR 低场区显示 1 个醛基信号 [δ_H 9.67 (1H, brs)], 2 个反式双键烯氢质子信号 [δ_H 5.20 (dd, J = 15.6, 9.0 Hz), 5.08 (1H, dd, J = 15.6, 9.0 Hz)] 和 1 个连氧的次甲基信号 [δ_H 4.15 (1H, m)], 结合质谱数据, 推测该化合物为豆甾醇类衍生物。化合物的 ¹³C-NMR (150 MHz, Acetone-*d*₆) 显示 29 个碳信号, 包括 1 个醛基碳 (δ_C 203.8)、1 对双键碳 (δ_C 139.3 和 130.2) 和 2 个连氧碳 (δ_C 84.9, 67.5)。结合 DEPT 和 ¹H-NMR 谱解析表明该化合物为 1 个豆甾烷骨架的 B 环裂环甾醇, C-6 位因裂环而形成了醛基, 与化合物 **2** (podosterol)^[8] 的区别在于化合物 **1** 中 C₁₇ 侧链上形成了 $\Delta^{22(23)}$ 双键。

为了确证化合物 **1** 的结构, 进行了 2D NMR 实验。通过 HSQC 数据分析, 对 ¹H-NMR 以及相应的 ¹³C-NMR 信号进行了准确归属 (表 1), 结构见图 2。根据 ¹H-¹H COSY 谱确定了化合物 **1** 中存在的质子间相互耦合的结构片段 (图 3)。在 HMBC 谱中, 3-OH 与 C-2、C-3 和 C-4 相关, 5-OH 与 C-4、C-5 和 C-7 相关, 且 H-3 与 H₃-18 均与 C-5 相关, 表明羟基取代位于 C-3 和 C-5; H-6 与 C-5、C-7 相关, H-7 与 C-6 相关, 表明 C-7 位有醛基取代; H₃-26, H₃-27, H₃-29 与 C-25 相关, H₃-21 与 C-17, C-22 相关, 且 H-22 和 H-23 均与 C-24 相关, 证实了 C-17 连接的甾醇 β 侧链以及双键的位置。在 NOESY 谱中, H₃-18, H₃-19 与 H-8 相关, H-8 和 H-6 相关, OH-5 与 H-6 和 H₃-19 相关, 表明 H₃-18、H₃-19、H-6、H-8 和 OH-5 位于同侧 (β 位)。在 A/B 环为顺势耦合 (5 β -构型) 的甾体结构中, H-3 的化学位移出现在 δ_H 4.15 (1H, brs), 呈现宽单峰信号, 表明 3-H 处于平伏键 (*exo* 取向), 3-OH 处于直立键 (β 位)^[9]。此外, 在 NOESY 谱中未观察到 H-3 与 H₃-19 之间的相关信号, 进一步支持 3 位羟基为 β -构型 (3 β -OH)^[8]。同时, H-7 与 H-9 及 H-14 存在空间相关信号, 表明其位于 α 侧。基于高度保守的植物豆甾醇生物合成途径, 其 C-20 位构型均为 *R*, 且 C-24 位的乙基取代也以 24*R* 构型为主^[10-11]。结合详细的波谱数据解析, 特别是与已知绝对构型的甾体数据^[12] 进行系统性对比, 确定化合物 **1** 的相对构型与豆甾醇骨架一致。此外, 广藿香中已鉴定的多个甾体类成分均源自该途径, 进一步佐证了该构型确定。因

表 1 化合物 1 的 ^1H -和 ^{13}C -NMR 数据 (600/150 MHz, Acetone- d_6)
Table 1 ^1H - and ^{13}C -NMR data of compound 1 (600/150 MHz, Acetone- d_6)

碳位	δ_{H}	δ_{C}	碳位	δ_{H}	δ_{C}
1	1.39 (m)	27.6	17	1.23 (m)	56.4
2	1.71 (m), 1.59 (m)	28.5	18	0.78 (3H, s)	13.1
3	4.15 (m)	67.5	19	0.90 (3H, s)	19.4
4	2.09 (m), 1.86 (m)	45.2	20	2.10 (m)	41.2
5		84.9	21	1.05 (d, $J = 9.0$ Hz)	21.6
6	9.67 (brs)	203.8	22	5.20 (dd, $J = 15.0, 9.0$ Hz)	139.3
7	2.15 (m)	64.7	23	5.08 (dd, $J = 15.0, 9.0$ Hz)	130.2
8	2.24 (m)	39.1	24	1.56 (m)	52.2
9	1.41 (m)	50.8	25	1.55 (m)	32.7
10		46.4	26	0.82 (d, $J = 6.0$ Hz)	19.3
11	1.48 (m), 1.41 (m)	22.4	27	0.86 (d, $J = 6.0$ Hz)	21.4
12	2.05 (m), 1.19 (m)	40.5	28	1.44 (m), 1.19 (m)	26.1
13		45.4	29	0.82 (t, $J = 7.2$ Hz)	12.6
14	1.26 (m)	57.0	3-OH	4.34 (s)	
15	1.39 (m), 1.08 (m)	25.0	5-OH	4.00 (s)	
16	1.71 (m), 1.29 (m)	29.8			

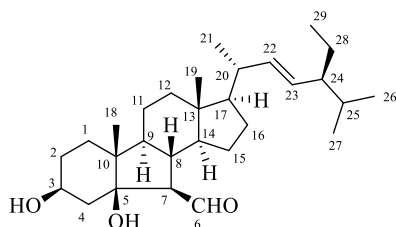


图 2 化合物 1 的化学结构

Fig. 2 Structure of compound 1

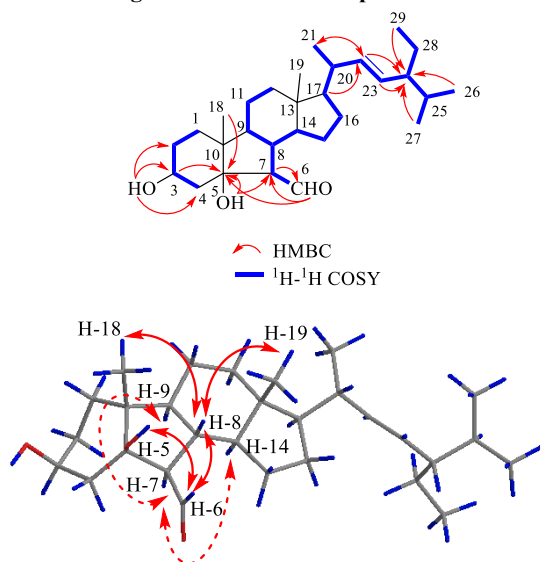


图 3 化合物 1 的主要 ^1H - ^1H COSY, HMBC 和 NOESY 相关信号

Fig. 3 Key COSY, HMBC and NOESY correlations of compound 1

此, 化合物 1 的结构鉴定为 (-)-3 β ,5 β -dihydroxyl-5(6 $\rightarrow$ 7)abeo-sitostan-22-ene-6 β -aldehyde。经 SciFinder 数据库检索, 确定该化合物为新化合物, 命名为 22-去氢波多甾醇 (22-dehydropodosterol)。

化合物 2: 无色油状物; 分子式为 $\text{C}_{29}\text{H}_{50}\text{O}_3$, ESI-MS m/z 447.4 $[\text{M} + \text{H}]^+$; ^1H -NMR (600 MHz, Acetone- d_6) δ : 9.66 (1H, brs, H-6), 4.15 (1H, m, H-3), 2.24 (1H, m, H-8), 2.15 (1H, m, H-7), 2.08 (1H, m, H-4a), 2.07 (1H, m, H-12a), 1.87 (1H, m, H-4b), 1.85 (1H, m, H-16a), 1.71 (1H, m, H-1), 1.70 (1H, m, H-25), 1.59 (2H, m, H-2), 1.47 (1H, m, H-11a), 1.42 (1H, m, H-11b), 1.42 (1H, m, H-20), 1.41 (1H, m, H-9), 1.40 (1H, m, H-15a), 1.38 (1H, m, H-1), 1.38 (1H, m, H-22a), 1.30 (2H, m, H-28), 1.29 (1H, m, H-16b), 1.24 (1H, m, H-14), 1.22 (2H, m, H-23), 1.18 (1H, m, H-12b), 1.17 (1H, m, H-17), 1.08 (1H, m, H-15b), 1.06 (1H, m, H-22b), 0.97 (1H, m, H-24), 0.96 (3H, d, $J = 6.6$ Hz, H₃-21), 0.90 (3H, s, H₃-19), 0.86 (3H, t, $J = 7.2$ Hz, H₃-29), 0.86 (3H, d, $J = 6.6$ Hz, H₃-27), 0.85 (3H, d, $J = 6.6$ Hz, H₃-26), 0.76 (3H, s, H₃-18); ^{13}C -NMR (150 MHz, Acetone- d_6) δ : 203.8 (C-6), 84.9 (C-5), 67.6 (C-3), 64.9 (C-7), 56.7 (C-14), 56.2 (C-17), 50.8 (C-9), 46.7 (C-24), 46.4 (C-10), 45.5 (C-13), 45.2 (C-4), 40.7 (C-12), 39.3 (C-8), 36.7 (C-20), 34.7 (C-22), 30.7 (C-25), 29.1 (C-16), 28.5 (C-2), 27.6 (C-1), 26.7 (C-23),

25.0 (C-15), 23.7 (C-28), 22.4 (C-11), 20.0 (C-26), 19.3 (C-27), 19.3 (C-21), 19.3 (C-19), 12.9 (C-18), 12.2 (C-29)。以上数据与文献报道一致^[8], 故鉴定化合物 **2** 为 podosterol。

化合物 **3**: 白色固体; 分子式为 $C_{29}H_{48}O_2$, ESI-MS m/z 429.4 $[M+H]^+$; 1H -NMR (600 MHz, $CDCl_3$) δ : 5.60 (1H, d, $J = 5.4$ Hz, H-6), 5.16 (1H, m, H-22), 5.01 (1H, m, H-23), 3.85 (1H, m, H-7), 3.58 (1H, m, H-3), 0.99 (3H, s, H₃-19), 0.92 (3H, d, $J = 6.6$ Hz, H₃-21), 0.87 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H₃-26), 0.84 (3H, m, H₃-29), 0.80 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H₃-27), 0.70 (3H, s, H₃-18); ^{13}C -NMR (150 MHz, $CDCl_3$) δ : 146.4 (C-5), 138.4 (C-22), 129.5 (C-23), 124.0 (C-6), 71.5 (C-3), 65.5 (C-7), 55.9 (C-17), 51.4 (C-24), 49.6 (C-14), 42.4 (C-9), 42.2 (C-13), 42.1 (C-4), 40.6 (C-20), 39.2 (C-12), 37.6 (C-8), 37.5 (C-10), 37.1 (C-1), 32.0 (C-25), 31.5 (C-2), 29.1 (C-16), 25.5 (C-28), 24.5 (C-15), 21.4 (C-21), 21.2 (C-27), 20.8 (C-11), 19.1 (C-26), 18.4 (C-19), 12.4 (C-18), 12.0 (C-29)。以上数据与文献报道一致^[12], 故鉴定化合物 **3** 为 stigmasta-5,22-diene-3 β ,7 α -diol。

化合物 **4**: 白色固体; 分子式为 $C_{29}H_{50}O_2$, ESI-MS m/z 431.4 $[M+H]^+$; 1H -NMR (600 MHz, Acetone- d_6) δ : 5.53 (1H, brs, H-6), 3.75 (1H, m, H-7), 3.43 (1H, m, H-3), 1.00 (3H, s, H₃-19), 0.99 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H₃-21), 0.87 (3H, t, $J = 7.2$ Hz, H₃-29), 0.87 (3H, d, $J = 6.6$ Hz, H₃-27), 0.85 (3H, d, $J = 6.6$ Hz, H₃-26), 0.73 (3H, s, H₃-18); ^{13}C -NMR (150 MHz, Acetone- d_6) δ : 145.6 (C-5), 125.4 (C-6), 71.5 (C-3), 65.1 (C-7), 56.9 (C-17), 50.4 (C-14), 46.7 (C-24), 43.2 (C-9), 43.0 (C-13), 42.8 (C-4), 40.3 (C-12), 38.7 (C-8), 38.1 (C-10), 37.9 (C-1), 37.0 (C-20), 34.7 (C-22), 32.4 (C-2), 29.9 (C-25), 29.1 (C-16), 26.7 (C-23), 24.8 (C-15), 23.8 (C-28), 21.5 (C-11), 20.1 (C-26), 19.3 (C-27), 19.3 (C-21), 18.6 (C-19), 12.3 (C-29), 12.1 (C-18)。以上数据与文献报道一致^[13], 故鉴定化合物 **4** 为 7 α -hydroxysitosterol。

化合物 **5**: 白色针晶 (甲醇); 分子式为 $C_{29}H_{48}O_2$, ESI-MS m/z 429.4 $[M+H]^+$; 1H -NMR (600 MHz, $CDCl_3$) δ : 5.54 (1H, brs, H-4), 5.14 (1H, dd, $J = 15.6, 9.0$ Hz, H-22), 5.02 (1H, m, H-23), 4.23 (1H, brs, H-3), 4.18 (1H, m, H-6), 1.26 (3H, s, H₃-19), 1.02 (3H, d, $J = 6.6$ Hz, H₃-21), 0.84 (3H, d, $J = 6.0$ Hz, H₃-27), 0.80 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H₃-26), 0.80 (3H, t, $J = 7.2$ Hz,

H₃-29), 0.73 (3H, s, H₃-18); ^{13}C -NMR (150 MHz, $CDCl_3$) δ : 147.8 (C-5), 138.4 (C-22), 129.5 (C-23), 128.8 (C-4), 74.4 (C-3), 68.2 (C-6), 56.4 (C-17), 56.1 (C-14), 54.4 (C-9), 51.4 (C-24), 42.6 (C-13), 40.7 (C-20), 39.9 (C-7), 39.3 (C-12), 37.0 (C-1), 36.9 (C-10), 32.0 (C-25), 30.4 (C-8), 29.4 (C-2), 29.0 (C-16), 25.6 (C-28), 24.4 (C-15), 21.7 (C-19), 21.3 (C-21), 21.2 (C-27), 21.1 (C-11), 19.1 (C-26), 12.4 (C-29), 12.4 (C-18)。以上数据与文献报道一致^[14], 故鉴定化合物 **5** 为 stigmasta-4,22-diene-3 β ,6 β -diol。

化合物 **6**: 白色固体; 分子式为 $C_{29}H_{50}O_2$, ESI-MS m/z 431.4 $[M+H]^+$; 1H -NMR (600 MHz, CD_3OD) δ : 5.49 (1H, s, H-3), 4.13 (1H, brs, H-6), 1.24 (3H, s, H₃-19), 0.95 (3H, d, $J = 6.6$ Hz, H₃-21), 0.87 (3H, t, $J = 7.2$ Hz, H₃-29), 0.86 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H₃-27), 0.84 (3H, d, $J = 6.0$ Hz, H₃-26), 0.75 (3H, s, H₃-18); ^{13}C -NMR (150 MHz, CD_3OD) δ : 147.8 (C-5), 129.7 (C-4), 74.9 (C-6), 68.6 (C-3), 57.5 (C-17), 56.0 (C-14), 54.8 (C-9), 47.3 (C-24), 43.7 (C-13), 41.2 (C-12), 40.6 (C-7), 38.3 (C-10), 37.9 (C-1), 37.4 (C-20), 35.1 (C-22), 31.6 (C-8), 30.4 (C-2), 29.7 (C-25), 29.3 (C-16), 27.1 (C-23), 25.2 (C-15), 24.1 (C-28), 22.0 (C-19), 21.9 (C-11), 20.2 (C-26), 19.4 (C-27), 19.3 (C-21), 12.5 (C-29), 12.3 (C-18)。以上数据与文献报道一致^[15], 故鉴定化合物 **6** 为 stigmast-4-ene-3 β ,6 β -diol。

化合物 **7**: 淡黄色粉末; 分子式为 $C_{16}H_{12}O_5$, ESI-MS m/z 285.1 $[M+H]^+$; 1H -NMR (600 MHz, Pyridine- d_5) δ : 13.69 (1H, s, 7-OH), 7.97 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, H-2', 6'), 7.29 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, H-3', 5'), 6.96 (1H, s, H-3), 6.73 (1H, d, $J = 1.8$ Hz, H-8), 6.64 (1H, d, $J = 1.8$ Hz, H-6), 3.79 (3H, s, 5-OCH₃); ^{13}C -NMR (150 MHz, Pyridine- d_5) δ : 183.3 (C-4), 166.3 (C-2), 165.3 (C-7), 163.4 (C-4'), 163.2 (C-9), 158.6 (C-5), 129.5 (C-2', 6'), 122.6 (C-1'), 117.3 (C-3', 5'), 106.4 (C-10), 104.5 (C-3), 99.1 (C-6), 93.4 (C-8), 56.4 (5-OCH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[16], 故鉴定化合物 **7** 为 4',7-dihydroxy-5-methoxyflavone。

化合物 **8**: 黄色粉末; 分子式为 $C_{17}H_{14}O_6$, ESI-MS m/z 315.1 $[M+H]^+$; 1H -NMR (600 MHz, Acetone- d_6) δ : 12.76 (1H, s, 5-OH), 9.17 (1H, s, 4'-OH), 8.06 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, H-2', 6'), 7.02 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, H-3', 5'), 6.66 (1H, d, $J = 2.4$ Hz, H-8), 6.32 (1H, d, $J = 2.4$ Hz, H-6), 3.92 (3H, s, 7-OCH₃), 3.88 (3H, s, 3-

OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, Acetone-*d*₆) δ: 179.6 (C-4), 166.6 (C-7), 162.9 (C-5), 161.0 (C-4'), 157.8 (C-2), 157.1 (C-9), 139.4 (C-3), 131.3 (C-2', 6'), 122.6 (C-1'), 116.4 (C-3', 5'), 106.6 (C-10), 98.5 (C-6), 92.8 (C-8), 60.2 (3-OCH₃), 56.4 (7-OCH₃)。以上数据与文献报道一致^[17], 故鉴定化合物 **8** 为 5,4'-dihydroxy-3,7-dimethoxyflavone。

化合物 **9**: 黄色粉末; 分子式为 C₁₈H₁₆O₇, ESI-MS *m/z*: 345.1 [M + H]⁺; ¹H-NMR (600 MHz, Acetone-*d*₆) δ: 12.76 (1H, s, 5-OH), 8.46 (1H, s, 4'-OH), 7.81 (1H, d, *J* = 2.4 Hz, H-2'), 7.72 (1H, dd, *J* = 8.4, 2.4 Hz, H-6'), 7.02 (1H, d, *J* = 8.4 Hz, H-5'), 6.68 (1H, d, *J* = 2.4 Hz, H-8), 6.33 (1H, d, *J* = 2.4 Hz, H-6), 3.96 (3H, s, 3'-OCH₃), 3.93 (3H, s, 7-OCH₃), 3.90 (3H, s, 3-OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, Acetone-*d*₆) δ: 179.7 (C-4), 166.7 (C-7), 162.9 (C-5), 157.8 (C-8a), 157.0 (C-2), 150.7 (C-4'), 148.4 (C-3'), 139.5 (C-3), 123.5 (C-6'), 122.8 (C-1'), 116.2 (C-5'), 112.8 (C-2'), 106.6 (C-4a), 98.6 (C-6), 93.0 (C-8), 60.3 (3'-OCH₃), 56.5 (7-OCH₃), 56.5 (3-OCH₃)。以上数据与文献报道一致^[18], 故鉴定化合物 **9** 为 5,4'-dihydroxy-3,7,3'-trimethoxyflavon。

化合物 **10**: 黄色粉末; 分子式为 C₁₈H₁₈O₆, ESI-MS *m/z*: 331.1 [M + H]⁺; ¹H-NMR (600 MHz, Acetone-*d*₆) δ: 12.14 (1H, brs, 5-OH), 7.20 (1H, d, *J* = 1.8 Hz, H-2'), 7.08 (1H, dd, *J* = 8.4, 1.8 Hz, H-6'), 7.00 (1H, d, *J* = 8.4 Hz, H-5'), 6.07 (1H, d, *J* = 2.4 Hz, H-6), 6.05 (1H, d, *J* = 2.4 Hz, H-8), 5.51 (1H, dd, *J* = 13.2, 3.0 Hz, H-2), 3.86 (3H, s, 7-OCH₃), 3.85 (3H, s, 3'-OCH₃), 3.84 (3H, s, 4'-OCH₃), 3.25 (1H, dd, *J* = 16.8, 13.2 Hz, H-3a), 2.79 (1H, dd, *J* = 16.8, 3.0 Hz, H-3b); ¹³C-NMR (150 MHz, Acetone-*d*₆) δ: 197.7 (C-4), 169.0 (C-7), 165.2 (C-5), 164.3 (C-9), 150.9 (C-3'), 150.6 (C-4'), 132.4 (C-1'), 120.1 (C-6'), 112.6 (C-5'), 111.5 (C-2'), 103.9 (C-10), 95.6 (C-6), 94.7 (C-8), 80.3 (C-2), 56.4 (7-OCH₃), 56.3 (3'-OCH₃), 56.3 (4'-OCH₃), 43.7 (C-3)。以上数据与文献报道一致^[19], 故鉴定化合物 **10** 为 5-hydroxy-7,3',4'-trimethoxyflavanone。

化合物 **11**: 淡黄色油状; 分子式为 C₉H₁₀O₄, ESI-MS *m/z*: 183.1 [M + H]⁺; ¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 9.75 (1H, s, -CHO), 7.24 (2H, s, H-2, 6), 3.92 (6H, s, 3, 5-OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 192.9 (-CHO), 149.7 (C-3, 5), 141.7 (C-4), 129.1 (C-1), 108.3 (C-2, 6), 56.8 (3, 5-OCH₃)。以上数

据与文献报道基本一致^[20], 故鉴定化合物 **11** 为 syringaldehyde。

化合物 **12**: 淡黄色油状物; 分子式为 C₉H₁₀O₄, ESI-MS *m/z*: 183.1 [M + H]⁺; ¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 6.71 (1H, d, *J* = 2.4 Hz, H-2), 6.70 (1H, d, *J* = 7.8 Hz, H-5), 6.57 (1H, dd, *J* = 7.8, 2.4 Hz, H-6), 3.67 (3H, s, -OCH₃), 3.47 (2H, s, H-7); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 174.6 (C-8), 146.3 (C-3), 145.5 (C-4), 126.9 (C-1), 121.6 (C-6), 117.3 (C-2), 116.3 (C-5), 52.4 (-OCH₃), 41.2 (C-7)。以上数据与文献报道基本一致^[21], 故鉴定化合物 **12** 为 3,4-dihydroxyphenyl-acetic acid methyl ester。

化合物 **13**: 淡黄色固体; 分子式为 C₈H₈O₄, ESI-MS *m/z*: 169.1 [M + H]⁺; ¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 7.42 (1H, d, *J* = 2.4 Hz, H-2), 7.40 (1H, dd, *J* = 8.4, 2.4 Hz, H-6), 6.80 (1H, d, *J* = 8.4 Hz, H-5), 4.88 (3H, s, -OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 168.8 (C=O), 151.7 (C-4), 146.2 (C-3), 123.6 (C-6), 122.6 (C-1), 117.4 (C-2), 115.8 (C-5), 52.2 (-OCH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[22], 故鉴定化合物 **13** 为 methyl 3,4-dihydroxybenzoate。

化合物 **14**: 黄色结晶(甲醇); 分子式为 C₇H₆O₃, ESI-MS *m/z*: 139.0 [M + H]⁺; ¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 9.69 (1H, s, H-7), 7.31 (1H, dd, *J* = 8.4, 2.4 Hz, H-6), 7.29 (1H, d, *J* = 2.4 Hz, H-2), 6.91 (1H, d, *J* = 8.4 Hz, H-5); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 193.1 (C-7), 153.7 (C-4), 147.2 (C-3), 130.9 (C-1), 126.4 (C-6), 116.2 (C-5), 115.3 (C-2)。以上数据与文献报道基本一致^[23], 故鉴定化合物 **14** 为 protocatechuyaldehyde。

化合物 **15**: 白色结晶(甲醇); 分子式为 C₇H₆O₂, ESI-MS *m/z*: 123.0 [M + H]⁺; ¹H-NMR (600 MHz, Acetone-*d*₆) δ: 9.85 (1H, s, -CHO), 7.80 (2H, m, H-2, 6), 7.00 (2H, m, H-3, 5); ¹³C-NMR (150 MHz, Acetone-*d*₆) δ: 190.9 (-CHO), 164.1 (C-4), 132.8 (C-2, 6), 130.3 (C-1), 116.7 (C-3, 5)。以上数据与文献报道基本一致^[24], 故鉴定化合物 **15** 为 4-hydroxybenzaldehyde。

化合物 **16**: 白色固体; 分子式为 C₉H₆O₃, ESI-MS *m/z*: 163.0 [M + H]⁺; ¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 7.85 (1H, d, *J* = 9.6 Hz, H-4), 7.46 (1H, d, *J* = 9.0 Hz, H-5), 6.79 (1H, dd, *J* = 9.0, 1.8 Hz, H-6), 6.71 (1H, d, *J* = 1.8 Hz, H-8), 6.18 (1H, d, *J* = 9.6 Hz, H-3); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 163.7 (C-2), 163.5 (C-7),

157.3 (C-8a), 146.1 (C-4), 130.7 (C-5), 114.6 (C-6), 113.1 (C-4a), 112.2 (C-3), 103.5 (C-8)。以上数据与文献报道基本一致^[25], 故鉴定化合物 **16** 为 umbelliferone。

化合物 **17**: 无色油状物; 分子式为 $C_9H_{14}O_2$, ESI-MS m/z 155.1 $[M+H]^+$; 1H -NMR (600 MHz, CD_3OD) δ : 6.92 (1H, dt, $J = 16.2, 7.2$ Hz, H-5), 6.09 (1H, dt, $J = 16.2, 1.2$ Hz, H-6), 5.94 (1H, dd, $J = 17.4, 1.2$ Hz, H-1a), 10.8 Hz, H-2), 5.24 (1H, dd, $J = 17.4, 1.2$ Hz, H-1a), 5.07 (1H, dd, $J = 10.8, 1.2$ Hz, H-1b), 2.45 (2H, dd, $J = 7.2, 1.2$ Hz, H-4), 2.25 (3H, s, H₃-8), 1.28 (3H, s, H₃-3); ^{13}C -NMR (150 MHz, CD_3OD) δ : 201.2 (C=O), 146.6 (C-2), 145.8 (C-5), 134.6 (C-6), 112.7 (C-1), 73.4 (C-3), 46.2 (C-4), 27.8 (C-8), 26.7 (3-CH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[26], 故鉴定化合物 **17** 为 1,5-octadien-3-hydroxy-3-methyl-7-one。

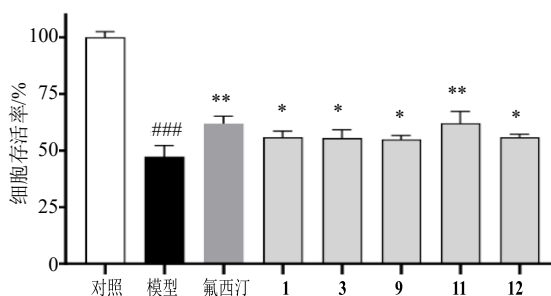
化合物 **18**: 白色结晶 (甲醇); 分子式为 $C_{16}H_{32}O_2$, ESI-MS m/z 257.2 $[M+H]^+$; 1H -NMR (600 MHz, Acetone- d_6) δ : 2.28 (2H, t, $J = 7.8$ Hz, α -CH₂), 1.59 (2H, m, β -CH₂), 0.88 (3H, t, $J = 7.2$ Hz, 16-CH₃); ^{13}C -NMR (150 MHz, Acetone- d_6) δ : 174.7 (C-1), 34.3 (C-2), 32.8 (C-14), 25.8 (C-3), 23.5 (C-15), 14.5 (C-16)。以上数据与文献报道基本一致^[27], 故鉴定化合物 **18** 为 hexadecanoic acid。

3.2 化合物对皮质酮损伤 PC12 细胞活力的影响

采用软件 Graphpad prism 8.0 进行统计学分析, 两组之间比较采用 t 检验。如图 4 所示, 经皮质酮处理 PC12 细胞 24 h 后, 与对照组比较, 模型组细胞活力显著下降 ($P < 0.001$)。与模型组比较, 阳性药氟西汀 (0.25 $\mu\text{mol/L}$) 能显著提高细胞活力, 广藿香单体成分在 12.5 $\mu\text{mol/L}$ 下, 化合物 **1**、**3**、**9**、**11**、**12** 与模型组比较能显著增强 PC12 细胞存活率, 具有潜在的神经保护活性, 其余化合物在该浓度条件下未显示出明显效果。

4 讨论

本研究对广藿香 *Pogostemon cablin* 进行了系统的化学成分研究, 共分离鉴定了 18 个化合物, 涵盖甾体、黄酮及芳香族等多种类型。其中, 化合物 **2**~**7**、**11**~**13**、**16**~**17** 为首次从该植物中报道, 拓展了广藿香的化学成分组成。特别值得关注的是, 化合物 **1** 作为 1 个结构新颖的 5(6 $\rightarrow$ 7)abeo-sitostane 型甾体, 其结构与化合物 **2** 属同一类型。由于该类型化合物被报道具有显著的生物活性^[28], 本发现不



与对照组比较: ### $P < 0.001$; 与模型组比较: * $P < 0.05$ ** $P < 0.01$ 。

$P < 0.001$ vs control group; * $P < 0.05$ ** $P < 0.01$ vs model group.

图 4 化合物对皮质酮损伤的 PC12 细胞活力的影响

($\bar{x} \pm s, n = 3$)

Fig. 4 Effect of compounds on viability of CORT-induced PC12 cells ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

仅丰富了该类甾体的化学多样性, 也为其后续生物活性提供了物质基础。在活性研究方面, 本研究发现化合物 **1**、**3**、**9**、**11**、**12** 均能够显著提升皮质酮损伤的 PC12 细胞活力, 提示其可能是广藿香中发挥神经保护作用的重要物质基础。此外, 研究还分离得到多个黄酮类化合物 (**7**~**10**), 该类成分作为广藿香中除倍半萜外的主要组成成分, 已被多项研究证实具有抗菌、抗炎、抗癌等多种药理活性^[18,29-30]。因此, 本研究进一步印证了广藿香中黄酮类成分的多样性和潜在药用价值, 为其传统应用提供了科学依据。尽管本研究初步揭示了广藿香中部分成分的神经保护潜力, 但仍存在一定局限。活性评价目前仅限于细胞水平, 尚未在斑马鱼或哺乳动物等更复杂的体内模型中验证其在神经系统疾病方面的应用潜力, 因而难以全面评估其实际药用价值。后续研究可结合斑马鱼等体内模型进一步筛选和验证广藿香中的神经保护活性成分, 将有助于全面揭示广藿香的药效物质基础, 为其在神经保护领域的深入开发与应用提供理论支撑。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 吴友根, 郭巧生, 郑焕强. 广藿香本草及引种历史考证的研究 [J]. 中国中药杂志, 2007, 32(20): 2114-2117.
- [2] 顾艳, 梅瑜, 徐世强, 等. 广藿香种质资源及栽培技术研究进展 [J]. 热带作物学报, 2022, 43(8): 1595-1603.
- [3] 李楚, 荆文光, 莫小路, 等. 广藿香化学成分和药理作用研究进展及潜在质量标志物预测分析 [J]. 中国药理学杂志, 2023, 58(11): 954-965.
- [4] Fatima S, Farzeen I, Ashraf A, et al. A comprehensive review on pharmacological activities of pachypodol: A

- bioactive compound of an aromatic medicinal plant *Pogostemon cablin* Benth. [J]. *Molecules*, 2023, 28(8): 3469.
- [5] Zhu H, Zhou Q M, Peng C, *et al.* Pocahemiketals A and B, two new hemiketals with unprecedented sesquiterpenoid skeletons from *Pogostemon cablin* [J]. *Fitoterapia*, 2017, 120: 67-71.
- [6] Zheng Q, Ma C, Xiong L, *et al.* Two new eudesmane sesquiterpenoids with neuroprotective activity from *Pogostemon cablin* [J]. *Phytochem Lett*, 2023, 58: 19-23.
- [7] 郑琪, 孟金妮, 朱欢, 等. 基于网络药理学研究广藿香油抗抑郁的效应物质及作用机制 [J]. 成都中医药大学学报, 2024, 47(6): 57-64.
- [8] Liu J, Gao Z H, Wu J C, *et al.* A new 5(6→7)abeo-sterol from *Podocarpus fleuryi* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2017, 19(10): 1022-1027.
- [9] Miyamoto T, Kodama K, Aramaki Y, *et al.* Orostanal, a novel abeo-sterol inducing apoptosis in leukemia cell from a marine sponge, *Stelletta hiwasaensis* [J]. *Tetrahedron Lett*, 2001, 42(36): 6349-6351.
- [10] Valitova J N, Sulkarnayeva A G, Minibayeva F V. Plant sterols: Diversity, biosynthesis, and physiological functions [J]. *Biochemistry*, 2016, 81(8): 819-834.
- [11] 黄维垣, 徐锦文. 植物甾醇 C₂₄ 的绝对构型 [J]. 化学学报, 1962, 20(4): 204-211.
- [12] 贾陆, 李东, 敬林林, 等. 黄秋葵石油醚部位化学成分研究 [J]. 中药材, 2010, 33(8): 1262-1265.
- [13] 邹娟, 董明洪, 周浪, 等. 荔波产香茶菜化学成分研究 [J]. 中草药, 2020, 51(17): 4405-4410.
- [14] 徐燕, 梁敬钰. 玉米须的化学成分研究 [J]. 中草药, 2006, 37(6): 831-833.
- [15] 罗晶, 伍振峰, 万娜, 等. 香椿树皮的亲脂性成分研究 [J]. 中国药科大学学报, 2016, 47(6): 683-687.
- [16] 朱鸿, 张再, 黄文忠, 等. 光叶决明中 1 个新的二聚苯丙素类化合物 [J]. 中草药, 2020, 51(11): 2871-2877.
- [17] Simpson B S, Claudie D J, Smith N M, *et al.* Flavonoids from the leaves and stems of *Dodonaea polyandra*: A northern kaanju medicinal plant [J]. *Phytochemistry*, 2011, 72(14/15): 1883-1888.
- [18] Saputri R D, Srie T T, Tanjung M. Meliglabrin, A new flavonol derivative from the leaves of *Melicope glabra* (Blume) T.G. hartley [J]. *Nat Prod Sci*, 2018, 24(3): 155.
- [19] 张广文, 马祥全, 苏镜娱, 等. 广藿香中的黄酮类化合物 [J]. 中草药, 2001, 32(10): 2880-2883.
- [20] 罗旭静, 曹鹏坤, 范志宇, 等. 岭南杜鹃的化学成分研究 [J]. 中药材, 2022, 45(12): 2880-2883.
- [21] Zhang Z Z, Xiao B H, Chen Q, *et al.* Synthesis and biological evaluation of caffeic acid 3,4-dihydroxyphenethyl ester [J]. *J Nat Prod*, 2010, 73(2): 252-254.
- [22] Tsuda T, Watanabe M, Ohshima K, *et al.* Antioxidative components isolated from the seed of tamarind (*Tamarindus indica* L.) [J]. *J Agric Food Chem*, 1994, 42(12): 2671-2674.
- [23] 冀紫阳, 杨彦霞, 庄方方, 等. 香蜂花叶化学成分研究 [J]. 中药材, 2015, 38(3): 510-513.
- [24] 尚莹, 朱一栋, 张慧, 等. 枸杞子乙酸乙酯提取部位化学成分及生物活性研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2025, 37(1): 57-64.
- [25] Singh R, Singh B, Singh S, *et al.* Umbelliferone-An antioxidant isolated from *Acacia nilotica* (L.) Willd. ex. Del [J]. *Food Chem*, 2010, 120(3): 825-830.
- [26] Abegaz B M, Herz W. A nor-monoterpene from *Artemisia schimperi* [J]. *Phytochemistry*, 1991, 30(3): 1011-1012.
- [27] 黄建设, 李庆欣, 吴军, 等. 粗吻海龙化学成分的研究 [J]. 中草药, 2004, 35(5): 9-11.
- [28] Wei X M, Rodriguez A D, Wang Y H, *et al.* Synthesis and *in vitro* biological evaluation of ring B abeo-sterols as novel inhibitors of *Mycobacterium tuberculosis* [J]. *Bioorg Med Chem Lett*, 2008, 18(20): 5448-5450.
- [29] Woo J H, Ahn J H, Jang D S, *et al.* Effect of kumatakenin isolated from cloves on the apoptosis of cancer cells and the alternative activation of tumor-associated macrophages [J]. *J Agric Food Chem*, 2017, 65(36): 7893-7899.
- [30] Li R, Cai L, Xie X F, *et al.* 7,3'-dimethoxy hesperetin inhibits inflammation by inducing synovial apoptosis in rats with adjuvant-induced arthritis [J]. *Immunopharmacol Immunotoxicol*, 2013, 35(1): 139-146.

[责任编辑 王文倩]