三七花化学成分研究

王金哥[1]，王　涵[2#]，陶　泉[2]，张刘强[1]，欧阳丽敏[3*]，李医明[1*]

1. 上海中医药大学中药学院，上海　201203
2. 海南医科大学附属第二医院 医学检验科，海南 海口　570311
3. 安利抗衰老研究中心，上海　201203

摘　要：目的　探究三七 *Panax notoginseng* 花的化学成分及其减轻棕榈酸诱导心肌细胞损伤的作用。**方法**　运用硅胶柱色谱、MCI 柱色谱、ODS 等多种分离技术进行分离纯化，通过核磁共振以及文献数据比对等多种方法，对所获得的化合物进行结构鉴定。采用 CCK-8 法评估化合物对心肌细胞的损伤作用。**结果**　从三七花 95%乙醇提取物中分离得到 15 个化合物，包括 6 个倍半萜类、3 个黄酮类、3 个炔醇类、2 个脂肪酸类及 1 个腺苷类成分，分别鉴定为 (1*R*,4*S*,5*S*,10*R*)-10-甲氧基-10-(羟甲基)香木兰烷-4-醇（**1**）、山柰酚 3-(2,4-di-*E*-*p*-香豆酰鼠李糖苷)（**2**）、槲皮素（**3**）、香木兰烷-4α,10β,14-三醇（**4**）、山柰酚-3-*O*-鼠李糖苷（**5**）、腺苷（**6**）、1β,4β,7α-三羟基桉叶烷（**7**）、4β,10α-香木兰烷二醇（**8**）、4β,10β-香木兰烷二醇（**9**）、匙叶桉油烯醇（**10**）、人参炔醇（**11**）、十七碳-1,8-二烯-4,6-二炔-3,10-二醇（**12**）、(*Z*)-1-甲氧基十七碳-9-烯-4,6-二炔-3-酮（**13**）、γ-亚麻酸甲酯（**14**）、亚油酸甲酯（**15**）。生物活性评价结果表明，部分三七花脂溶性化合物（如倍半萜类、人参炔醇类）在 50 μmol/L 浓度下能显著减轻 0.2 mmol/L 棕榈酸诱导的心肌细胞损伤。**结论**　化合物 **1** 为 1 个新的香木兰烷型倍半萜类化合物；化合物 **2**、**4**、**7**～**9** 及 **13** 均为首次从三七花中分离得到。化合物 **1**、**6**、**12** 和 **13** 能够减轻棕榈酸诱导的心肌细胞损伤，展现出潜在的心肌损伤保护活性。

关键词：三七；心肌细胞损伤；(1*R*,4*S*,5*S*,10*R*)-10-甲氧基-10-(羟甲基)香木兰烷-4-醇；山柰酚 3-(2,4-di-*E*-*p*-香豆酰鼠李糖苷)；香木兰烷-4α,10β,14-三醇；(*Z*)-1-甲氧基十七碳-9-烯-4,6-二炔-3-酮

中图分类号：R284.1　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**0253 - 2670(2026)21 - 8400 - 09

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.21.002

Chemical constituents of *Panax notoginseng* flowers

WANG Jinge[1], WANG Han[2], TAO Quan[2], ZHANG Liuqiang[1], OUYANG Limin[3], LI Yiming[1]

1. School of Pharmacy, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China
2. Department of Clinical Laboratory, Second Affiliated Hospital of Hainan Medical University, Haikou 570311, China
3. Amway Healthy Aging Research Center, Shanghai 201203, China

Abstract: Objective　To explore the chemical constituents investigation of *Panax notoginseng* flowers and their protective effects against palmitic acid-induced cardiomyocyte injury. **Methods**　Various separation techniques, including silica gel, MCI, and ODS column chromatography, were employed to isolate and purify the constituents of *P. notoginseng* flowers. The structures of the isolated compounds were elucidated through nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy and comparison with reported literature data. Additionally, the CCK-8 assay was used to evaluate the effects of these compounds on cardiomyocyte injury. **Results**　Fifteen compounds, including six sesquiterpenoids, three flavonoids, three polyacetylenes, two fatty acid derivatives, and one adenosine derivative, were isolated from the 95% ethanol extract of *P. notoginseng* flowers and identified as (1*R*,4*S*,5*S*,10*R*)-10-methoxy-10-(hydroxymethyl)aromadendran-4-ol (**1**), kaempferol 3-*O*-(2,4-di-*E*-*p*-coumaroyl)-α-*L*-rhamnopyranoside (**2**), quercetin (**3**), pipelol A (**4**), kaempferol-3-*O*-rhamnoside (**5**), adenosine (**6**), bullatantriol (**7**), 4β,10α-aromadendranediol (**8**), 4β,10β-aromadendranediol (**9**), spathulenol (**10**), panaxynol (**11**), heptadeca-1,8-dien-4,6-diyn-3,10-diol (**12**), (*Z*)-1-methoxyheptadeca-9-en-4,6-diyne-3-one (**13**),

收稿日期：2026-07-14

基金项目：国家自然科学基金资助项目（81973458）

作者简介：王金哥（2002—），男，硕士研究生，研究方向为中药药效物质基础。E-mail: 2291376098@qq.com

#共同第一作者：王　涵（2001—），女，硕士研究生，研究方向为临床医学检验。E-mail: hwang712001@163.com

***通信作者：**李医明，男，教授。E-mail: ymlius@163.com

欧阳丽敏，女，高级研究员。E-mail: Limin.OuYang@amway.com

methyl *γ*-linolenate (**14**), methyl linoleate (**15**). **Conclusion** Compound **1** is a new sesquiterpenoid. Compounds **2**, **4**, **7**, **8**, **9**, and **13** were isolated from *P. notoginseng* for the first time. Compounds **1**, **6**, **12**, and **13** could significantly alleviate palmitic acid (PA)-induced cardiomyocyte injury, demonstrating promising cardioprotective activities.

Key words: *Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen; cardiomyocyte injury; (1*R*,4*S*,5*S*,10*R*)-10-methoxy-10-(hydroxymethyl) aromadendran-4-ol; kaempferol 3-*O*-(2,4-di-*E*-*p*-coumaroyl)-α-*L*-rhamnopyranoside; pipelol A; (*Z*)-1-methoxyheptadeca-9-en-4,6-diyne-3-one

五加科人参属植物三七 *Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen 的花蕾在民间常被称为田七花或金不换花[1]。传统中医药理论认为其性凉、味甘，归肝、肾经[2]，展现出优良的清热生津与活血化瘀的功效。相较于应用历史逾 400 年的主根及根茎，三七花的药用记载虽起步较晚（自 20 世纪 70 年代首次被收录于《云南中草药选》），但其药用价值已得到初步确证[3-5]。鉴于目前针对三七花功效物质基础的研究仍不够系统，本课题对三七花开展分离纯化工作，共鉴定出 15 个化合物（图 1），包括 6 个倍半萜类：(1*R*,4*S*,5*S*,10*R*)-10-甲氧基-10-(羟甲基)香木兰烷-4-醇 [(1*R*,4*S*,5*S*,10*R*)-10-methoxy-10-(hydroxymethyl) aromadendran-4-ol，**1**]、香木兰烷-4α,10β,14-三醇（pipelol A，**4**）、1β,4β,7α-三羟基桉叶烷（bullatantriol，**7**）、4β,10α-香木兰烷二醇（4β,10α-aromadendranediol，**8**）、4β,10β-香木兰烷二醇（4β,10β-aromadendranediol，**9**）、匙叶桉油烯醇（spathulenol，**10**）、3 个黄酮类：山柰酚 3-*O*-(2,4-二反式-对香豆酰）吡喃鼠李糖苷 [kaempferol 3-*O*-(2,4-di-*E*-*p*-coumaroyl)-α-*L*-rhamnopyranoside，**2**]、槲皮素（quercetin，**3**）、山柰酚-3-*O*-鼠李糖苷（kaempferol-3-*O*-rhamnoside，**5**）、3 个炔醇类：人参炔醇（panaxynol，**11**）、十七碳-1,8-二烯-4,6-二炔-3,10-二醇（heptadeca-1,8-dien-4,6-diyn-3,10-diol，**12**）、(*Z*)-1-甲氧基十七碳-9-烯-4,6-二炔-3-酮 [(Z)-1-methoxyheptadeca-9-en-4,6-diyne-3-one，**13**]、2 个脂肪酸类：γ-亚麻酸甲酯（methyl γ-linolenate，**14**）、亚油酸甲酯（methyl linoleate，**15**）及 1 个腺苷类：腺苷（adenosine，**6**）。化合物 **1** 为 1 个新的香木兰烷型倍半萜类化合物，化合物 **2**、**4**、**7**～**9** 及 **13** 均为首次从三七花中分离得到。在此基础上，结合三七花已知的心脏保护效益[6]，本研究进一步采用细胞活力评价体系，对获得的化合物 **1** 和 **3**～**13** 进行了心肌细胞保护活性筛选，结果显示化合物 **1**、**6**、**12** 及 **13** 具有潜在的心肌细胞保护活性。

1 仪器与材料

Bruker AVANCE 400 和 Bruker AVANCE-600 核磁共振仪；Finnigan LCQ Fleet 离子阱型电喷雾质谱

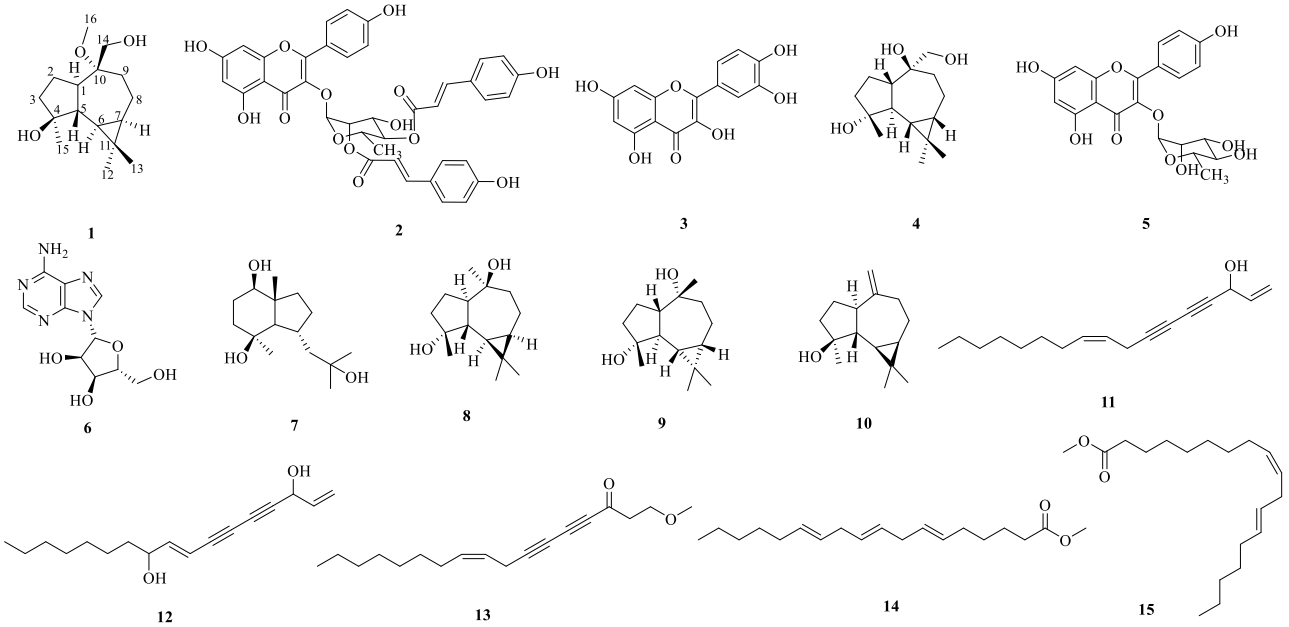


图 1 化合物 1～15 的结构

Fig. 1 Chemical structures of compounds 1—15

仪；Agilent 1260 分析型 HPLC；Agilent 1260 infinity II 半制备 HPLC；Rudolph Autopol VI 旋光测定仪；Bruker Apex II CCD 晶体分析仪；日本 FuJi ODS C_{18} 反相填料（5 μm，YMC 株式会社）；Pharmacia Sephadex LH-20 葡聚糖凝胶（25～100 μm）；TLC 板（HF_{254}，烟台汇友硅胶有限公司）；柱色谱用硅胶（100～200、200～300、300～400 目，青岛海洋化工有限公司）；日本三菱化学 HP-20P MCI 填料（75～150 μm）；柱色谱所用试剂均为分析纯 Synergy HT 多功能酶标仪（美国 BioTek 公司）；$HSGF_{254}$ 薄层色谱硅胶板、厚制备板（烟台汇友硅胶有限公司）；SBS-100 数控计滴自动收集器（上海沪西分析仪器厂有限公司）；HWS-24 型电热恒温水浴锅（上海一恒科学仪器有限公司）；CO_2 恒温培养（新加坡 ESCO 公司）；超净工作台（美国 Thermo Fisher Scientific 公司），离心机（德国 Eppendorf 公司）；DMi1 倒置显微镜（德国 Leica 公司）；Synergy HT 多功能酶标仪（美国 BioTek 公司）；DMEM 培养基、胎牛血清、抗生素（美国 Gibco 公司）；DMSO（美国 Sigma-Aldrich 公司）；棕榈酸（货号 P9767，美国 Sigma 公司）；细胞培养皿、96 孔板等常规试验材料购自上海泰坦科技公司。

本实验所用三七花购自广东一方制药有限公司，批号 SY23080401。经上海中医药大学中药学院黄豆豆副教授鉴定为五加科人参属植物三七 *P. notoginseng* (Burk.) F. H. Chen 的干燥花蕾。已留样于上海中医药大学创新楼 A204 室（SQH23080401）。H9c2 大鼠心肌细胞来源于大连美仑生物技术有限公司。细胞培养于含 10%血清和 1%双抗的 DMEM 高糖培养基中。

2 方法

2.1 提取与分离

干燥的三七花蕾（15.0 kg）经剪碎后，用 10 倍量的 95%乙醇水溶液回流提取 3 次。提取液合并后减压浓缩至无醇味，获得三七花总浸膏 4.34 kg。将该浸膏悬浮于适量水中，依次用二氯甲烷和醋酸乙酯各萃取 5 次。萃取液经减压回收溶剂后，分别得到醋酸乙酯部位（76.3 g）、二氯甲烷部位（526.7 g）和水部位（3 737.0 g）。

醋酸乙酯部位（76.3 g）经 100～200 目硅胶柱色谱，以二氯甲烷-甲醇（二氯甲烷-甲醇 100∶1→1∶1）进行梯度洗脱，通过薄层色谱（TLC）检测合并相似组分，得到 12 个流分（Fr. 1～12）。Fr. 8 经 MCI 柱色谱，以乙醇-水（20%→80%乙醇）系统梯度洗脱，得到 12 个流分（Fr. 8-1～8-12）。Fr. 8-6 经 ODS 柱色谱梯度洗脱（10%→60%甲醇）得到 5 个流分（Fr. 8-6-1～8-6-5），其中 Fr. 8-6-3 再经 MCI 柱色谱（30%→40% 甲醇）反复洗脱纯化，得到化合物 **4**（9 mg）。Fr. 8-7 经 Sephadex LH-20 葡聚糖凝胶柱色谱（70%甲醇）洗脱，得到化合物 **3**（53 mg）。Fr. 8-10 经 Sephadex LH-20 葡聚糖凝胶柱色谱（70%甲醇）洗脱，得到化合物 **2**（86 mg）。Fr.9 补加适量甲醇并于室温下静置过夜，沉淀析出；滤液（标记为 Fr. 9L）经 200～300 目硅胶柱色谱，以醋酸乙酯-甲醇（100∶1→10∶1）梯度洗脱得到 4 个流分（Fr. 9L-1～9L-4）。其中 Fr. 9L-3 经 ODS 柱色谱（30%→40%甲醇）分离得到 3 个流分（Fr. 9L-3-1～9L-3-3），Fr. 9L-3-1 进一步经 MCI 柱色谱（20%→32%甲醇）纯化得到化合物 **7**（7.4 mg）。Fr. 11 经 200～300 目硅胶柱色谱，以醋酸乙酯-甲醇（30∶1→1∶1）梯度洗脱，得到 8 个流分（Fr. 11-1～11-8）。Fr. 11-3 经 Sephadex LH-20 葡聚糖凝胶柱色谱（70%甲醇）纯化得到化合物 **5**（33 mg）。Fr. 11-7 经 Sephadex LH-20 葡聚糖凝胶柱色谱（70% MeOH）分离得到 6 个流分（Fr. 11-7-1～11-7-6），其中 Fr. 11-7-3 依次经 ODS 梯度洗脱（10%→40%甲醇）与 Sephadex LH-20 柱色谱（70%甲醇）纯化，得到化合物 **6**（3 mg）。

二氯甲烷部位（526.7 g）经 100～200 目硅胶柱色谱，以石油醚-醋酸乙酯（100∶1→1∶1）系统进行梯度洗脱，合并得到 8 个流分（Fr. a1～a8）。Fr. a3 经 100～200 目硅胶柱色谱，以二氯甲烷-甲醇（100∶1→10∶1）系统洗脱得到流分 Fr. a3-1，Fr. a3-1 再经 MCI 柱色谱（60%→100%甲醇）分离得到 5 个流分（Fr. a3-1-1～a3-1-5）。Fr. a3-1-1 经 ODS 柱色谱反复洗脱（20%→40%甲醇）得到化合物 **1**（3 mg）。Fr. a3-1-4 经 100～200 目硅胶柱色谱，以石油醚-醋酸乙酯（100∶1→100∶10）系统梯度洗脱得到 9 个流分（Fr. a3-1-4-1～a3-1-4-9）。其中，Fr. a3-1-4-3 经 MCI 柱色谱（60%→80% MeOH）洗脱得到 2 个组分 Fr. a3-1-4-3-1 和 Fr. a3-1-4-3-2，前者经 MCI（60%→80%甲醇）反复纯化得到化合物 **10**（30 mg），后者经 ODS（70%→80%甲醇）反复洗脱纯化得到化合物 **11**（53 mg）；Fr. a3-1-4-8 依次经 ODS（30%→70%甲醇）与 MCI（50%→72%甲醇）色谱纯化，得到化合物 **12**（7 mg）。Fr. a3-1-5 经 200～

300 目硅胶柱色谱，以石油醚-醋酸乙酯（100∶1→1∶1）梯度洗脱得到 7 个流分（Fr. a3-1-5-1～a3-1-5-7）。Fr. a3-1-5-1 经 ODS 柱色谱（70%→100%甲醇）洗脱得到化合物 **14**（20 mg）与化合物 **15**（502 mg）；Fr. a3-1-5-2 经 ODS 柱色谱（70%→95%甲醇）洗脱得到化合物 **13**（18 mg）。Fr. a7 经 Sephadex LH-20 葡聚糖凝胶柱色谱（70%甲醇）分离得到 4 个主要流分。Fr. a7-1 进一步经 MCI 柱色谱（30%→85%甲醇）梯度洗脱得到 6 个流分（Fr. a7-1-1～a7-1-6）。Fr. a7-1-2 经 ODS 反复洗脱（30%→40%甲醇）得到化合物 **8**（34 mg）。Fr. a7-1-3 经 300～400 目硅胶柱色谱，以二氯甲烷-甲醇（100∶1→100∶6）梯度洗脱，再经 ODS 反复洗脱（40%→60%甲醇）纯化，得到化合物 **9**（4 mg）。

2.2 减轻棕榈酸诱导 H9c2 心肌细胞损伤的分组及处理

将处于对数生长期的 H9c2 细胞，调整其数量以 1.2×10^4 个每孔的密度接种于 96 孔板中，待 24 h 细胞贴壁后进行药物干预。实验开始前用 DMEM 培养基将各化合物储备液（浓度 100 mmol/L）稀释为 50 μmol/L 浓度的化合物工作液，弃去细胞上清后每孔按分组加入 100 μL 不同化合物工作液，每组设置 6 个复孔，放入二氧化碳培养箱中 2 h。待药物孵育结束弃去 96 孔板中的 DMEM 培养基，空白组加入稀释后的 1% BSA 工作液，模型组及给药组加入 0.2 mmol/L 棕榈酸工作液各 100 μL，24 h 后弃去上清并用预热的 PBS 清洗 1 次，随后每孔加入 10% CCK-8 工作液 100 μL，全程避光。将细胞培养板置于二氧化碳培养箱继续孵育 2 h。使用多功能酶标仪测定波长 450 nm 处的吸光度（A）值。使用 GraphPad Prism 8.0 软件进行统计学分析，使用单因素方差分析进行比较，两两比较采用 Dunnett-t 检验，数据以 $\bar{x}\pm s$ 表示，所有实验均进行 3 次及 3 次以上独立实验。

3 结果

3.1 结构鉴定

化合物 **1**：无色油状物，易溶于甲醇。$[\alpha]_D^{25}$ −44（*c* 0.05，MeOH），高分辨质谱显示准分子离子峰 *m*/*z*: 291.196 3 $[M+Na]^+$，结合 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据（表 1）确定化合物分子式为 $C_{16}H_{28}O_3$，不饱和度为 3。^{1}H-NMR 谱中显示有 2 个相互偶合的亚甲基氢信号 [δ_H 3.64 (d, J = 11.9 Hz, H-14), 3.76 (d, J = 11.9 Hz, H-14)]，3 个甲基氢信号 [δ_H 1.05 (s, H-12), 1.04 (s, H-13), 1.22 (s, H-15)]，1 个甲氧基信号 [δ_H 3.23 (s, H-16)]；^{13}C-NMR 谱中共有 16 个碳信号，对比 DEPT 135 和 HSQC 谱图确定 3 个季碳信号 [δ_C 80.9 (C-4), 81.6 (C-10), 20.9 (C-11)]，3 个甲基碳信号 [δ_C 16.7 (C-12), 29.0 (C-13), 24.1 (C-15)]，5 个亚甲基碳信号 [δ_C 24.2 (C-2), 42.0 (C-3), 20.4 (C-8), 31.6 (C-9), 62.9 (C-14)]，4 个次甲基信号 [δ_C 51.5 (C-1), 48.1 (C-5), 30.0 (C-6), 27.8 (C-7)]，1 个甲氧基碳信号 [δ_C 48.7 (C-16)]，经文献检索，确定化合物 **1** 的结构母核为香木兰烷型倍半萜，且与 pipelol A[7] 的结构相似，不同之处在于该化合物多了 1 个甲氧基结构（图 1）。

表 1 化合物 1 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据

Table 1 ^{1}H-NMR and ^{13}C-NMR data of compound 1

碳位	δ_C	δ_H
1	51.5	2.20 (m)
2	24.2	1.60 (m)
3	42.0	1.51 (s)
4	80.9	
5	48.1	1.34 (t, J = 10.5 Hz)
6	30.0	0.45 (dd, J = 10.5, 9.3 Hz)
7	27.8	0.64 (ddd, J = 11.2, 9.4, 6.1 Hz)
8	20.4	1.82 (m), 1.00 (m)
9	31.6	2.02 (m), 1.55 (m)
10	81.6	
11	20.9	
12	16.7	1.05 (s)
13	29.0	1.04 (s)
14	62.9	3.64 (d, J = 11.9 Hz), 3.76 (d, J = 11.9 Hz)
15	24.1	1.22 (s)
16	48.7	3.23 (s)

在 HMBC 谱中（图 2），H-15 与 C-3、C-5、C-4 存在明显的 $^3J_{CH}$ 或 $^2J_{CH}$ 相关，同时 H-1 与 C-2、C-5、C-6、C-9、C-10、C-14 显示出显著的远程相

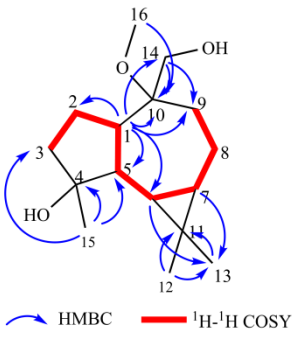


图 2 化合物 1 的关键 HMBC 及 ^{1}H-^{1}H COSY 相关信号

Fig. 2 Key HMBC and ^{1}H-^{1}H COSY correlations of compound 1

关信号。由于 C-4 为季碳（δ_C 80.9，提示连氧），且 H-15 与 H-3、H-4、H-5 在 ^{1}H-^{1}H COSY 谱中具有自旋偶合相关，可确认甲基 C-15 连接于 C-4，且 C-4 进一步连有羟基。在 ^{1}H-^{1}H COSY 谱中，自旋偶合体系 H-3/H-2/H-1/H-5 与 H-6/H-7/H-8/H-9 分别构成连续的自旋系统，明确了 C-1 至 C-5 以及 C-6 至 C-9 的片段连接方式。结合 HMBC 中 H-15 与 C-3、C-4、C-5 的相关，以及 H-14 与 C-1、C-9、C-10 的相关信号，可进一步确定 C-14 连接于 C-10，并通过 C-1 与 C-5 之间的桥连关系，可明确双环骨架的存在。此外，H-16 与 C-10 的 HMBC 相关信号表明甲氧基（C-16）连接于 C-10。另一方面，C-13 与 H-6、H-7、H-12，以及 C-11 与 H-12、H-13 的 HMBC 相关信号，进一步支持了该双环结构中取代基及侧链的连接方式。综合上述数据，可最终确认该化合物的平面结构。

在 NOESY 谱中（图 3），H-1 与 H-6、H-15、H-16 以及 H-6 与 H-7 之间的 NOE 空间相关性，表明 H-1、H-6、H-7、H-15 和 H-16 位于环系统的同一面；而 H-5 与 H-14 的 NOE 相关性则表明两者同侧分布于环系对面。上述信息确立了该化合物的相对构型（C-1 与 C-5 的立体构型受 C-4 和 C-10 的相对关系所约束）。基于该相对骨架，化合物 **1** 的绝对构型存在 (4*S*, 10*R*) 或 (4*R*, 10*S*) 2 种对映异构可能，需结合后续 ECD 光谱进一步明确。

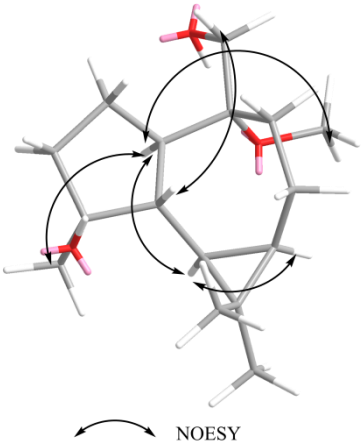


图 3　化合物 1 的 NOESY 谱图

Fig. 3　NOESY spectrum of compound 1

鉴于 (4*S*, 10*R*) 与 (4*R*, 10*S*) 为对映异构体，其理论 ECD 光谱具有严格的镜像对称性（Cotton 效应大小相等、符号相反）。因此，计算过程仅对（4*R*, 10*S*）进行构象搜索及 TD-DFT 计算；(4*S*, 10*R*) 的理论 ECD 光谱通过对 (4*R*, 10*S*) 计算谱图进行镜像翻转直接生成。理论 ECD 计算基于 Gaussian 09 程序包完成。首先使用 Conflex 8.0 软件在 MMFF94 分子力场下进行初始构象搜索，能量截断窗口设置为 5.0 kcal/mol。将搜得的构象在 B3LYP/6-31G (d) 水平（采用 SMD 隐式溶剂模型，溶剂为甲醇）下进行几何优化与频率分析，确认无虚频。随后，筛选出的低能量构象在 M06-2X/def2-TZVP 水平（包含甲醇 SMD 溶剂模型）下，采用含时密度泛函理论（TD-DFT）计算前 30 个激发态的 ECD 光谱。最后，利用 SpecDis (v1.71) 软件对各构象的 ECD 谱图按玻尔兹曼分布进行加权叠加，并结合高斯展宽（高斯半峰宽 σ＝0.3 eV）及紫外波长校正（Δλ＝＋15 nm），绘制生成理论计算 ECD 曲线与实验光谱进行对比。通过计算该化合物的 ECD（图 4），确定该化合物 C-4、C-10 绝对构型分别为 (4*S*, 10*R*)。经 SciFinder 检索，化合物 **1** 为新化合物，命名为(1*R*,4*S*,5*S*,10*R*)-10-甲氧基-10-(羟甲基)香木兰烷-4-醇。

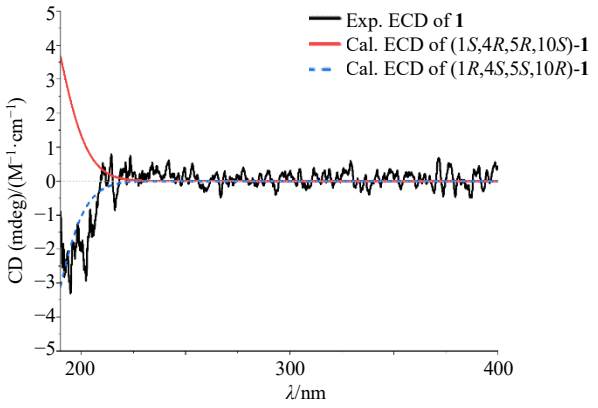


图 4　化合物 1 的实验 ECD 和计算 ECD 谱图

Fig. 4　Experimental ECD and calculated ECD spectra of compound 1

化合物 **2**：黄色无定型粉末，ESI-MS *m*/*z*: 725 [M＋H]$^+$，分子式为 $C_{39}H_{32}O_{14}$。^{1}H-NMR (400 MHz, CD_3OD) δ: 1.04 (3H, d, *J* = 6.1 Hz, H-6′), 3.53 (1H, m, H-5″), 5.28 (1H, dd, *J* = 9.7, 3.4 Hz, H-4″), 5.82 (1H, dd, *J* = 3.4, 1.8 Hz, H-2″), 3.64 (1H, m, H-3″), 6.21 (1H, d, *J* = 2.1 Hz, H-8), 6.37 (1H, s, H-6), 5.61 (1H, d, *J* = 1.7 Hz, H-1″), 6.29 (1H, d, *J* = 15.9 Hz, H-8coum), 6.75 (2H, d, *J* = 8.6 Hz, H-3coum, 5coum), 6.99 (2H, d, *J* = 8.8 Hz, H-3′, 5′), 7.46 (2H, d, *J* = 8.7 Hz, H-2coum), 7.39 (2H, d, *J* = 8.7 Hz, H-6coum), 7.87 (2H, d, *J* = 8.8 Hz, H-2, 6′)；^{13}C-NMR (100 MHz, CD_3OD)

δ: 17.7 (C-6″), 70.8 (C-5″), 70.9 (C-4″), 72.2 (C-2″), 73.0 (C-3″), 94.8 (C-8), 99.9 (C-6), 100.2 (C-1″), 105.9 (C-10), 114.3, 114.9 (C-8coum), 116.7 (C-3coum), 116.8 (C-5coum), 116.9 (C-3′, 5′), 122.4 (C-1′), 127.0 , 127.1 (C-1coum), 131.2 (C-2coum), 131.4 (C-6coum), 131.9 (C-2′, 6′), 135.4 (C-3), 147, 147.7 (C-7coum), 158.5 (C-2), 159.1 (C-9), 161.3 (C-4′), 161.5, 161.7 (C-4coum), 163.2 (C-5), 165.9 (C-7), 167.7, 168.5 (C-9coum), 179.3 (C-4)。以上数据与文献报道基本一致[8]，故鉴定化合物 **2** 为山柰酚 3-*O*-(2,4-二反式-对香豆酰)吡喃鼠李糖苷。

化合物 **3**：黄色粉末，ESI-MS *m*/*z*: 303 [M＋H]$^+$，分子式为 $C_{15}H_{10}O_7$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 6.18 (1H, d, *J* = 2.1 Hz, H-6), 6.39 (1H, d, *J* = 2.1 Hz, H-8), 6.89 (1H, d, *J* = 8.5 Hz, H-5′), 7.64 (1H, dd, *J* = 8.5, 2.1 Hz, H-6′), 7.74 (1H, d, *J* = 2.1 Hz, H-2)；^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD): 177.3 (C-4), 165.6 (C-7), 162.5 (C-5), 158.2 (C-9), 148.8 (C-4′), 148.0 (C-2), 146.2 (C-3′), 137.2 (C-3), 124.1 (C-1′), 121.6 (C-6′), 116.2 (C-5′), 116.0 (C-2′), 104.5 (C-10), 99.2 (C-6), 94.4 (C-8)。以上数据与文献报道基本一致[9]，故鉴定该化合物为槲皮素。

化合物 **4**：无定型粉末，ESI-MS *m*/*z*: 254 [M]$^+$，分子式为 $C_{15}H_{26}O_3$。^{1}H-NMR (400 MHz, CD_3OD) *δ*: 3.68 (2H, m, H-14), 2.16 (1H, dd, *J* = 13.3, 6.8 Hz, H-9), 1.97 (1H, m, H-1), 1.75 (2H, m, H-2), 1.62 (2H, m, H-3), 1.28 (2H, d, *J* = 10.2 Hz, H-5), 1.04 (3H, s, H-12), 1.03 (3H, s, H-13), 0.63 (1H, td, *J* = 11.0, 10.3, 6.1 Hz, H-7), 0.44 (1H, dd, *J* = 10.9, 9.4 Hz, H-6), 1.21 (1H, s, H-15)；^{13}C-NMR (100 MHz, CD_3OD) *δ*: 80.9 (C-4), 76.8 (C-10), 62.2 (C-14), 56.7 (C-1), 47.9 (C-5), 42.0 (C-3), 38.3 (C-9), 30.4 (C-6), 29.0 (C-13), 27.8 (C-7), 24.6 (C-2), 24.3 (C-15), 20.8 (C-11), 20.7 (C-8), 16.7 (C-12)。以上数据与文献报道基本一致[7]，故鉴定该化合物为香木兰烷-4α,10β,14-三醇。

化合物 **5**：黄色粉末，ESI-MS *m*/*z*: 433[M＋H]$^+$，分子式为 $C_{21}H_{20}O_{10}$。^{1}H-NMR (400 MHz, CD_3OD) *δ*: 7.77 (2H, d, *J* = 8.7 Hz, H-2′, 6′), 6.94 (2H, d, *J* = 8.7 Hz, H-3′, 5′), 6.38 (1H, d, *J* = 2.1 Hz, H-8), 6.20 (1H, d, *J* = 2.1 Hz, H-6), 5.54 (1H, d, *J* = 2.1 Hz, rha-H-1″), 0.92 (3H, d, *J* = 5.5 Hz, rha-CH_3)；^{13}C-NMR (100 MHz, CD_3OD) *δ*: 179.6 (C-4), 165.9 (C-7), 163.2 (C-5), 161.5 (C-4′), 159.3 (C-2), 158.5 (C-8a), 136.2 (C-3), 131.9 (C-2′, 6′), 122.6 (C-1′), 116.5 (C-3′, 5′), 105.9 (C-4a), 103.5 (C-1″), 99.8 (C-6), 94.7 (C-8), 73.2 (C-4″), 72.1 (C-5″), 72.0 (C-3″), 71.9 (C-2″), 17.6 (C-6″)。以上数据与文献报道基本一致[10]，故鉴定该化合物为山柰酚-3-*O*-鼠李糖苷。

化合物 **6**：白色粉末，ESI-MS *m*/*z*: 268[M＋H]$^+$，分子式为 $C_{10}H_{13}N_5O_4$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 8.31 (1H, s, H-8), 8.18 (1H, s, H-2), 5.97 (1H, d, *J* = 6.4 Hz, H-1′), 4.76～4.73 (1H, m, H-2′), 4.33 (1H, dd, *J* = 5.1, 2.6 Hz, H-3′), 4.17 (1H, q, *J* = 2.6 Hz, H-4′), 3.89 (1H, dd, *J* = 12.5, 2.5 Hz, H-5′a), 3.75 (1H, dd, *J* = 12.5, 2.7 Hz, H-5′b)；^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 157.6 (C-6), 153.5 (C-2), 142.0 (C-8), 121.1 (C-5), 91.2 (C-1′), 88.2 (C-4′), 75.5 (C-2′), 72.7 (C-3′), 63.5 (C-5′)。以上数据与文献报道基本一致[11]，故鉴定该化合物为腺苷。

化合物 **7**：白色结晶粉末，ESI-MS *m*/*z*: 257 [M＋H]$^+$，分子式为 $C_{15}H_{28}O_3$。^{1}H-NMR (400 MHz, CD_3OD) *δ*: 1.01 (3H, s, H-15), 1.22 (3H, s, H-14), 1.23 (3H, s, H-13), 1.27 (3H, s, H-12)；^{13}C-NMR (100 MHz, CD_3OD) *δ*: 80.7 (C-1), 33.0 (C-2), 48.1 (C-3), 60.3 (C-4), 52.1 (C-5), 30.2 (C-6), 72.6 (C-7), 32.0 (C-8), 40.2 (C-9), 41.9 (C-10), 72.4 (C-11), 28.6 (C-12), 30.0 (C-13), 33.4 (C-14), 15.0 (C-15)。以上数据与文献报道基本一致[12]，故鉴定该化合物为 1β,4β,7α-三羟基桉叶烷。

化合物 **8**：白色粉末，ESI-MS *m*/*z*: 239[M＋H]$^+$，分子式为 $C_{15}H_{26}O_2$。^{1}H NMR (400 MHz, CD_3OD) *δ*: 1.87 (1H, m, H-1), 1.25 (1H, d, *J* = 10.5 Hz, H-5), 1.22 (3H, s, H-15), 1.14 (3H, s, H-14), 1.05 (3H, s, H-12), 1.03 (3H, s, H-13), 0.61 (1H, ddd, *J* = 5.9, 9.4, 11.2 Hz, H-7), 0.44 (1H, m, H-6)；^{13}C-NMR (100 MHz, CD_3OD) *δ*: 81.0 (C-4), 75.7 (C-10), 57.6 (C-1), 48.9 (C-5), 45.4 (C-9), 42.0 (C-3), 30.1 (C-6), 29.1 (C-13), 27.8 (C-7), 24.9 (C-2), 24.4 (C-14), 21.2 (C-8), 20.6 (C-11), 20.1 (C-15), 16.7 (C-12)。以上数据与文献报道基本一致[13]，故鉴定该化合物为 4β,10α-香木兰烷二醇。

化合物 **9**：白色结晶粉末，ESI-MS *m*/*z*: 239 [M＋H]$^+$，分子式为 $C_{15}H_{26}O_2$。^{1}H-NMR (400 MHz, CD_3OD) *δ*: 1.03 (3H, s, H-13), 1.10 (3H, s, H-12), 1.17 (3H, s, H-15), 1.20 (3H, s, H-14), 0.57 (1H, m, H-7), 0.41 (1H, t, *J* = 10.0 Hz, H-6)；^{13}C-NMR (100 MHz, CD_3OD) *δ*: 81.1 (C-4), 73.1 (C-10), 57.8 (C-1), 47.6 (C-5), 43.8 (C-9), 42.0 (C-3), 30.6 (C-6), 30.4 (C-13),

28.2 (C-7), 24.7 (C-2), 24.6 (C-14), 21.8 (C-11), 20.2 (C-8), 16.8 (C-12)。以上数据与文献报道基本一致[14]，故鉴定该化合物为 4β,10β-香木兰烷二醇。

化合物 **10**：无色透明油状液体，ESI-MS *m*/*z*: 220 $[M]^+$，分子式为 $C_{15}H_{24}O$。^{1}H-NMR (400 MHz, $CDCl_3$) *δ*: 0.46 (1H, dd, *J* = 11.3, 9.5 Hz, H-6), 0.70 (1H, m, H-7), 1.03 (3H, s, H-15), 1.05 (3H, s, H-12), 1.28 (3H, s, H-13), 1.31 (1H, d, *J* = 10.7 Hz, H-5), 2.20 (1H, td, *J* = 10.4, 5.6 Hz, H-1), 4.67 (2H, d, *J* = 10.3 Hz, H-14)；^{13}C-NMR (100 MHz, $CDCl_3$) *δ*: 153.6 (C-10), 106.4 (C-14), 81.1 (C-4), 54.4 (C-5), 53.5 (C-1), 41.8 (C-3), 39.0 (C-9), 30.0 (C-6), 28.8 (C-12), 27.6 (C-7), 26.8 (C-2), 26.2 (C-15), 24.9 (C-8), 20.4 (C-11), 16.4 (C-13)。以上数据与文献报道基本一致[15]，故鉴定该化合物为匙叶桉油烯醇。

化合物 **11**：淡黄色油状液体，ESI-MS *m*/*z*: 244 $[M]^+$，分子式为 $C_{17}H_{24}O$。^{1}H-NMR (400 MHz, $CDCl_3$) *δ*: 5.93 (1H, ddd, *J* = 17.2, 10.2, 5.3 Hz, H-2), 5.46 (1H, d, *J* = 17.0 Hz, H-1a), 5.37 (1H, m, H-9), 5.24 (1H, d, *J* = 10.2 Hz, H-1b), 4.91 (1H, d, *J* = 5.3 Hz, H-3), 3.03 (2H, d, *J* = 7.0 Hz, H-8), 2.02 (2H, dd, *J* = 7.4, 1.5 Hz, H-11), 0.88 (3H, t, *J* = 6.9 Hz, H-17)；^{13}C-NMR (100 MHz, $CDCl_3$) *δ*: 136.3 (C-2), 133.2 (C-10), 122.0 (C-9), 117.2 (C-1), 80.4 (C-7), 74.3 (C-4), 71.4 (C-5), 64.1 (C-6), 63.6 (C-3), 31.9 (C-15), 29.4 (C-12), 29.3 (C-13), 29.2 (C-14), 27.3 (C-11), 22.8 (C-16), 17.8 (C-8), 14.2 (C-17)。以上数据与文献报道基本一致[16]，故鉴定该化合物为人参炔醇。

化合物 **12**：无色油状物，ESI-MS *m*/*z*: 261[M＋H]$^+$，分子式为 $C_{17}H_{24}O_2$。^{1}H-NMR (400 MHz, $CDCl_3$) *δ*: 6.33 (1H, dd, *J* = 15.9, 5.6 Hz, H-9), 5.95 (1H, ddd, *J* = 16.9, 10.1, 5.3 Hz, H-2), 5.76 (1H, d, *J* = 15.9 Hz, H-8), 5.48 (1H, d, *J* = 17.0 Hz, H-1a), 5.26 (1H, d, *J* = 10.1 Hz, H-1b), 4.97 (1H, d, *J* = 5.3 Hz, H-3), 4.19 (1H, td, *J* = 7.4, 3.9 Hz, H-10), 0.87 (3H, t, *J* = 6.7 Hz, H-17)；^{13}C-NMR (100 MHz, $CDCl_3$) *δ*: 150.1 (C-9), 136.1 (C-2), 117.4 (C-1), 108.1 (C-8), 80.5 (C-4), 73.6 (C-7), 72.2 (C-10), 71.0 (C-6), 63.8 (C-3), 37.0 (C-11), 31.9 (C-16), 29.5 (C-14), 29.3 (C-13), 25.3 (C-12), 22.8 (C-15), 14.2 (C-17)。以上数据与文献报道基本一致[17]，故鉴定该化合物为十七碳-1,8-二烯-4,6-二炔-3,10-二醇。

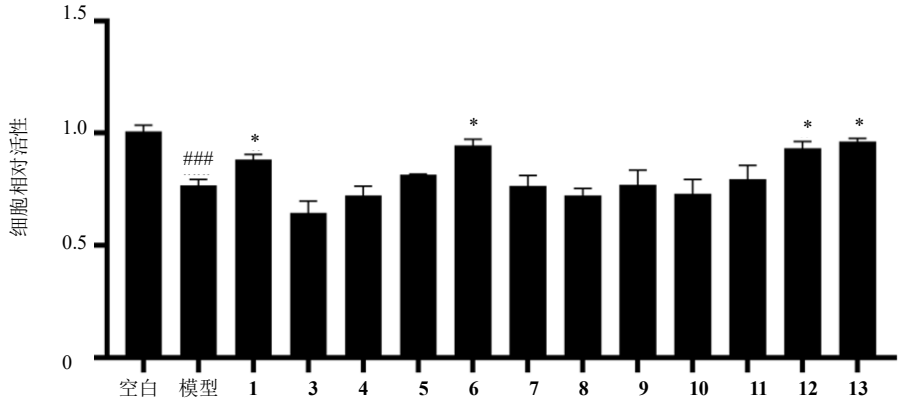
化合物 **13**：油状液体，ESI-MS *m*/*z*: 275 [M＋H]$^+$，分子式为 $C_{18}H_{26}O_2$。^{1}H-NMR (400 MHz, $CDCl_3$) *δ*: 5.56 (1H, m, H-10), 5.37 (1H, m, H-9), 3.71 (2H, t, *J* = 6.1 Hz, H-1), 3.35 (3H, s, OCH_3), 3.11 (2H, dd, *J* = 7.0, 1.7 Hz, H-8), 2.81 (2H, t, *J* = 6.1 Hz, H-2), 2.03 (2H, q, *J* = 6.9 Hz, H-11), 0.88 (3H, m, H-17)；^{13}C-NMR (100 MHz, $CDCl_3$) *δ*: 184.9 (C-3), 134.1 (C-10), 120.8 (C-9), 88.9 (C-4), 76.8 (C-7), 72.4 (C-5), 67.1 (C-1), 63.6 (C-6), 59.0 (OCH_3), 45.6 (C-2), 31.9 (C-15), 29.4 (C-12), 29.3 (C-13), 29.2 (C-14), 27.4 (C-11), 22.8 (C-16), 18.2 (C-8), 14.2 (C-17)。以上数据与文献报道基本一致[18]，故鉴定该化合物为 (*Z*)-1-甲氧基十七碳-9-烯-4,6-二炔-3-酮。

化合物 **14**：浅黄色透明液体，ESI-MS *m*/*z*: 292 $[M]^+$，分子式为 $C_{19}H_{32}O_2$。^{1}H-NMR (400 MHz, $CDCl_3$) *δ*: 5.36 (6H, m, olefine-H), 3.66 (3H, s, OCH_3), 2.80 (4H, ddd, *J* = 6.9, 4.3, 1.7 Hz, H-8,11), 2.30 (2H, t, *J* = 7.5 Hz, H-2), 2.06 (4H, m, H-5, 14), 1.30 (5H, s, $-CH_2-$), 1.25 (5H, s, $-CH_2-$), 0.97 (3H, t, *J* = 7.6 Hz, terminal methyl)；^{13}C-NMR (100 MHz, $CDCl_3$) *δ*: 174.5 (C-1), 132.1 (C-13), 130.4 (C-6), 128.4 (C-10), 128.4 (C-9), 127.8 (C-7), 127.2 (C-12), 51.6 (OCH_3), 34.2 (C-2), 29.8 (C-16), 29.7 (C-15), 29.3 (C-14), 29.2 (C-4), 27.3 (C-5), 25.7 (C-8), 25.7 (C-11), 25.0 (C-3), 20.7 (C-17), 14.4 (C-18)。以上数据与文献报道基本一致[19]，故鉴定该化合物为 γ-亚麻酸甲酯。

化合物 **15**：浅黄色油状液体，ESI-MS *m*/*z*: 294 $[M]^+$，分子式为 $C_{19}H_{34}O_2$。^{1}H-NMR (400 MHz, $CDCl_3$) *δ*: 5.43～5.28 (4H, m, H-9, 10, 12, 13), 3.66 (3H, s, H-1′), 2.77 (2H, m, H-11), 2.30 (2H, t, *J* = 7.6 Hz, H-2), 2.04 (4H, m, H-8, 14), 0.88 (3H, m, H-18)；^{13}C-NMR (100 MHz, $CDCl_3$) *δ*: 174.5 (C-1), 130.4 (C-13), 130.2 (C-9), 128.2 (C-10), 128.1 (C-12), 51.6 (C-1′), 34.3 (C-2), 31.7 (C-16), 29.7 (C-7), 29.5 (C-6), 29.3 (C-15), 29.2 (C-5), 29.2 (C-4), 27.4 (C-14), 27.3 (C-8), 25.7 (C-11), 25.1 (C-3), 22.7 (C-17), 14.2 (C-18)。以上数据与文献报道基本一致[20]，故鉴定该化合物为亚油酸甲酯。

3.2 减轻棕榈酸诱导心肌细胞损伤作用实验结果

采用棕榈酸诱导的心肌细胞损伤模型，对分离得到的化合物 **1** 及 **3**～**13** 进行了细胞活力筛选与评价。结果如图 5 所示。生物活性筛选结果表明，在 50 μmol/L 浓度下，化合物 **1**、**6**、**12** 和 **13** 能够显著提升受损细胞的活力，展现出明确的心肌细胞保护活性。



与空白组比较：$^{###}P<0.001$；与模型组比较：$^{*}P<0.05$。

$^{###}P < 0.001$ *vs* blank group, $^{*}P < 0.05$ *vs* model group.

图 5　化合物 1 及 3～13 的细胞实验结果

Fig. 5　Cell experiment results of compounds 1 and 3—13

4　讨论

三七花的药理活性传统上多归因于高含量的达玛烷型三萜皂苷。然而，本研究从中分离鉴定出 15 个化合物，包括 1 个新颖的香木兰烷型倍半萜（化合物 **1**）以及 6 个首次在三七花中发现的化合物（**2**、**4**、**7**～**9**、**13**）。这一发现丰富了三七花的化学谱系，证明其微量非皂苷类成分（如倍半萜及黄酮类）同样具有极高的化学多样性与研究价值。

在心血管病理生理学中，过量的游离脂肪酸（如棕榈酸）会导致心肌细胞发生严重的脂毒性损伤，进而引发内质网应激、线粒体功能障碍及细胞凋亡，这是糖尿病心肌病和缺血性心脏病的重要发病机制。生物活性筛选表明，新化合物 **1** 以及已知化合物 **6**、**12**、**13** 在 50 μmol/L 浓度下均表现出显著的抗棕榈酸诱导心肌细胞损伤的作用。特别是新化合物 **1**（香木兰烷型倍半萜）展现出的保护效能，提示此类独特的倍半萜骨架可能是发挥抗脂毒性活性的药效团，这为其后续的构效关系研究提供了宝贵线索。

综上所述，本研究不仅丰富了三七花的化学物质基础，也为其开发天然抗心肌脂毒性药物提供了方向。然而，本研究仍存在一定的局限性：首先，当前评价仅停留在体外细胞模型，活性化合物 **1**、**6**、**12**、**13** 的体内生物利用度及代谢稳定性仍需在动物模型中进一步验证；其次，其减轻心肌损伤的具体下游信号通路（如炎症通路）尚待深入解析。未来将聚焦于这些活性成分的靶点辨识与结构优化，以期推动其向创新天然药物的转化。

利益冲突　所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] 夏鹏国, 张顺仓, 梁宗锁, 等. 三七化学成分的研究历程和概况 [J]. 中草药, 2014, 45(17): 2564-2570.

[2] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1999: 895.

[3] 邵紫君, 李志满, 于鹏程, 等. 氨基酸转化三七花中稀有人参皂苷及提取液对脂多糖诱导的 RAW264.7 细胞活性的影响 [J]. 中草药, 2021, 52(3): 702-710.

[4] 甘昌敏, 陈洪熠, 龚云麒. 三七花化学成分的研究进展 [J]. 云南中医中药杂志, 2019, 40(9): 73-75.

[5] 王庆颖, 张志锋, 吕露阳, 等. 花类药食同源中药安全性评价的研究进展 [J]. 中草药, 2021, 52(3): 864-872.

[6] Zhou Y, Ouyang L M, Dong L Y, *et al*. *Panax notoginseng* flower protects against diabetic cardiomyopathy by regulating the ACSL4/ALOX15 pathway [J]. *Front Pharmacol*, 2026, 17: 1780442.

[7] Masuoka C, Ono M, Ito Y, *et al*. New megastigmane glycoside and aromadendrane derivative from the aerial part of *Piper elongatum* [J]. *Chem Pharm Bull*, 2002, 50(10): 1413-1415.

[8] Bloor S J. An antimicrobial kaempferol-diacyl-rhamnoside from *Pentachondra pumila* [J]. *Phytochemistry*, 1995, 38(4): 1033-1035.

[9] 潘娟, 王丹妮, 郝智超, 等. 槲寄生中的新倍半萜类化合物 [J]. 中草药, 2025, 56(17): 6093-6107.

[10] Jang D S, Kim J M, Lee Y M, *et al*. Flavonols from *Houttuynia cordata* with protein glycation and aldose reductase inhibitory activity [J]. *Nat Prod Sci*, 2006, 12: 210-213.

[11] 张琳, 蔡晓菡, 高慧媛, 等. 益母草化学成分的分离与鉴定 [J]. 沈阳药科大学学报, 2009, 26(1): 15-18.

[12] Li R T, Zhao A H, Sheng Y H, *et al*. Chemical constituents from *Schisandra plena* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2005, 7(6): 847-852.

[13] 胡引明. 幌伞枫及海南三角瓣花的化学成分研究 [D]. 深圳: 深圳大学, 2017.

[14] Anjaneyulu A S R, Sagar K S, Venugopal M J R V. Terpenoid and steroid constituents of the Indian ocean soft coral *Sinularia maxima* [J]. *Tetrahedron*, 1995, 51(40): 10997-11010.

[15] Ragasa C Y, Ganzon J, Hofileña J, *et al*. A new furanoid diterpene from *Caesalpinia pulcherrima* [J]. *Chem Pharm Bull*, 2003, 51(10): 1208-1210.

[16] Yang R L, Yan Z H, Lu Y. Cytotoxic phenylpropanoids from carrot [J]. *J Agric Food Chem*, 2008, 56(9): 3024-3027.

[17] Schulte K E, Pötter B. Polyacetylenic compounds from *Pituranthus tortuosus* (Desf.) Bnth. and Hook. [J]. *Arch Pharm*, 1977, 310(12): 945-963.

[18] Xu G H, Choo S J, Ryoo I J, *et al*. Polyacetylenes from the tissue cultured adventitious roots of *Panax ginseng* C.A. Meyer [J]. *Nat Prod Sci*, 2008, 14: 177-181.

[19] Lee S J, Hong S, Kim G W. γ-Linolenic acid methyl ester from *Rhizopus oryzae* KSD-815 isolated from Nuruk induces apoptosis in prostate cancer LNCaP cells [J]. *J Korean Soc Appl Biol Chem*, 2010, 53(6): 752-760.

[20] Lv J H, Zhao H Y, Xiong M M, *et al*. Chemical constituents from *Suillus granulatus* [J]. *Chem Nat Compd*, 2025, 61(2): 369-371.

[责任编辑 王文倩]