

## 排骨灵化学成分研究

李艳洁, 岳晓锋, 郭鑫鑫, 刘艺, 冯好, 邓世明, 陈辉, 冯卫生, 薛金凤\*, 薛贵民\*  
河南中医药大学药学院, 河南 郑州 450046

**摘要:** 目的 研究排骨灵 *Fissistigma bracteolatum* 化学成分。方法 排骨灵 95%乙醇提取总浸膏经萃取、大孔树脂、硅胶、MCI、凝胶、ODS 等柱色谱以及半制备液相进行分离与纯化。利用波谱技术等现代光谱技术对结构进行解析鉴定。并构建脂多糖 (lipopolysaccharide, LPS) 诱导的 RAW264.7 细胞体外炎症模型, 对分离得到的化合物进行体外抗炎活性评价。结果 从排骨灵中分离得到 22 个化合物, 其中 12 个黄酮类, 8 个酰胺类、1 个木脂素类和 1 个内酯类。分别鉴定为 5,7-二羟基-6,8-二甲氧基黄酮 (1)、5-羟基-7,8-二甲氧基黄酮 (2)、槲皮素 (3)、芦丁 (4)、5,7,8-三甲氧基二氢黄酮 (5)、5,6,8-三甲氧基-7-羟基二氢黄酮 (6)、6,7-二甲氧基-8-羟基二氢黄酮 (7)、2*S*-7-羟基-6,8-二甲氧基二氢黄酮 (8)、双氢槲皮素 (9)、香橙素 (10)、4,2',6'-三羟基-3',4'-二甲氧基二氢查耳酮 (11)、2',6'-二羟基-4'-甲氧基二氢查耳酮 (12)、*N-trans*-sinapoylmethoxytyramine (13)、*N*-[2-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)ethyl]-3-phenyl-2-propenamide (14)、(*E*)-3-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-*N*-phenethyl-acrylamide (15)、*N*-反式-阿魏酰基酪胺 (16)、*N*-反式-对香豆酰酪胺 (17)、*N-cis*-feruloyltyramine (18)、*cis-N*-feruloyl-3-*O*-methyl-dopamine (19)、cannabisin D (20)、3-咖啡酸酰基-2-甲基-*D*-赤藓糖酸-1,4-内酯 (21)、(-)-syringaresinol (22)。结论 化合物 1、7、9~11、13~15、17、19、21 均为首次从瓜馥木属中分离得到。抗炎活性结果表明化合物 5、9、13、16 能明显抑制 LPS 诱导的 RAW264.7 巨噬细胞释放一氧化氮的释放。

**关键词:** 番荔枝科; 排骨灵; 双氢槲皮素; 香橙素; *N*-反式-阿魏酰基酪胺; 抗炎活性

中图分类号: R284.1 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2026)13-4979-08

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.13.004

## Chemical constituents of *Fissistigma bracteolatum*

LI Yanjie, YUE Xiaofeng, GUO Xinxin, LIU Yi, FENG Hao, DENG Shiming, CHEN Hui, FENG Weisheng, XUE Jinfeng, XUE Guimin

School of Pharmacy, Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, China

**Abstract: Objective** To investigate the chemical constituents of *Fissistigma bracteolatum*. **Methods** The 95% ethanol extract of *F. bracteolatum* was successively separated by solvent partitioning, macroporous resin, silica gel, MCI, Sephadex LH-20, ODS column chromatography, and semi-preparative HPLC to obtain individual compounds. Their structures were elucidated using modern spectroscopic techniques such as NMR and MS. An *in vitro* inflammatory model was established using lipopolysaccharide (LPS)-stimulated RAW264.7 macrophages to evaluate the anti-inflammatory activity of the isolated compounds. **Results** A total of 22 compounds were isolated from *F. bracteolatum*, comprising of 12 flavonoids, 8 amides, 1 lignan, and 1 lactone. These were determined as: 5,7-dihydroxy-6,8-dimethoxyflavone (1), 5-hydroxy-7,8-dimethoxyflavone (2), quercetin (3), rutin (4), 5,7,8-trimethoxydihydroflavone (5), 5,6,8-trimethoxy-7-hydroxydihydroflavone (6), 6,7-dimethoxy-8-hydroxydihydroflavone (7), (2*S*)-7-hydroxy-6,8-dimethoxydihydroflavone (8), dihydroquercetin (9), aromadendrin (10), 4,2',6'-trihydroxy-3',4'-dimethoxydihydrochalcone (11), 2',6'-dihydroxy-4'-methoxydihydrochalcone (12), *N-trans*-sinapoylmethoxytyramine (13), *N*-[2-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)ethyl]-3-phenyl-2-propenamide (14), (*E*)-3-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-*N*-phenethyl-acrylamide (15), *N-trans*-

收稿日期: 2026-03-27

基金项目: 河南省优秀青年基金资助项目 (252300421137); 河南省科学技术研究发展计划联合基金项目 (242301420109); 河南省高校科技创新团队支持计划 (24IRTSTHN039); 河南省科技攻关项目 (242102310520); 河南省高校重点科研项目 (25A360024); 大学生创新创业训练计划项目 (202410471008)

作者简介: 李艳洁, 女, 硕士研究生, 从事天然药物活性成分及应用研究。E-mail: 11936581262@163.com

\*通信作者: 薛金凤, 女, 实验师, 研究方向为中药药效物质基础。E-mail: xuejinfeng8804@126.com

薛贵民, 男, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为中药药效物质基础。E-mail: xueguimin123@126.com

feruloyltyramine (16), *N-trans-p*-coumaroyltyramine (17), *N-cis*-feruloyltyramine (18), *cis-N*-feruloyl-3-*O*-methyldopamine (19), cannabisin D (20), 3-caffeoyl-2-methyl-*D*-erythronic acid-1,4-lactone (21), and (-)-syringaresinol (22). **Conclusion** Compounds 1, 7, 9–11, 13–15, 17, 19, and 21 were isolated from the genus *Fissistigma* for the first time. The anti-inflammatory activity results demonstrated that compounds 5, 9, 13, and 16 significantly inhibited the release of nitric oxide in LPS-induced RAW264.7 macrophages.

**Key words:** Annonaceae; *Fissistigma bracteolatum* Chatterjee; dihydroquercetin; aromadendrin; *N-trans*-feruloyltyramine; anti-inflammatory activity

排骨灵为番荔枝科 (Annonaceae) 瓜馥木属植物多苞瓜馥木 *Fissistigma bracteolatum* Chatterjee 的根皮, 主要分布于越南以及中国云南西南部地区。民间常用于止血和骨组织再生<sup>[1]</sup>。瓜馥木属植物含有结构多样的活性成分, 主要包括生物碱类、黄酮类、萜类、苷类、酸性成分以及挥发性成分等<sup>[2]</sup>, 其中黄酮类和生物碱成分分布较为普遍<sup>[3]</sup>。药理研究表明, 该属植物的化学成分显示具有抗痛风<sup>[4]</sup>、抗炎<sup>[5]</sup>、抗肿瘤<sup>[6]</sup>、抗抑郁<sup>[7]</sup>、抗菌<sup>[8]</sup>和镇痛<sup>[9]</sup>等活性。针对排骨灵这一植物的化学成分研究, Lien 等<sup>[10]</sup>从该植物中分离得到 5 个新查耳酮类化合物。Wu 等<sup>[11]</sup>发现该植物中的酰胺类化合物具有抗炎活性。但近年来对排骨灵化学成分系统性研究较为欠缺, 本研究旨在进一步丰富排骨灵的化学成分。

本研究从排骨灵提取物中分离纯化 22 个化合物, 分别鉴定为 5,7-二羟基-6,8-二甲氧基黄酮 (5,7-dihydroxy-6,8-dimethoxyflavone, 1)、5-羟基-7,8-二甲氧基黄酮 (5-hydroxy-7,8-dimethoxyflavone, 2)、槲皮素 (quercetin, 3)、芦丁 (rutin, 4)、5,7,8-三甲氧基二氢黄酮 (5,7,8-trimethoxyflavanone, 5)、5,6,8-三甲氧基-7-羟基二氢黄酮 (5,6,8-tri-methoxy-7-hydroxyflavanone, 6)、6,7-二甲氧基-8-羟基二氢黄酮 (6,7-dimethoxy-8-hydroxydihydroflavone, 7)、2*S*-7-羟基-6,8-二甲氧基二氢黄酮 (2*S*-7-hydroxy-6,8-dimethoxyflavanone, 8)、双氢槲皮素 (dihydroquercetin, 9)、香橙素 (aromadendrin, 10)、4,2',6'-三羟基-3',4'-二甲氧基二氢查耳酮 (4,2',6'-trihydroxy-3',4'-dimethoxyphenylhydrochalcone, 11)、2',6'-二羟基-4'-甲氧基二氢查耳酮 (2',6'-dihydroxy-4'-methoxydihydrochalcone, 12)、*N-trans*-sinapoyl-methoxytyramine (13)、*N*-[2-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)ethyl]-3-phenyl-2-propenamide (14)、(*E*)-3-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-*N*-phenethyl-acrylamide (15)、*N*-反式阿魏酰基酪胺 (*N-trans*-feruloyltyramin, 16)、*N*-反式-对香豆酰酪胺 (4-*N-trans-p*-

coumaroyltyramine, 17)、*N-cis*-feruloyltyramine (18)、*cis-N*-feruloyl-3-*O*-methyldopamine (19)、cannabisin D (20)、3-咖啡酸酰基-2-甲基-*D*-赤藓糖酸-1,4-内酯 (3-caffeic acid-2-methyl-*D*-erythritolacid-1,4-lactone, 21)、(-)-syringaresinol (22)。其中化合物 1、7、9~11、13~15、17、19、21 均为首次从瓜馥木属中分离得到。并采用 LPS 诱导 RAW264.7 细胞炎症模型进行抗炎活性评价。化合物 5、9、13、16 表现出显著的抗炎活性。

## 1 仪器与材料

Bruker DRX-500 型超导核磁共振仪 (德国布鲁克公司); Bruker maxis HD 型飞行时间质谱 (德国布鲁克公司); AB SCIEX Qtrap 5500 液质联用仪 (美国 AB SCIEX 公司); 赛谱锐思 LC50 型高压制备液相色谱仪 (赛谱锐思北京科技有限公司); Agilent 1260 Infinity II 型高效液相色谱仪 (美国安捷伦科技公司); Biofuge stratos 高速低温离心机 (美国赛默飞公司); SpectraMax Plus 384 全波长酶标仪 (美谷分子仪器公司); Easy pure II 实验室级超纯水仪 (美国赛默飞公司); -20 °C 及 4 °C 冰箱 (青岛海尔股份有限公司); 311 型二氧化碳培养箱 (美国赛默飞公司)。MCI (日本三菱化学公司); YMC-Pack ODS-A 色谱柱 (日本 YMC 有限公司); Sephadex LH-20 (瑞士 Amersham Pharmacia Biotech AB 公司); 分析纯和色谱纯试剂 (天津四友精细化学品有限公司)。小鼠单核巨噬细胞株 RAW264.7 (中国科学院上海生命科学研究院细胞资源中心); DMEM/RPMI 1640 培养基 (Invitrogen 公司); 胎牛血清 (杭州四季青生物材料研究所); NO 检测试剂盒 (南京碧云天生物技术有限公司); DMSO、胰蛋白酶、脂多糖 (lipopolysaccharides, LPS) 以及阳性对照药 *N*<sup>G</sup>-单甲基-*L*-精氨酸醋酸盐 (tilarginine, *L*-NMMA, 美国 Sigma 公司); 其它常用无机盐等试剂均为分析纯 (南京化学试剂有限公司); PBS (武汉塞维尔生物科技有限公司)。

排骨灵于2020年5月在云南省昆明市采摘,经河南中医药大学药学院杨琳琳副教授鉴定为番荔枝科瓜馥木属植物多苞瓜馥木 *F. bracteolatum* Chatterjee。

## 2 提取与分离

干燥排骨灵(10 kg)用95%乙醇加热回流提取3 h,重复3次,合并提取液并浓缩,得总浸膏800 g。总浸膏加水溶解,依次用石油醚、二氯甲烷、醋酸乙酯、正丁醇萃取,得5个部位A~E。将B部位(180 g)过大孔树脂,采用乙醇-水(10%、30%、60%、80%、100%)梯度洗脱,得5个馏份B1~B5。将B3部位(50 g)过硅胶,采用二氯甲烷-甲醇(1:0、50:1、30:1、10:1、5:1、1:1、0:1)梯度洗脱,得7个馏份B3.1~B3.7。将B3.1部位(15.0 g)过MCI,采用甲醇-水(20%、40%、60%、80%、100%)梯度洗脱,得到5个馏份B3.1.1~B3.1.5。将B3.1.3部位(2.0 g)过凝胶柱色谱,采用甲醇系统洗脱,得9个馏份B3.1.3.1~B3.1.3.9。B3.1.3.4部位(1.2 g)过ODS,采用甲醇-水系统梯度洗脱,得12个馏份B3.1.3.4.1~B3.1.3.4.12。选取B3.1.3.4.6经制备液相色谱(乙腈-水20%→80%, 0~50 min),得化合物5( $t_R=20.8$  min, 2.6 mg)、6( $t_R=21.0$  min, 13.5 mg)。选取B3.1.3.4.5经制备液相色谱(乙腈-水20%→80%, 0~50 min),得化合物14( $t_R=19.1$  min, 6.9 mg)、15( $t_R=20.0$  min, 4.0 mg)。选取B3.1.3.4.4经制备液相色谱(乙腈-水20%→80%, 0~50 min),得化合物13( $t_R=13.7$  min, 8.0 mg)、22( $t_R=14.5$  min, 10.0 mg)、7( $t_R=15.9$  min, 8.0 mg)。选取B3.1.3.5经制备液相色谱(乙腈-水25%→75%, 0~50 min),得化合物18( $t_R=23.9$  min, 9.5 mg)、16( $t_R=24.5$  min, 7.4 mg)、19( $t_R=24.1$  min, 5.1 mg)、2( $t_R=24.8$  min, 1.6 mg)、1( $t_R=25.3$  min, 6.7 mg)、8( $t_R=29.3$  min, 9.4 mg)。选取B3.1.3.6经制备液相色谱(乙腈-水25%→75%, 0~50 min),得化合物11( $t_R=29.1$  min, 3.2 mg)。

将B3.1.4部位(4.0 g)过凝胶柱色谱,甲醇系统洗脱,得7个馏份B3.1.4.1~B3.1.4.7。将B3.1.4.3部位(1.3 g)过ODS,采用甲醇-水系统梯度洗脱,得16个馏份B3.1.4.3.1~B3.1.4.3.16。选取B3.1.4.3.6经制备液相色谱(25%乙腈-水),得化合物12( $t_R=42.0$  min, 4.9 mg)。

将C部位(30.0 g)过硅胶,采用二氯甲烷-甲

醇系统梯度50:1、20:1、10:1、0:1洗脱,得4个馏份C1~C4。将C4部位(8.0 g)过凝胶,采用甲醇系统洗脱得6个馏份C4.1~C4.6。将C4.3部位(2.0 g)过ODS,采用甲醇-水系统梯度(5%~100%)洗脱,得C4.3.1~C4.3.31共31个馏份。选取C4.3.7经制备液相色谱(乙腈-水20%→30%, 0~50 min),得化合物4( $t_R=18.5$  min, 32.0 mg)。

将C2部位(3.0 g)过ODS,采用甲醇-水系统梯度洗脱,得C2.1~C2.19共19个馏份。选取C2.16经制备液相色谱(乙腈-水20%→60%, 0~50 min),得化合物3( $t_R=31.9$  min, 10.4 mg)、20( $t_R=33.3$  min, 3.4 mg)。

将C1部位(9.0 g)过凝胶,采用甲醇系统洗脱,得4个馏份C1.1~C1.4。选取C1.2经制备液相色谱(乙腈-水20%→45%, 0~50 min),得化合物21( $t_R=16.2$  min, 7.4 mg)、17( $t_R=23.7$  min, 11.0 mg)。选取C1.4经制备液相色谱(乙腈-水15%→55%, 0~50 min),得化合物9( $t_R=22.6$  min, 3.3 mg)、10( $t_R=27.3$  min, 2.5 mg)。

## 3 结构鉴定

化合物1:白色粉末,溶于甲醇。ESI-MS  $[M+H]^+$   $m/z$  315.2895,分子式为 $C_{17}H_{14}O_6$ 。 $^1H$ -NMR(500 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 8.10(2H, m, H-2', 6'), 7.57(3H, m, H-3'~5'), 6.78(1H, s, H-3), 3.88(3H, s, 8-OCH<sub>3</sub>), 3.70(3H, s, 6-OCH<sub>3</sub>);  $^{13}C$ -NMR(125 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 183.2(C-4), 164.1(C-2), 150.0(C-9), 148.7(C-5), 146.2(C-7), 132.5(C-1'), 131.6(C-6), 131.3(C-8), 129.4(C-5'), 129.2(C-3'), 127.4(C-4'), 126.3(C-2'), 125.8(C-6'), 105.7(C-10), 105.2(C-3), 61.9(6-OCH<sub>3</sub>), 61.1(8-OCH<sub>3</sub>)。参考文献数据<sup>[12]</sup>,鉴定化合物1为5,7-二羟基-6,8-二甲氧基黄酮。

化合物2:浅黄色粉末,溶于甲醇。ESI-MS  $[M+H]^+$   $m/z$  299.0905。分子式为 $C_{17}H_{14}O_5$ 。 $^1H$ -NMR(500 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 8.90(1H, s, 5-OH), 8.09(2H, m, H-2', 6'), 7.56(3H, m, H-3'~5'), 6.74(1H, s, H-3), 6.69(1H, s, H-6), 3.97(3H, s, 8-OCH<sub>3</sub>), 3.84(3H, s, 7-OCH<sub>3</sub>);  $^{13}C$ -NMR(125 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 181.7(C-4), 164.6(C-2), 158.1(C-7), 157.4(C-5), 148.7(C-9), 133.4(C-4'), 131.2(C-1'), 130.1(C-3'), 129.4(C-5'), 126.9(C-8), 125.7(C-2'), 124.8(C-6'), 105.3(C-3), 104.5(C-10), 94.0(C-6), 61.4(7-OCH<sub>3</sub>), 55.3(8-OCH<sub>3</sub>)。参考文献数据<sup>[13]</sup>,鉴定化合物2为5-羟基-7,8-二甲氧基黄酮。

化合物**3**: 黄色粉末, 溶于甲醇。ESI-MS  $[M+H]^+$   $m/z$  303.235 2。分子式为  $C_{15}H_{10}O_7$ ,  $^1H$ -NMR (500 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 12.48 (1H, s, 5-OH), 7.67 (1H, d,  $J=2.2$  Hz, H-2'), 7.54 (1H, dd,  $J=8.5, 2.2$  Hz, H-6'), 6.88 (1H, d,  $J=8.5$  Hz, H-5'), 6.38 (1H, d,  $J=2.0$  Hz, H-8), 6.17 (1H, d,  $J=2.0$  Hz, H-6);  $^{13}C$ -NMR (125 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 174.7 (C-4), 163.1 (C-7), 158.7 (C-9), 155.4 (C-5), 145.6 (C-2), 145.4 (C-4'), 143.1 (C-3'), 134.3 (C-3), 122.2 (C-1'), 118.8 (C-6'), 114.7 (C-2'), 113.7 (C-5'), 100.5 (C-10), 96.0 (C-6), 92.9 (C-8)。参考文献数据<sup>[14]</sup>, 鉴定化合物**3**为槲皮素。

化合物**4**: 黄色针状结晶 (甲醇), 溶于甲醇。ESI-MS  $[M+H]^+$   $m/z$  611.521 0, 分子式为  $C_{27}H_{30}O_{16}$ 。 $^1H$ -NMR (500 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 7.54 (1H, d,  $J=1.9$  Hz, H-2'), 7.53 (1H, d,  $J=1.9$  Hz, H-6'), 6.83 (1H, d,  $J=8.3$  Hz, H-5'), 6.37 (1H, d,  $J=2.0$  Hz, H-8), 6.17 (1H, d,  $J=2.0$  Hz, H-6), 5.33 (1H, d,  $J=7.2$  Hz, H-1'), 3.22 (4H, m, H-2''~5''), 3.70 (1H, d,  $J=10.8$  Hz, H-6''a), 3.39 (1H, s, H-6''b), 4.38 (1H, s, H-1'''), 3.22 (3H, m, H-2''', 4''', 5'''), 3.39 (1H, s, H-3'''), 0.99 (1H, d,  $J=6.2$  Hz, H-6''');  $^{13}C$ -NMR (125 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 177.3 (C-4), 164.5 (C-7), 161.2 (C-5), 156.6 (C-9), 156.5 (C-2), 148.5 (C-4'), 144.8 (C-3'), 133.3 (C-3), 121.6 (C-1'), 121.1 (C-6'), 116.2 (C-5'), 115.2 (C-2'), 103.8 (C-10), 101.2 (C-1''), 100.8 (C-1'''), 98.8 (C-6), 93.7 (C-8), 74.1 (C-2''), 76.5 (C-5''), 75.9 (C-3''), 71.9 (C-4'''), 70.6 (C-3'''), 70.4 (C-2'''), 70.0 (C-4''), 68.3 (C-5'''), 67.0 (C-6''), 17.8 (C-6''')。对比参考文献数据<sup>[15]</sup>, 鉴定化合物**4**为芦丁。

化合物**5**: 浅黄色粉末, 溶于甲醇、氯仿。ESI-MS  $[M+H]^+$   $m/z$  315.121 5, 分子式为  $C_{18}H_{18}O_5$ 。 $^1H$ -NMR (500 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 7.48 (2H, m, H-2', 6'), 7.42 (2H, m, H-3', 5'), 7.37 (1H, m, H-4'), 6.14 (1H, s, H-6), 5.47 (1H, dd,  $J=12.4, 3.2$  Hz, H-2), 3.95 (3H, s, 5-OCH<sub>3</sub>), 3.93 (3H, s, 8-OCH<sub>3</sub>), 3.81 (3H, s, 7-OCH<sub>3</sub>), 3.01 (1H, dd,  $J=16.6, 12.4$  Hz, H-3a), 2.88 (1H, dd,  $J=16.6, 3.2$  Hz, H-3b);  $^{13}C$ -NMR (125 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 189.3 (C-4), 155.0 (C-5), 152.5 (C-7), 149.6 (C-9), 138.2 (C-1'), 130.2 (C-8), 129.4 (C-3'), 128.7 (C-5'), 127.8 (C-4'), 126.7 (C-2'), 126.3 (C-6'), 102.9 (C-10), 90.1 (C-6), 80.2 (C-2), 69.8 (7-OCH<sub>3</sub>), 56.4 (5-OCH<sub>3</sub>), 56.5 (8-OCH<sub>3</sub>), 46.2 (C-3)。对比参考文献数据<sup>[16]</sup>, 鉴定化合物**5**为5,7,8-三甲氧基二氢黄酮。

化合物**6**: 浅黄色粉末, 溶于甲醇、氯仿。ESI-MS  $[M+H]^+$   $m/z$  331.116 4, 分子式为  $C_{18}H_{18}O_6$ 。 $^1H$ -NMR (500 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 7.47 (2H, m, H-2', 6'), 7.42 (2H, m, H-3', 5'), 7.37 (1H, m, H-4'), 5.66 (1H, s, 7-OH), 5.43 (1H, dd,  $J=13.1, 2.9$  Hz, H-2), 4.09 (3H, s, 5-OCH<sub>3</sub>), 3.91 (3H, s, 8-OCH<sub>3</sub>), 3.86 (3H, s, 6-OCH<sub>3</sub>), 3.02 (1H, dd,  $J=16.9, 13.0$  Hz, H-3a), 2.86 (1H, dd,  $J=16.8, 3.0$  Hz, H-3b);  $^{13}C$ -NMR (125 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 190.0 (C-4), 149.8 (C-5), 147.4 (C-7), 142.3 (C-9), 138.9 (C-8), 137.8 (C-6), 137.1 (C-1'), 128.9 (C-3', 5'), 128.7 (C-4'), 126.1 (C-2', 6'), 111.0 (C-10), 79.4 (C-2), 46.0 (C-3), 61.9 (5-OCH<sub>3</sub>), 61.6 (8-OCH<sub>3</sub>), 61.4 (6-OCH<sub>3</sub>)。对比参考文献数据<sup>[17]</sup>, 鉴定化合物**6**为5,6,8-三甲氧基-7-羟基二氢黄酮。

化合物**7**: 浅黄色粉末, 溶于甲醇、氯仿。ESI-MS  $[M+H]^+$   $m/z$  301.105 5, 分子式为  $C_{17}H_{16}O_5$ 。 $^1H$ -NMR (500 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 7.47 (2H, m, H-2', 6'), 7.41 (2H, m, H-3', 5'), 7.26 (1H, m, H-4'), 6.19 (1H, s, H-5), 5.45 (1H, dd,  $J=12.7, 3.0$  Hz, H-2), 3.97 (3H, s, 6-OCH<sub>3</sub>), 3.84 (3H, s, 7-OCH<sub>3</sub>), 3.08 (1H, dd,  $J=16.6, 12.7$  Hz, H-3a), 2.84 (1H, dd,  $J=16.6, 3.0$  Hz, H-3b);  $^{13}C$ -NMR (125 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 189.4 (C-4), 155.1 (C-6), 152.6 (C-7), 149.6 (C-8), 138.5 (C-1'), 130.0 (C-3', 5'), 129.0 (C-4'), 127.8 (C-9), 126.5 (C-2', 6'), 106.0 (C-10), 89.9 (C-5), 80.2 (C-2), 56.5 (6-OCH<sub>3</sub>), 56.4 (7-OCH<sub>3</sub>), 46.0 (C-3)。对比参考文献数据<sup>[18]</sup>, 鉴定化合物**7**为6,7-二甲氧基-8-羟基二氢黄酮。

化合物**8**: 浅黄色粉末, 溶于甲醇。ESI-MS  $[M+H]^+$   $m/z$  301.105 9, 分子式为  $C_{17}H_{16}O_5$ 。 $^1H$ -NMR (500 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 8.46 (1H, s, 7-OH), 7.52 (2H, m, H-2', 6'), 7.42 (2H, m, H-3', 5'), 7.38 (1H, m, H-4'), 6.49 (1H, s, H-5), 5.50 (1H, dd,  $J=13.1, 3.0$  Hz, H-2), 3.80 (3H, s, 8-OCH<sub>3</sub>), 3.72 (3H, s, 6-OCH<sub>3</sub>), 3.05 (1H, dd,  $J=16.6, 13.1$  Hz, H-3a), 2.66 (1H, dd,  $J=16.6, 3.0$  Hz, H-3b);  $^{13}C$ -NMR (125 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 188.8 (C-4), 156.0 (C-10), 155.0 (C-7), 146.7 (C-9), 139.2 (C-1'), 134.5 (C-8), 128.5 (C-3', 5'), 128.4 (C-4'), 126.5 (C-2', 6'), 108.5 (C-5), 96.4 (C-6), 78.5 (C-2), 60.5 (8-OCH<sub>3</sub>), 56.1 (6-OCH<sub>3</sub>), 44.9 (C-3)。对比参考文献数据<sup>[19]</sup>, 鉴定化合物**8**为2*S*-7-羟基-6,8-二甲氧基二氢黄酮。

化合物**9**: 黄色油状物, 溶于甲醇。ESI-MS  $[M+H]^+$   $m/z$  305.060 3, 分子式为  $C_{15}H_{12}O_7$ 。 $^1H$ -NMR (500

MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 6.88 (1H, s, H-2'), 6.75 (2H, s, H-5', 6'), 5.87 (1H, s, H-8), 5.83 (1H, s, H-6), 4.95 (1H, d,  $J$  = 11.0 Hz, H-2), 4.47 (1H, d,  $J$  = 11.2 Hz, H-3);  $^{13}\text{C}$ -NMR (125 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 197.2 (C-4), 166.9 (C-7), 162.9 (C-5), 162.1 (C-9), 145.2 (C-3'), 144.3 (C-4'), 127.5 (C-1'), 118.8 (C-6'), 114.8 (C-2'), 114.7 (C-5'), 100.8 (C-10), 95.5 (C-6), 94.5 (C-8), 82.6 (C-2), 71.0 (C-3)。对比参考文献数据<sup>[20]</sup>, 鉴定化合物 **9** 为双氢槲皮素。

化合物 **10**: 黄色油状物, 溶于甲醇。ESI-MS  $[\text{M}+\text{H}]^+$   $m/z$  289.068 7, 分子式为  $\text{C}_{15}\text{H}_{12}\text{O}_6$ 。 $^1\text{H}$ -NMR (500 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 7.30 (2H, d,  $J$  = 8.3 Hz, H-2', 6'), 6.78 (2H, d,  $J$  = 8.3 Hz, H-3', 5'), 5.88 (1H, s, H-8), 5.83 (1H, s, H-6), 5.03 (1H, d,  $J$  = 11.4 Hz, H-2), 4.56 (1H, d,  $J$  = 11.4 Hz, H-3)。 $^{13}\text{C}$ -NMR (125 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 196.9 (C-4), 168.6 (C-7), 164.9 (C-9), 163.8 (C-5), 157.4 (C-4'), 128.3 (C-1'), 127.4 (C-2', 6'), 116.1 (C-3', C-5'), 100.6 (C-10), 95.1 (C-6), 94.6 (C-8), 87.1 (C-2), 71.9 (C-3)。对比参考文献数据<sup>[21]</sup>, 鉴定化合物 **10** 为香橙素。

化合物 **11**: 浅黄色粉末, 溶于甲醇、氯仿。ESI-MS  $[\text{M}+\text{H}]^+$   $m/z$  319.115 9, 分子式为  $\text{C}_{17}\text{H}_{18}\text{O}_6$ 。 $^1\text{H}$ -NMR (500 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 7.03 (2H, m, H-2, 6), 6.66 (2H, m, H-3, 5), 6.06 (1H, s, H-5'), 3.80 (3H, s, 4'-OCH<sub>3</sub>), 3.59 (3H, s, 3'-OCH<sub>3</sub>), 3.27 (2H, dd,  $J$  = 8.5, 7.0 Hz, H- $\alpha$ ), 2.78 (2H, t,  $J$  = 7.7 Hz, H- $\beta$ );  $^{13}\text{C}$ -NMR (125 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 205.1 (C=O), 159.7 (C-4), 158.7 (C-4'), 155.4 (C-6'), 154.8 (C-2'), 131.5 (C-3'), 129.2 (C-2, 6), 128.5 (C-1), 115.1 (C-3, 5), 104.3 (C-1'), 91.3 (C-5'), 60.2 (4'-OCH<sub>3</sub>), 55.8 (3'-OCH<sub>3</sub>), 45.8 (C- $\alpha$ ), 29.3 (C- $\beta$ )。对比参考文献数据<sup>[22]</sup>, 鉴定化合物 **11** 为 4,2',6'-三羟基-3',4'-二甲氧基二氢查耳酮。

化合物 **12**: 无色结晶 (甲醇), 微溶于甲醇、氯仿。ESI-MS  $[\text{M}+\text{H}]^+$   $m/z$  273.110 4, 分子式为  $\text{C}_{16}\text{H}_{16}\text{O}_4$ 。 $^1\text{H}$ -NMR (500 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 7.27 (2H, m, H-2, 6), 7.25 (2H, m, H-3, 5), 7.17 (1H, m, H-4), 5.93 (2H, s, H-3', 5'), 3.71 (3H, s, 4'-OCH<sub>3</sub>), 3.33 (2H, t,  $J$  = 7.7 Hz, H- $\alpha$ ), 2.89 (2H, t,  $J$  = 7.7 Hz, H- $\beta$ );  $^{13}\text{C}$ -NMR (125 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 204.5 (C=O), 165.5 (C-4), 164.6 (C-2', 6'), 141.7 (C-1), 128.4 (C-2, 6), 128.3 (C-3, 5), 125.8 (C-4), 104.8 (C-1'), 93.1 (C-3', 5'), 55.3 (4'-OCH<sub>3</sub>), 45.1 (C- $\alpha$ ), 30.1 (C- $\beta$ )。对比参考文献数据<sup>[23]</sup>, 故鉴定化合物 **12** 为 2',6'-二羟基-4'-甲氧基二

氢查耳酮。

化合物 **13**: 无色油状物, 溶于甲醇、氯仿。ESI-MS  $[\text{M}+\text{H}]^+$   $m/z$  374.158 8, 分子式为  $\text{C}_{20}\text{H}_{23}\text{NO}_6$ 。 $^1\text{H}$ -NMR (500 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 7.51 (1H, d,  $J$  = 15.5 Hz, H-7), 6.87 (1H, d,  $J$  = 7.8 Hz, H-5'), 6.72 (2H, m, H-2, 6), 6.71 (1H, d,  $J$  = 2.0 Hz, H-2'), 6.70 (1H, d,  $J$  = 7.8, 2.0 Hz, H-6'), 6.18 (1H, d,  $J$  = 15.5 Hz, H-8), 3.90 (6H, s, 3, 5-OCH<sub>3</sub>), 3.87 (3H, s, 3'-OCH<sub>3</sub>), 3.63 (2H, q,  $J$  = 6.6 Hz, H-8'), 2.82 (2H, t,  $J$  = 6.9 Hz, H-7');  $^{13}\text{C}$ -NMR (125 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 166.1 (C-9), 147.3 (C-3, 5), 146.8 (C-3'), 144.4 (C-4'), 141.4 (C-7), 136.7 (C-4), 130.8 (C-1'), 126.4 (C-1), 121.5 (C-6'), 118.6 (C-8), 114.6 (C-5'), 111.4 (C-2'), 104.9 (C-2, 6), 56.5 (3, 5-OCH<sub>3</sub>), 56.1 (3'-OCH<sub>3</sub>), 41.0 (C-8'), 35.4 (C-7')。对比参考文献数据<sup>[24]</sup>, 鉴定化合物 **13** 为 *N-trans*-sinapoylmethoxytyramine。

化合物 **14**: 白色粉末, 溶于甲醇、氯仿。ESI-MS  $[\text{M}+\text{H}]^+$   $m/z$  298.141 8, 分子式为  $\text{C}_{18}\text{H}_{19}\text{NO}_4$ 。 $^1\text{H}$ -NMR (500 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 7.61 (1H, d,  $J$  = 15.6 Hz, H-8), 7.48 (2H, m, H-2, 6), 7.35 (3H, m, H-3~5), 6.81 (1H, d,  $J$  = 2.5 Hz, H-6'), 6.80 (1H, d,  $J$  = 8.0 Hz, H-5'), 6.70 (1H, d,  $J$  = 2.0 Hz, H-2'), 6.31 (1H, d,  $J$  = 15.6 Hz, H-7), 3.88 (3H, s, 3'-OCH<sub>3</sub>), 3.62 (2H, q,  $J$  = 6.6 Hz, H-8'), 2.79 (2H, t,  $J$  = 6.8 Hz, H-7');  $^{13}\text{C}$ -NMR (125 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 165.9 (C-9), 145.9 (C-4'), 145.5 (C-3'), 141.2 (C-7), 135.0 (C-1), 132.2 (C-1'), 128.9 (C-3, 5), 129.8 (C-4), 127.9 (C-2, 6), 120.8 (C-6'), 120.4 (C-8), 115.0 (C-5'), 111.0 (C-2'), 56.2 (3'-OCH<sub>3</sub>), 40.9 (C-8'), 35.1 (C-7')。对比参考文献数据<sup>[25]</sup>, 鉴定化合物 **14** 为 *N*-[2-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)ethyl]-3-phenyl-2-propenamide。

化合物 **15**: 白色粉末, 溶于甲醇、氯仿。ESI-MS  $[\text{M}+\text{H}]^+$   $m/z$  298.142 2, 分子式为  $\text{C}_{18}\text{H}_{19}\text{NO}_4$ 。 $^1\text{H}$ -NMR (500 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 7.53 (1H, d,  $J$  = 15.5 Hz, H-7), 7.33 (2H, t,  $J$  = 7.5 Hz, H-2', 6'), 7.24 (3H, m, H-3'~5'), 7.04 (1H, dd,  $J$  = 8.2, 1.9 Hz, H-6), 6.97 (1H, d,  $J$  = 1.9 Hz, H-2), 6.89 (1H, d,  $J$  = 8.2 Hz, H-5), 6.17 (1H, d,  $J$  = 15.5 Hz, H-8), 3.91 (3H, s, 3-OCH<sub>3</sub>), 3.66 (2H, q,  $J$  = 6.6 Hz, H-8'), 2.89 (2H, t,  $J$  = 6.9 Hz, H-7');  $^{13}\text{C}$ -NMR (125 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 166.2 (C-9), 147.5 (C-3), 146.8 (C-4), 141.2 (C-7), 139.1 (C-1'), 129.0 (C-3', 5'), 128.8 (C-2', 6'), 127.5 (C-1), 126.7 (C-4), 122.3 (C-6), 118.3 (C-8), 114.8 (C-5), 109.7 (C-2),

56.1 (3-OCH<sub>3</sub>), 40.9 (C-8'), 35.9 (C-7')。对比参考文献数据<sup>[26]</sup>, 鉴定化合物 **15** 为 (*E*)-3-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-*N*-phenethyl-acrylamide。

化合物 **16**: 白色粉末, 溶于甲醇。ESI-MS [M+H]<sup>+</sup> *m/z* 314.137 3, 分子式 C<sub>18</sub>H<sub>19</sub>NO<sub>4</sub>。<sup>1</sup>H-NMR (500 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>) δ: 7.30 (1H, d, *J* = 15.7 Hz, H-7), 7.10 (1H, d, *J* = 1.9 Hz, H-2), 7.01 (2H, d, *J* = 8.4 Hz, H-2', 6'), 6.97 (1H, dd, *J* = 8.2, 1.9 Hz, H-6), 6.78 (1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-5), 6.68 (2H, d, *J* = 8.6 Hz, H-3', 5'), 6.42 (1H, d, *J* = 15.7 Hz, H-8), 3.80 (3H, s, 3-OCH<sub>3</sub>), 3.31 (2H, t, *J* = 7.4 Hz, H-8'), 2.64 (2H, t, *J* = 7.4 Hz, H-7'); <sup>13</sup>C-NMR (125 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>) δ: 165.3 (C-9), 155.6 (C-4'), 147.8 (C-3), 148.3 (C-4), 138.9 (C-7), 129.5 (C-1, 2', 6'), 126.4 (C-1'), 121.5 (C-6), 119.0 (C-8), 115.7 (C-5), 115.1 (C-3', 5'), 110.7 (C-2), 55.5 (3-OCH<sub>3</sub>), 40.7 (C-8'), 34.4 (C-7')。对比参考文献数据<sup>[27]</sup>, 鉴定化合物 **16** 为 *N*-反式-阿魏酰基酪胺。

化合物 **17**: 白色粉末, 溶于甲醇。ESI-MS [M+H]<sup>+</sup> *m/z* 284.127 7, 分子式 C<sub>17</sub>H<sub>17</sub>NO<sub>3</sub>。<sup>1</sup>H-NMR (500 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>) δ: 7.37 (2H, d, *J* = 8.4 Hz, H-2, 6), 7.30 (1H, d, *J* = 15.7 Hz, H-7), 7.00 (2H, d, *J* = 8.2 Hz, H-2', 6'), 6.78 (2H, d, *J* = 8.4 Hz, H-3', 5'), 6.68 (2H, d, *J* = 8.2 Hz, H-3, 5), 6.39 (1H, d, *J* = 15.7 Hz, H-8), 3.31 (2H, m, H-8'), 2.64 (2H, t, *J* = 7.4 Hz, H-7'); <sup>13</sup>C-NMR (125 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>) δ: 165.8 (C-9), 158.9 (C-4), 155.7 (C-4'), 137.6 (C-7), 129.6 (C-1'), 129.3 (C-2), 128.6 (C-2'), 128.3 (C-6), 127.6 (C-6'), 126.7 (C-1), 119.2 (C-8), 115.8 (C-3'), 115.2 (C-3), 114.7 (C-5'), 114.8 (C-5), 40.8 (C-8'), 34.5 (C-7')。对比参考文献数据<sup>[28]</sup>, 鉴定化合物 **17** 为 *N*-反式-对香豆酰酪胺。

化合物 **18**: 白色粉末, 溶于甲醇。ESI-MS [M+H]<sup>+</sup> *m/z* 314.137 4, 分子式 C<sub>18</sub>H<sub>19</sub>NO<sub>4</sub>。<sup>1</sup>H-NMR (500 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>) δ: 8.09 (1H, t, *J* = 5.7 Hz, -NH), 7.71 (1H, d, *J* = 1.5 Hz, H-2), 7.11 (1H, dd, *J* = 8.2, 1.5 Hz, H-6), 7.00 (2H, d, *J* = 8.2 Hz, H-2', 6'), 6.73 (1H, d, *J* = 5.2 Hz, H-5), 6.69 (2H, d, *J* = 8.2 Hz, H-3', 5'), 6.50 (1H, d, *J* = 13.0 Hz, H-7), 5.78 (1H, d, *J* = 13.0 Hz, H-8), 3.74 (3H, s, 3-OCH<sub>3</sub>), 3.28 (2H, m, H-8'), 2.62 (2H, m, H-7'); <sup>13</sup>C-NMR (125 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>) δ: 166.2 (C-9), 155.6 (C-4'), 147.4 (C-3), 146.8 (C-4), 136.8 (C-7), 129.5 (C-1'), 129.4 (C-2', 6'), 126.8 (C-1), 124.3 (C-6), 121.0 (C-2), 115.1 (C-3', 5'), 114.8 (C-5), 114.2 (C-8), 55.5 (3-OCH<sub>3</sub>), 40.6 (C-8'), 34.3 (C-7')。对比参考文

献数据<sup>[29]</sup>, 鉴定化合物 **18** 为 *N*-*cis*-feruloyltyramine。

化合物 **19**: 白色粉末, 溶于甲醇。ESI-MS [M+H]<sup>+</sup> *m/z* 344.148 4, 分子式 C<sub>19</sub>H<sub>21</sub>NO<sub>5</sub>。<sup>1</sup>H-NMR (500 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>) δ: 8.09 (1H, t, *J* = 5.7 Hz, -NH), 7.70 (1H, d, *J* = 2.1 Hz, H-2), 7.10 (1H, dd, *J* = 8.2, 2.1 Hz, H-6), 6.75 (1H, d, *J* = 2.0 Hz, H-2'), 6.71 (1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-5), 6.67 (1H, d, *J* = 8.0 Hz, H-5'), 6.58 (1H, dd, *J* = 8.0, 2.0 Hz, H-6'), 6.49 (1H, d, *J* = 13.0 Hz, H-7), 5.77 (1H, d, *J* = 13.0 Hz, H-8), 3.74 (3H, s, 3-OCH<sub>3</sub>), 3.72 (3H, s, 3'-OCH<sub>3</sub>), 3.29 (2H, m, H-8'), 2.63 (2H, t, *J* = 7.5 Hz, H-7'); <sup>13</sup>C-NMR (125 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>) δ: 166.2 (C-9), 147.4 (C-4, 3'), 146.8 (C-3), 144.9 (C-4'), 136.8 (C-7), 130.2 (C-1'), 126.8 (C-1), 124.3 (C-6), 120.7 (C-8), 121.0 (C-6'), 115.3 (C-5'), 114.8 (C-5), 114.2 (C-2), 112.7 (C-2'), 55.5 (3, 3'-OCH<sub>3</sub>), 40.5 (C-8'), 34.6 (C-7')。对比参考文献数据<sup>[30]</sup>, 鉴定化合物 **19** 为 *cis*-*N*-feruloyl-3-*O*-methyldopamine。

化合物 **20**: 白色粉末, 溶于甲醇。ESI-MS [M+H]<sup>+</sup> *m/z* 625.679 6, 分子式 C<sub>36</sub>H<sub>36</sub>N<sub>2</sub>O<sub>8</sub>。<sup>1</sup>H-NMR (500 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>) δ: 7.24 (1H, s, H-4), 6.96 (2H, d, *J* = 8.2 Hz, H-2'', 6''), 6.86 (2H, d, *J* = 8.2 Hz, H-2''', 6'''), 6.84 (1H, s, H-5), 6.70 (1H, d, *J* = 2.0 Hz, H-2'), 6.66 (2H, d, *J* = 8.2 Hz, H-3''', 5'''), 6.63 (2H, d, *J* = 8.2 Hz, H-3'', 5''), 6.56 (1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-5'), 6.50 (1H, s, H-8), 6.26 (1H, dd, *J* = 8.2, 2.0 Hz, H-6'), 4.21 (1H, d, *J* = 2.3 Hz, H-1), 3.78 (3H, s, 6-OCH<sub>3</sub>), 3.68 (3H, s, 3'-OCH<sub>3</sub>), 3.60 (1H, d, *J* = 2.4 Hz, H-2), 3.23 (2H, m, H-α), 3.10 (2H, m, H-α'), 2.61 (2H, t, *J* = 7.6 Hz, H-β), 2.44 (2H, t, *J* = 7.2 Hz, H-β'); <sup>13</sup>C-NMR (125 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>) δ: 170.9 (C-2a), 167.6 (C-3a), 155.6 (C-4'', 4'''), 147.5 (C-6), 147.2 (C-3'), 146.3 (C-7), 145.0 (C-4'), 135.0 (C-1'), 131.7 (C-4), 131.3 (C-8a), 129.6 (C-1'', 1'''), 129.5 (C-2'', 6'', 2''', 6'''), 126.4 (C-3), 120.2 (C-4a), 119.6 (C-6'), 116.2 (C-5'), 115.1 (C-3'', 5'', 3''', 5'''), 115.0 (C-8), 111.8 (C-5), 111.4 (C-2'), 55.7 (6-OCH<sub>3</sub>), 55.6 (3'-OCH<sub>3</sub>), 47.8 (C-2), 44.9 (C-1), 41.2 (C-α), 40.9 (C-α'), 34.4 (C-β, β')。对比参考文献数据<sup>[31]</sup>, 鉴定化合物 **20** 为 cannabisin D。

化合物 **21**: 白色粉末, 溶于甲醇。ESI-MS [M+H]<sup>+</sup> *m/z* 295.072 3, 分子式 C<sub>14</sub>H<sub>14</sub>O<sub>7</sub>。<sup>1</sup>H-NMR (500 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>) δ: 7.56 (1H, d, *J* = 15.9 Hz, H-7), 7.04 (1H, s, H-2), 7.00 (1H, d, *J* = 8.1 Hz, H-6), 6.77 (1H, d, *J* = 8.1 Hz, H-5), 6.27 (1H, d, *J* = 15.9 Hz, H-8), 5.22

(1H, d,  $J = 4.0$  Hz, H-3'), 4.67 (1H, dd,  $J = 11.0, 4.0$  Hz, H-4'a), 4.27 (1H, dd,  $J = 11.0, 4.0$  Hz, H-4'b), 1.40 (3H, s, 5'-CH<sub>3</sub>); <sup>13</sup>C-NMR (125 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>)  $\delta$ : 177.2 (C-1'), 165.6 (C-9), 148.7 (C-4), 146.0 (C-7), 145.6 (C-3), 125.4 (C-1), 121.5 (C-6), 115.8 (C-2), 114.9 (C-5), 113.4 (C-8), 74.4 (C-3'), 71.8 (C-2'), 69.3 (C-4'), 22.0 (C-5')。对比参考文献数据<sup>[32]</sup>, 故化合物 **21** 鉴定为 3-咖啡酸酰基-2-甲基-*D*-赤藓糖酸-1,4-内酯。

化合物 **22**: 白色粉末, 溶于甲醇、氯仿。ESI-MS [M+H]<sup>+</sup>  $m/z$  441.149 9, 分子式为 C<sub>22</sub>H<sub>26</sub>O<sub>8</sub>。<sup>1</sup>H-NMR (500 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>)  $\delta$ : 6.58 (4H, s, H-2, 2', 6, 6'), 5.52 (2H, s, 4, 4'-OH), 4.73 (2H, d,  $J = 3.9$  Hz, H-7, 7'), 4.28 (2H, td,  $J = 6.6, 2.3$  Hz, H-9b, 9b'), 3.91 (2H, d,  $J = 3.2$  Hz, H-9a, 9a'), 3.90 (12H, s, 3, 3', 5, 5'-OCH<sub>3</sub>), 3.09 (2H, d,  $J = 4.0$  Hz, H-8, 8'); <sup>13</sup>C-NMR (125 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>)  $\delta$ : 147.3 (C-3, 3', 5, 5'), 134.4 (C-4, 4'), 132.2 (C-1, 1'), 102.8 (C-2, 2', 6, 6'), 86.2 (C-7, 7'), 71.9 (C-9, 9'), 56.5 (3, 3', 5, 5'-OCH<sub>3</sub>), 54.5 (C-8, 8')。对比参考文献数据<sup>[33]</sup>, 鉴定化合物 **22** 为 (-)-syringaresinol。

#### 4 抗炎活性测定

取对数增殖阶段的 RAW 264.7 细胞, 经计数后配制浓度为  $1 \times 10^6$  个/mL 的细胞悬浮液。以每孔 100  $\mu$ L 接种至 96 孔细胞培养板中, 置于 37  $^{\circ}$ C、5% CO<sub>2</sub> 培养箱中孵育 12 h 以确保细胞充分贴壁。实验设置 3 个组别: 空白对照组、炎症模型组 (LPS) 以及药物处理组。药物处理组每孔加入 10  $\mu$ L 等比稀释的待测样品溶液, 进行 1 h 的预处理。随后, 除空白对照组外, 其余各组均加入终质量浓度为 100 ng/mL LPS 溶液以建立炎症模型。将细胞继续培养 18 h, 最终收集各组细胞上清液。采用分光光度法在 540 nm 波长处测定各样本的吸光度 ( $A$ ) 值。通过标准曲线法将测得的  $A$  值转换为 NO 浓度, 进而计算不同药物浓度下的 NO 抑制率。采用 GraphPad Prism 软件, 通过非线性回归分析计算半数抑制浓度 (median inhibition concentration, IC<sub>50</sub>) 值。为确保实验数据的可靠性和可重复性, 所有实验均独立重复 3 次。

$$\text{NO 抑制率} = (A_{\text{模型}} - A_{\text{样品}}) / (A_{\text{模型}} - A_{\text{对照}})$$

实验结果显示, 以抑制剂 *L*-NMMA 为阳性药, 其 IC<sub>50</sub> 为 (24.5 $\pm$ 2.1)  $\mu$ mol/L。化合物 **5**、**9**、**10**、**12**、**13**、**15**、**16** 表现出抗炎活性, 其 IC<sub>50</sub> 值分别为

(11.88 $\pm$ 3.05)、(15.10 $\pm$ 1.18)、(32.03 $\pm$ 1.51)、(25.23 $\pm$ 2.89)、(16.97 $\pm$ 2.76)、(31.42 $\pm$ 2.14)、(21.67 $\pm$ 1.92)  $\mu$ mol/L。其余化合物 IC<sub>50</sub> 值均大于 50  $\mu$ mol/L, 无明显活性。

#### 5 构效关系分析

实验数据表明, 化合物 **5**、**9**、**13**、**16** 表现出显著抗炎活性, 化合物 **10**、**12** 表现出一般抗炎活性。其中化合物 **5**、**9**、**10** 为二氢黄酮类, 表明甲氧基活性优于游离羟基, 且游离酚羟基数量越多活性越弱。此外, 化合物 **1**~**4** 均无明显活性, 表明二氢黄酮骨架的 C 环饱和性和非糖基化形式对活性至关重要。化合物 **6**~**8** 为二氢黄酮其他取代类型均未显示活性, 进一步说明甲氧基可增强活性。化合物 **11** 和 **12** 为二氢查耳酮类, 化合物 **12** 活性与阳性药相当, 而化合物 **11** 无明显活性。表明 B 环的 2',6'-二羟基是活性必需基团。与二氢黄酮类相比, 二氢查耳酮的活性普遍较弱, 表明 C 环的存在对抗炎活性有增强作用。化合物 **13** 和 **16** 为酰胺类, 且具有 *N*-反式-酰基酰胺骨架, 活性优于阳性药。化合物 **13** 酰基部分多 1 个甲氧基, 活性略强于 **16**, 表明活性随着苯环上甲氧基数量增加而增强。其余酰胺类化合物均无明显活性, 进一步证实反式构型、酰胺部分的 4-酚羟基以及阿魏酰基是该类化合物发挥抗炎活性的关键。

#### 6 讨论

瓜馥木属植物在民间医药中具有悠久的历史, 其资源丰富且药理活性显著。其中, 排骨灵作为该属的重要代表, 长期被用于治疗跌打损伤与骨折等疾病。本研究对排骨灵进行了系统的化学成分研究, 共分离得到 22 个化合物, 主要包括 12 个黄酮类化合物和 8 个酰胺类化合物。并采用 LPS 诱导的 RAW 264.7 巨噬细胞炎症模型, 对 22 个目标化合物进行了系统的抗炎活性评价, 并分析相关构效关系。综上所述, 黄酮类和酰胺类化合物是该物种的主要代谢类型, 这一发现与瓜馥木属的化学特征一致, 也为该属植物的化学指纹图谱构建与药材真伪鉴别提供了基础数据。同时抗炎活性的筛选直接为排骨灵民间传统用药提供了科学依据, 初步阐释了其药用物质基础, 为后续基于这些骨架的结构优化和抗炎药物开发提供了参考。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

[1] Xue J F, Jia Y Y, Lei J W, et al. Cinnamoylphenethyl

- amides from *Fissistigma bracteolatum* and their anti-inflammatory activities [J]. *Nat Prod Res*, 2025, 9: 1-6.
- [2] 谢金龙, 杨志强, 谢甜甜, 等. 瓜馥木属植物化学成分及药理活性研究进展 [J]. 当代医药论丛, 2025, 23(23): 14-16.
- [3] 金晨, 张凌, 陈佳倩, 等. 瓜馥木属植物化学成分及药理作用研究进展 [J]. 中成药, 2020, 42(10): 2699-2708.
- [4] 刘会珍, 陈佳倩, 金晨, 等. 瑶药长柄瓜馥木的化学成分及抗痛风作用的网络药理学 [J]. 南昌大学学报: 理科版, 2022, 46(6): 630-639.
- [5] 宋吉, 戴伟锋, 向诚, 等. 小萼瓜馥木枝叶乙醇提取物石油醚部分的化学成分 [J]. 植物资源与环境学报, 2020, 29(3): 72-74.
- [6] 曾立, 向荣, 傅春燕. 瓜馥木抗肿瘤活性研究 [J]. 广东化工, 2017, 44(11): 55-56.
- [7] 傅春燕, 刘永辉, 杨林, 等. 大孔树脂纯化瓜馥木总黄酮工艺及抗抑郁活性研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2015, 27(8): 1441-1447.
- [8] 傅春燕, 刘永辉, 周中流, 等. 瓜馥木总生物碱及3个阿朴菲类生物碱的抑菌活性研究 [J]. 河南农业科学, 2010, 39(4): 70-72.
- [9] 张洁, 余世平, 舒坤, 等. 瓜馥木碱甲的提取及镇痛作用研究 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2015(11): 205-206.
- [10] Lien T P, Porzel A, Schmidt J, et al. Chalconoids from *Fissistigma bracteolatum* [J]. *Phytochemistry*, 2000, 53(8): 991-995.
- [11] Wu Y C, Chang F R, Hwang T L, et al. Potential anti-inflammatory activities of bractelactone and other compounds isolated from *Fissistigma bracteolatum* [J]. *Helv Chim Acta*, 2005, 88(4): 1062-1068.
- [12] 海萍, 高原, 李蓉涛, 等. 乌药的化学成分研究 [J]. 中草药, 2016, 47(6): 872-875.
- [13] 向康林, 韩庆通, 赵琳, 等. 粘毛黄芩全草的化学成分研究 [J]. 中草药, 2019, 50(24): 5917-5923.
- [14] 冯军, 张颖, 胡仁传, 等. 方枝守宫木中黄酮类化学成分及其体外抗氧化活性研究 [J]. 中草药, 2025, 56(10): 3417-3425.
- [15] 赵建军, 李战国, 丁茜, 等. 大发表的化学成分研究 [J]. 中草药, 2024, 55(7): 2152-2159.
- [16] 蒋坤. 傣药黑风藤化学成分研究 [D]. 天津: 天津理工大学, 2023.
- [17] 张航旗. 头序瓜馥木化学成分及其抗类风湿关节炎活性研究 [D]. 海口: 海南师范大学, 2017.
- [18] Nakajima A, Yamamoto Y, Yoshinaka N, et al. A new flavanone and other flavonoids from green *Perilla* leaf extract inhibit nitric oxide production in interleukin 1 $\beta$ -treated hepatocytes [J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2015, 79(1): 138-146.
- [19] Prawat U, Chairerk O, Lenthas R, et al. Two new cycloartane-type triterpenoids and one new flavanone from the leaves of *Dasymaschalon dasymaschalum* and their biological activity [J]. *Phytochem Lett*, 2013, 6(2): 286-290.
- [20] Ragab E A, Raafat M. A new monoterpene glucoside and complete assignments of dihydroflavonols of *Pulicaria jaubertii*: Potential cytotoxic and blood pressure lowering activity [J]. *Nat Prod Res*, 2016, 30(11): 1280-1288.
- [21] 焦志林, 刘涛, 唐琍萍, 等. 山竹子茎叶化学成分的研究 [J]. 中药材, 2024, 47(3): 629-633.
- [22] Li Y, Meselhy M R, Wang L Q, et al. Biotransformation of a C-glycosylflavone, abrusin 2-O-beta-D-apioside, by human intestinal bacteria [J]. *Chem Pharm Bull*, 2000, 48(8): 1239-1241.
- [23] 王冬雨, 张妮, 娄华勇, 等. 黔产草珊瑚中1个新的木脂素化合物及其抗神经炎活性 [J]. 中草药, 2024, 55(22): 7575-7582.
- [24] Tanaka H, Yatsuhashi S, Yasuda T, et al. A new amide from the leaves and twigs of *Litsea auriculata* [J]. *J Nat Med*, 2009, 63(3): 331-334.
- [25] Liu H, Yang H, Su B L, et al. Chemical constituents from *Dendrobium huoshanense* and their chemotaxonomic significance [J]. *Biochem. Syst. Ecol*, 2025, 120: 104978.
- [26] 赵培, 宫凯敏, 刘水林, 等. 鹰爪花中新阿朴菲和酰胺类生物碱及其细胞毒活性研究 [J]. 中草药, 2025, 56(2): 401-407.
- [27] 沈莉, 戴胜军, 赵大洲. 知母中的生物碱 [J]. 中国中药杂志, 2007, 32(1): 39-41.
- [28] 王梦桐. 高粱乌莨化学及抗肠炎活性研究 [D]. 长春: 长春中医药大学, 2023.
- [29] 陈芳有, 陈俊杰, 周健, 等. 及己根的化学成分研究 [J]. 中草药, 2015, 46(20): 3004-3008.
- [30] Yao Y, Jiang C S, Sun N, et al. Tamaractam, a new bioactive lactam from *Tamarix ramosissima*, induces apoptosis in rheumatoid arthritis fibroblast-like synoviocytes [J]. *Molecules*, 2017, 22(1): 96.
- [31] 杨建波, 高慧宇, 王雪婷, 等. 何首乌中1个新的木脂素酰胺类化合物 [J]. 中草药, 2021, 52(18): 5475-5482.
- [32] 陈金铭, 庄鹏宇, 赵丽薇, 等. 银杏种子化学成分研究 [J]. 辽宁中医药大学学报, 2015, 17(8): 46-49.
- [33] 吴洋洋, 李江龙, 白玉薇, 等. 红芪的化学成分研究 [J]. 中草药, 2024, 55(19): 6482-6495.

[责任编辑 王文倩]