

## 圆叶乌柏的化学成分\*

陈佳倩, 崔清雅, 吴雷名, 陈贤安, 郑冰莹, 黄冬, 唐贵华

中山大学药学院, 广东 广州 510006

**摘要:** 采用硅胶柱、凝胶 Sephadex LH20 柱、*p*-HPLC 等多种色谱法对圆叶乌柏(*Triadica rotundifolia*)乙醇提取物的乙酸乙酯部位进行分离纯化, 共从中获得 23 个化合物。运用核磁等波谱法并结合文献数据对比分析对分离得到的单体化合物进行结构鉴定, 分别确定为飞龙掌血内酯酮(1)、飞龙掌血内酯(2)、菝葜亭(3)、6,7-二甲氧基香豆素(4)、6,7,8-三甲氧基香豆素(5)、8-羟基-5,6,7-三甲氧基香豆素(6)、5,6,7,8-四甲基香豆素(7)、lup-20(29)-ene-3 $\alpha$ ,23-diol(8)、算盘子酮(9)、3 $\beta$ -*O*-*trans*-caffeoylbetulinic acid(10)、oleana-1,18-dien-3-one(11)、morolic acid acetate(12)、 $\beta$ -谷甾醇(13)、胡萝卜苷(14)、6-hydroxystigmast-4-en-3-one(15)、oleodaphnone(16)、5'-甲氧基川陈皮素(17)、trigonochinene E(18)、没食子酸乙酯(19)、瑞香毒素 B(20)、(+)-3-hydroxy-1,5-diphenyl-1-pentanone(21)、5-hydroxy-3,4-dimethyl-5-pentylfuran-2(5*H*)-one(22)和吲哚-3-甲醛(23)。已知化合物 1~23 均为首次从圆叶乌柏中分离得到。对分离得到的所有单体化合物进行初步细胞毒活性筛选, 结果显示化合物 8 和 18 对非小细胞肺癌细胞 H1975 具有中等强度的细胞毒活性, 其 IC<sub>50</sub> 值分别为 (13.97  $\pm$  0.40) 和 (26.61  $\pm$  1.81)  $\mu$ mol/L。

**关键词:** 圆叶乌柏(*Triadica rotundifolia*); 化学成分; 细胞毒

中图分类号: O629.9 文献标志码: A 文章编号: 2097-0137(2025)03-0001-11

### The chemical constituents of *Triadica rotundifolia*

CHEN Jiaqian, CUI Qingya, WU Leiming, CHEN Xian'an,  
ZHENG Bingying, HUANG Dong, TANG Guihua

School of Pharmaceutical Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China

**Abstract:** In this study, a total of 23 compounds were obtained from the ethyl acetate part of *Triadica rotundifolia* by various chromatographic methods such as silica gel, Sephadex LH20, and *p*-HPLC column chromatography. Their structures were identified by NMR spectroscopy combined with comparative analysis with literature data as known compounds: toddanone (1), toddalolactone (2), scopoletin (3), 6,7-dimethoxycoumarin (4), 6,7,8-trimethoxycoumarin (5), 8-hydroxy-5,6,7-trimethoxycoumarin (6), 5,6,7,8-tetramethoxycoumarin (7), lup-20(29)-ene-3 $\alpha$ ,23-diol (8), glochidone (9), 3 $\beta$ -*O*-*trans*-caffeoylbetulinic acid (10), oleana-1,18-dien-3-one (11), morolic acid acetate (12),  $\beta$ -sitosterol (13), daucosterol (14), 6-hydroxystigmast-4-en-3-one (15), oleodaphnone (16), 5'-methoxynobiletin (17), trigonochinene E (18), ethyl gallate (19), daphnelantoxin B (20), (+)-3-hydroxy-1,5-diphenyl-1-pentanone (21), 5-hydroxy-3,4-dimethyl-5-pentylfuran-2(5*H*)-one (22), and indole-3-carbaldehyde (23). Compounds 1-23 were isolated from *T. rotundifolia* for the first time. In addition, activity screening revealed that compounds 8 and 18 showed moderate cytotoxicity to H1975

\* 收稿日期: 2024-10-29

录用日期: 2024-12-26

网络首发日期: 2025-01-20

基金项目: 广州市科技计划项目(2024B03J1322); 广东省科技计划项目(2023A1111120025)

作者简介: 陈佳倩(1998年生), 女; 研究方向: 天然药物化学; E-mail: chenjq228@mail2.sysu.edu.cn

通信作者: 唐贵华(1983年生), 男; 研究方向: 天然药物化学; E-mail: tanggh5@mail.sysu.edu.cn

全文阅读



ZR20240314

cells, with  $IC_{50}$  values of  $(13.97 \pm 0.40) \mu\text{mol/L}$  and  $(26.61 \pm 1.81) \mu\text{mol/L}$ , respectively.

**Key words:** *Triadica rotundifolia*; chemical constituents; cytotoxicity

大戟科(Euphorbiaceae)乌柏属(*Triadica*)植物资源较为丰富,全球共有约120种,其中9种在中国有分布,且主要分布于黄河以南各省区(张君,2015)。其中乌柏[*T. sebifera*(L.)Small]在我国已有上千年的药用历史,其根、树皮、叶和种子作为传统中药或民族药物已记录于多部古籍,如《新修本草》《本草纲目》和《植物名实图考》等(彭小列等,2008;金久宁等,2014)。乌柏的药理功能很广泛,在《唐本草》和《本草纲目》中就有记载,乌柏可用于治疗湿疹、疱疹、水肿、肿胀、腹水和蛇咬伤;另外乌柏叶还可用于治疗“吃牛、马、六种动物的肉而肿胀死亡”的病症,现也将其作为一种抗炎药物、利尿剂和杀虫药物使用(黄斌学等,2004;徐跃平等,2010;Fu et al.,2013)。

前期已对乌柏属多种植物进行了系统的化学成分研究,明确了萜类、香豆素类、黄酮类以及脂肪酸类是乌柏属植物的主要化学成分类型(He et al.,2021;Liu et al.,1988;漆淑华等,2004)。据统计,从乌柏属植物中分离鉴定了259个天然产物(其中包括123个萜类、54个苯丙素类和21个黄酮等),且萜类和苯丙素类是其结构类型较多的化学成分(He et al.,2021;Vu et al.,2017)。在生物活性方面,乌柏属植物中的单体成分(如苯丙素类、黄酮类、萜类等)在多种筛选模型上表现出良好的生物功能,例如:抗菌(陈国华等,2007;Fu et al.,2015;McFeeters et al.,2012;Vu et al.,2017)、抗氧化(Fu et al.,2013;Fu et al.,2020)、抗炎(Ighodaro et al.,2017)、抗糖尿病活性(Ighodaro et al.,2017)、解热镇痛(Panthong et al.,1998)、降压作用(陈国华等,2007)、细胞毒性(Sakata,1971)、抗病毒(Ohigashi et al.,1983)等。另外,一些研究阐明了乌柏属植物的提取物在民间应用的药效基础。例如,通过对乌柏的叶子提取物的抗菌活性研究,发现其叶提取物可以抑制大肠杆菌,这与其在湖南和广西壮族自治区作为民族药能够治疗由大肠杆菌引起的腹泻的应用具有一致性,也解析了其民间应用的合理性(Chaudhary et al.,2011)。以上研究表明乌柏属植物资源可为药物研发提供重要的物质基础。

近年来,课题组一直关注大戟科药用植物资源中的活性成分,发现了一些具有显著抗肿瘤活性的先导分子(Hu et al.,2022;Huang et al.,2022;Huang

et al.,2023)。目前对大戟科乌柏属植物圆叶乌柏[*T. rotundifolia*(Hemsl.)Esser]的传统功效验证及其药效物质基础的研究较少(Zhao et al.,2020;Zhao et al.,2021)。因此本课题以乌柏属植物圆叶乌柏为研究对象,系统开展了其乙醇提取物的乙酸乙酯萃取部位的化学成分研究,同时对所分离的化合物进行细胞毒活性评价,以期发现具有抗肿瘤活性先导分子,通过研究进一步阐明圆叶乌柏的活性物质基础,为拓宽圆叶乌柏的临床应用提供参考。

## 1 实验部分

### 1.1 仪器与试剂

$C_{18}$ 反相硅胶(日本YMC公司)、色谱填料为GF254薄层色谱硅胶以及300-400目的柱层析硅胶(青岛海洋化工厂)、Sephadex LH-20(美国通用电气公司);岛津LC-20AT液相色谱仪(日本岛津);半制备柱为Phenomenex Lux cellulose-2(250 mm × 10 mm, S-5  $\mu\text{m}$ , 12 nm)、YMC-pack ODS-A(250 mm × 10 mm, S-5  $\mu\text{m}$ , 12 nm)(日本YMC公司)和NanoChrom ChromCoreTM 5-120  $C_{18}$  column(250 mm × 10 mm, S-5  $\mu\text{m}$ , 12 nm)(苏州纳谱分析技术有限公司),色谱溶剂为色谱纯乙腈(GRACE);分析纯乙醇、甲醇、石油醚、二氯甲烷和乙酸乙酯(天津大茂化学试剂厂),氘代试剂为 $CD_3OD$ (阿拉丁)、 $CDCl_3$ (阿拉丁)、 $DMSO-d_6$ (阿拉丁)、 $pyridine-d_5$ (青岛腾龙微波科技有限公司);AvanceIII-400和Ascend TM-500 MHz核磁共振仪(瑞士Bruker公司);旋光仪Autopol I(美国鲁道夫公司);LCMS-IT-TOF质谱仪(日本Shimadzu公司);FLUOstar Omega多功能酶标仪(德国BMG公司)。

### 1.2 植物来源

植物材料于2021年6月采购自广西壮族自治区桂林市,经中山大学药学院唐贵华副教授鉴定其为圆叶乌柏的根,凭证标本(编号为YPBS-202106)保存于中山大学药学院天然药物化学实验室。

### 1.3 提取与分离

干燥的圆叶乌柏根(10.0 kg)经过粉碎后,用50 L的 $\varphi = 95\%$ 乙醇进行室温浸泡提取,每次7 d,提取3次。将3次乙醇的浸取液经减压浓缩,合并得总浸膏(545.58 g),随后用水将浸膏充分混悬,再依次用石油醚(5 L×3)和乙酸乙酯(5 L×3)进行萃取,分别得到67.80 g石油醚萃取部位和73.94 g乙酯萃取部位。乙

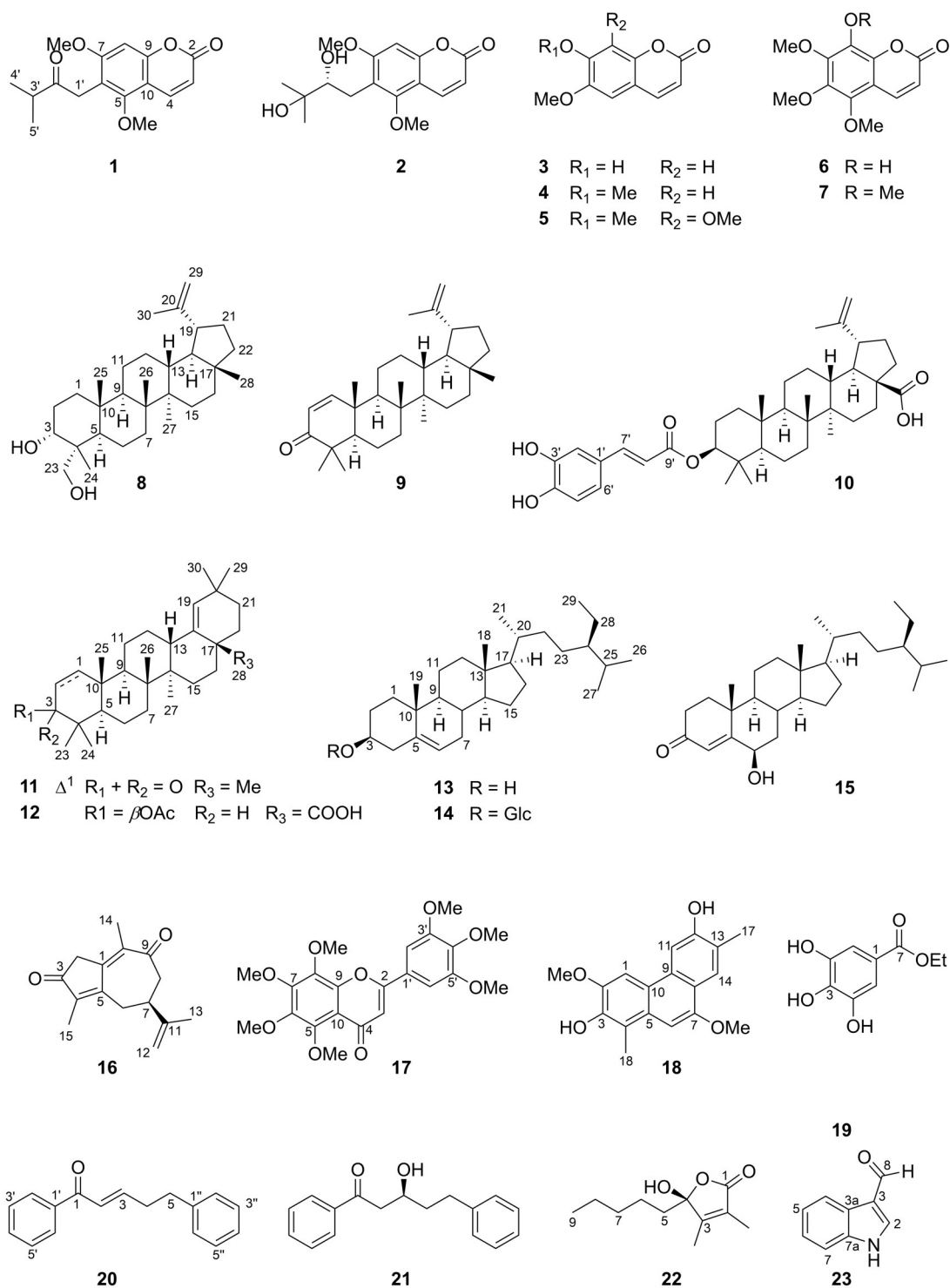


图1 化合物1~23的结构

Fig. 1 The structure of compounds 1-23

酸乙酯部位首先经正相硅胶柱进行粗分, 用石油醚: 乙酸乙酯( $V:V$ , 500:1 $\rightarrow$ 0:1)梯度洗脱, 馏分经TLC检测划分成10个组分, 分别为Fr.A~Fr.J, 然后再对各个组分反复进行各种色谱手段纯化。

组分Fr.C(7.80 g)上样于 $C_{18}$ 反相硅胶柱, 用甲

醇:水( $V:V$ , 2:8 $\rightarrow$ 10:0)进行梯度洗脱, 得5个小组分(Fr.C.1~Fr.C.5)。其中Fr.C.3(406.5 mg)经过Sephadex LH-20凝胶柱色谱(洗脱剂为纯甲醇, 下同)后, 得到Fr.C.3.A~Fr.C.3.C, 对Fr.C.3.C(230.5 mg)进行 $p$ -HPLC色谱[Phenomenex Lux

cellulose-2, 250 mm × 10 mm, S-5 μm, 3 mL/min, 乙腈:水(*V:V*)= 8:2]纯化制备得化合物 **20**(14.93 mg,  $t_R = 9.27$  min)和 **21**(12.39 mg,  $t_R = 11.48$  min)。小组分 Fr.C.4(873.5 mg)上样于正相硅胶柱,用石油醚:乙酸乙酯(*V:V*, 500:1→0:1)进行梯度洗脱,得到 Fr.C.4.A~Fr.C.4.E,随后用 *p*-HPLC 色谱[Nanochrom 250 mm × 10 mm, S-5 μm, 3 mL/min, 乙腈:水(*V:V*)= 7:3]从 Fr.C.4.C(165.2 mg)纯化制备获得化合物 **23**(8.62 mg,  $t_R = 17.51$  min)。

组分 Fr.D(3.60 g)利用 Sephadex LH-20 凝胶柱色谱(甲醇)获得 5 个小组分(Fr.D.1~Fr.D.5)。其中 Fr.D.2(209.6 mg)再通过正相硅胶柱[二氯甲烷:甲醇(*V:V*, 100:1→30:1)]梯度洗脱分离得化合物 **10**(59.71 mg)。化合物 **8**(16.76 mg,  $t_R = 18.32$  min)和 **9**(26.53 mg,  $t_R = 22.52$  min)则是采用 *p*-HPLC 色谱[Nanochrom 250 mm × 10 mm, S-5 μm, 3 mL/min, 乙腈:水(*V:V*)= 7.5:2.5]从 Fr.D.3(309.6 mg)纯化制备得到。同样地,用 *p*-HPLC 色谱[YMC-pack ODS-A, 250 mm × 10 mm, S-5 μm, 3 mL/min, 乙腈:水(*V:V*)= 8:2]从 Fr.D.5(63.5 mg)中分离纯化得化合物 **16**(8.92 mg,  $t_R = 16.03$  min)。

组分 Fr.E(6.20 g)通过  $C_{18}$  反相硅胶柱色谱[采用甲醇:水(*V:V*, 3:7→10:0)梯度洗脱方式]得到 Fr.E.1~Fr.E.6。其中 Fr.E.2(427.8 mg)经 Sephadex LH-20 凝胶柱(甲醇)分离后,得到 Fr.E.2.A~Fr.E.2.D 和化合物 **7**(102.71 mg)。然后采用 *p*-HPLC 色谱[Phenomenex Lux cellulose-2, 250 mm × 10 mm, S-5 μm, 乙腈:水(*V:V*)= 4.5:5.5, 3 mL/min]对 Fr.E.2.B(149.33 mg)进行纯化,获得化合物 **1**(21.11 mg,  $t_R = 14.31$  min)和 **12**(13.41 mg,  $t_R = 21.23$  min)。同样地,化合物 **22**(2.42 mg,  $t_R = 15.21$  min)是由 Fr.E.2.C(71.24 mg)经 *p*-HPLC 色谱[Nanochrom 250 mm × 10 mm, S-5 μm, 3 mL/min, 乙腈:水(*V:V*)= 6:4]分离纯化所得。

组分 Fr.F(10.70 g)经  $C_{18}$  反相硅胶柱[甲醇:水(*V:V*, 2:7→10:0)]梯度洗脱得到 Fr.F.1~Fr.F.7。其中 Fr.F.4(1.8 g)通过 Sephadex LH-20 凝胶柱色谱(甲醇)分离得 Fr.F.4.A~Fr.F.4.E 和化合物 **14**(53.61 mg)。Fr.F.4.B(249.33 mg)再进一步用 *p*-HPLC 色谱[Phenomenex Lux cellulose-2, 250 mm × 10 mm, S-5 μm, 3 mL/min, 乙腈:水(*V:V*)= 7:3]纯化,获得化合物 **13**(25.34 mg,  $t_R = 16.31$  min)。Fr.F.5(352 mg)再经 Sephadex LH-20 凝胶柱(甲醇)及 *p*-HPLC 色谱[Phenomenex Lux cellulose-2, 250 mm ×

10 mm, S-5 μm, 3 mL/min, 乙腈:水(*V:V*)= 8:2]后得化合物 **11**(8.75 mg,  $t_R = 19.21$  min)。

组分 Fr.G(5.70 g)上样于  $C_{18}$  反相硅胶柱,采用甲醇:水(*V:V*, 2:8→10:0)进行梯度洗脱,获得 7 个小组分(Fr.G.1~Fr.G.7)。其中 Fr.G.2(310.9 mg)经 Sephadex LH-20 凝胶柱色谱(甲醇)得到 Fr.G.2.A~Fr.G.2.D,而后,利用重结晶的方法对 Fr.G.2.C 进行纯化,获得化合物 **3**(67.72 mg)。而 Fr.G.3(709.6 mg)则采用正相硅胶柱[石油醚:乙酸乙酯(*V:V*, 500:1→0:1)]梯度洗脱,得到 5 个小组分(Fr.G.3.A~Fr.G.3.E)。其中 Fr.G.3.C(305.4 mg)经 *p*-HPLC 色谱[YMC-pack ODS-A, 250 mm × 10 mm, S-5 μm, 3 mL/min, 乙腈:水(*V:V*)= 4.5:5.5]分离纯化得化合物 **6**(27.83 mg,  $t_R = 18.10$  min)。

组分 Fr.H(4.1 g)通过 Sephadex LH-20 凝胶柱色谱(甲醇)获得 6 个小组分(Fr.H.1~Fr.H.6)。而后将 Fr.H.2(727.8 mg)上样于正相硅胶柱,利用[石油醚:乙酸乙酯(*V:V*, 500:1→0:1)]梯度洗脱,得到 Fr.H.2.A~Fr.H.2.C 和化合物 **2**(53.8 mg)。Fr.H.2.C(230.5 mg)再进一步通过 *p*-HPLC 色谱[Phenomenex Lux cellulose-2, 250 mm × 10 mm, S-5 μm, 3 mL/min, 乙腈:水(*V:V*)= 4.5:5.5]纯化制备得到化合物 **4**(40.11 mg,  $t_R = 13.36$  min)。

组分 Fr.I(3.9 g)通过  $C_{18}$  反相硅胶柱[甲醇:水(*V:V*, 2:8→10:0)]梯度洗脱的方式获得 5 个小组分(Fr.I.1~Fr.I.5)。其中 Fr.I.2(753.6 mg)先经 Sephadex LH-20 凝胶柱(甲醇)分离后,再利用重结晶法进一步纯化获得化合物 **17**(165.7 mg)。Fr.I.3(862.7 mg)上样于正相硅胶柱,利用[二氯甲烷:甲醇(*V:V*, 200:1→30:1)]进行梯度洗脱,得到 Fr.I.3.A~Fr.I.3.D。利用 *p*-HPLC 色谱[Nanochrom 250 mm × 10 mm, S-5 μm, 3 mL/min, 乙腈:水(*V:V*)= 4.5:5.5]进一步从 Fr.I.3.D(143.5 mg)中纯化获得化合物 **18**(15.97 mg,  $t_R = 18.11$  min)和 **19**(16.58 mg,  $t_R = 19.23$  min)。

#### 1.4 细胞毒活性测试

在非小细胞肺癌细胞 H1975 模型上利用 CCK-8 检测法测定化合物的细胞毒性。具体操作简述如下:取对数生长期的 H1975 细胞,经消化后按 3 000 个/孔的密度接种于 96 孔板中,置于在  $CO_2$  培养箱(温度为 37 °C,  $\phi_{CO_2} = 5\%$ )中过夜培养;随后给药,给药组以 40 μmol/L 为起始浓度,以倍半稀释法设置 6 组浓度梯度,每组梯度取 3 组重复孔;加 DMSO 设置为空白对照组,吉非替尼(Gefitinib)

为阳性对照组。药物处理 72 h 后, 以 10  $\mu\text{L}$ /孔的体积向 96 孔板中加入 CCK-8 试剂; 然后在  $\text{CO}_2$  培养箱(条件同上)中再孵育 1.5 h; 最后利用多功能酶标仪在 450 nm 下测定吸光值(平行测试 3 次), 并用 GraphPad Prism 9 软件计算  $\text{IC}_{50}$  值。

## 2 结果与讨论

### 2.1 结构鉴定

化合物 1: 白色粉末,  $\text{MS}(m/z\ 210.1\ [\text{M}+\text{H}]^+)$ , 分子式为  $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{O}_5$ 。其核磁数据如下:  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta_{\text{H}}$  8.06(1H, d,  $J = 9.6$  Hz, H-4), 6.81(1H, s, H-8), 6.29(1H, d,  $J = 9.6$  Hz, H-3), 3.90(2H, s, H-1'), 3.88(3H, s, 7-OCH<sub>3</sub>), 3.81(3H, s, 5-OCH<sub>3</sub>), 2.89(1H, m, H-3'), 1.19(3H, s, H-4'), 1.18(3H, s, H-5');  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta_{\text{C}}$  214.5(C, C-2'), 163.2(C, C-2), 163.1(C, C-7), 157.6(C, C-5), 156.8(C, C-9), 140.9(CH, C-4), 116.2(C, C-6), 113.0(CH, C-3), 108.4(C, C-10), 96.4(CH, C-8), 63.9(CH<sub>3</sub>, 5-OCH<sub>3</sub>), 56.8(CH<sub>3</sub>, 7-OCH<sub>3</sub>), 41.8(CH, C-3'), 36.7(CH<sub>2</sub>, C-1'), 18.8(CH<sub>3</sub>  $\times$  2, C-5'/C-4')。通过与 Song et al. (2024) 所报道的光谱数据对比分析, 上述 NMR 数据与已知化合物飞龙掌血内酯酮(toddanone)的数据基本一致, 由此确定化合物 1 为飞龙掌血内酯酮。

化合物 2: 白色粉末,  $[\alpha]_{\text{D}}^{25} + 36.0^\circ$  ( $c$  0.1, MeCN),  $\text{MS}(m/z\ 279.1\ [\text{M}+\text{H}]^+)$ , 分子式为  $\text{C}_{15}\text{H}_{18}\text{O}_5$ 。其核磁数据如下:  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta_{\text{H}}$  8.05(1H, d,  $J = 9.6$  Hz, H-3), 6.79(1H, s, H-8), 6.25(1H, d,  $J = 9.6$  Hz, H-4), 3.93(3H, s, 7-OCH<sub>3</sub>), 3.91(3H, s, 5-OCH<sub>3</sub>), 3.67(1H, m, H-2'), 2.89(2H, d,  $J = 6.4$  Hz, H-1'), 1.28(3H, s, H-4'), 1.27(3H, s, H-5');  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta_{\text{C}}$  163.8(C, C-2), 163.4(C, C-7), 157.8(C, C-9), 156.2(C, C-5), 141.3(CH, C-4), 120.3(C, C-6), 112.6(CH, C-3), 108.4(C, C-10), 96.3(CH, C-8), 78.2(CH, C-2'), 74.1(C, C-3'), 63.8(CH<sub>3</sub>, 5-OCH<sub>3</sub>), 56.7(CH<sub>3</sub>, 7-OCH<sub>3</sub>), 27.1(CH<sub>2</sub>, C-1'), 25.5(CH<sub>3</sub>, C-5'), 25.4(CH<sub>3</sub>, C-4')。通过与杨婷婷等(2013)所报道的光谱数据对比分析, 上述 NMR 数据与已知化合物飞龙掌血内酯(toddalolactone)的数据基本一致, 由此确定化合物 2 为飞龙掌血内酯。

化合物 3: 淡黄色粉末,  $\text{MS}(m/z\ 193.0\ [\text{M}+\text{H}]^+)$ , 分子式为  $\text{C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4$ 。其核磁数据如下:  $^1\text{H}$  NMR (500 MHz,  $\text{DMSO}-d_6$ )  $\delta_{\text{H}}$  7.84(1H, d,  $J = 9.4$  Hz,

H-4), 7.15(1H, s, H-5), 6.71(1H, s, H-8), 6.14(1H, d,  $J = 9.4$  Hz, H-3), 3.74(3H, s, 6-OCH<sub>3</sub>);  $^{13}\text{C}$  NMR (125 MHz,  $\text{DMSO}-d_6$ )  $\delta_{\text{C}}$  160.8(C, C-2), 151.2(C, C-7), 149.6(C, C-9), 145.3(C, C-6), 144.6(CH, C-4), 111.7(CH, C-3), 110.6(C, C-5), 109.6(C, C-10), 102.8(C, C-8), 56.1(CH<sub>3</sub>, 6-OCH<sub>3</sub>)。通过与卢汝梅等(2016)所报道的光谱数据对比分析, 上述 NMR 数据与已知化合物莨菪亭(scopoletin)的数据基本一致, 由此确定化合物 3 为莨菪亭。

化合物 4: 白色粉末,  $\text{MS}(m/z\ 207.1\ [\text{M}+\text{H}]^+)$ , 分子式为  $\text{C}_{11}\text{H}_{10}\text{O}_4$ 。其核磁数据如下:  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta_{\text{H}}$  7.61(1H, d,  $J = 9.5$  Hz, H-4), 6.84(1H, s, H-8), 6.82(1H, s, H-5), 6.27(1H, d,  $J = 9.5$  Hz, H-3), 3.93(3H, s, 7-OCH<sub>3</sub>), 3.91(3H, s, 6-OCH<sub>3</sub>);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta_{\text{C}}$  161.5(C, C-2), 153.0(C, C-7), 150.2(C, C-9), 146.5(C, C-6), 143.4(CH, C-4), 113.7(C, C-3), 111.6(CH, C-10), 108.2(CH, C-5), 100.1(CH, C-8), 56.5(CH<sub>3</sub>, 6-OCH<sub>3</sub>), 56.4(CH<sub>3</sub>, 7-OCH<sub>3</sub>)。通过与(Bao et al. (2019)所报道的光谱数据对比分析, 上述 NMR 数据与已知化合物 6, 7-二甲氧基香豆素(6, 7-dimethoxycoumarin)的数据基本一致, 由此确定化合物 4 为 6, 7-二甲氧基香豆素。

化合物 5: 白色粉末,  $\text{MS}(m/z\ 237.1\ [\text{M}+\text{H}]^+)$ , 分子式为  $\text{C}_{12}\text{H}_{12}\text{O}_5$ 。其核磁数据如下:  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta_{\text{H}}$  7.60(1H, d,  $J = 9.5$  Hz, H-4), 6.66(1H, s, H-5), 6.31(1H, d,  $J = 9.5$  Hz, H-3), 4.00(3H, s, 8-OCH<sub>3</sub>), 3.95(3H, s, 7-OCH<sub>3</sub>), 3.86(3H, s, 6-OCH<sub>3</sub>);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta_{\text{C}}$  160.6(C, C-2), 150.2(C, C-6), 146.0(C, C-9), 143.6(CH, C-4), 143.1(C, C-7), 141.2(C, C-8), 115.2(CH, C-3), 114.4(C, C-10), 103.8(CH, C-5), 61.9(CH<sub>3</sub>, 8-OCH<sub>3</sub>), 61.6(CH<sub>3</sub>, 7-OCH<sub>3</sub>), 56.4(CH<sub>3</sub>, 6-OCH<sub>3</sub>)。通过与张永丽等(2019)所报道的光谱数据对比分析, 上述 NMR 数据与已知化合物 6, 7, 8-三甲氧基香豆素(6, 7, 8-trimethoxycoumarin)的数据基本一致, 由此确定化合物 5 为 6, 7, 8-三甲氧基香豆素。

化合物 6: 白色针晶,  $\text{MS}(m/z\ 253.1\ [\text{M}+\text{H}]^+)$ , 分子式为  $\text{C}_{12}\text{H}_{12}\text{O}_6$ 。其核磁数据如下:  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta_{\text{H}}$  7.99(1H, d,  $J = 9.7$  Hz, H-4), 6.26(1H, d,  $J = 9.7$  Hz, H-3), 4.04(3H, s, 7-OCH<sub>3</sub>), 3.94(3H, s, 5-OCH<sub>3</sub>), 3.92(3H, s, 6-OCH<sub>3</sub>);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta_{\text{C}}$  160.7(C, C-2), 149.6(C, C-7), 144.7(C, C-6), 141.6(C, C-5), 138.6(CH, C-4), 135.4

(C, C-9), 134.0(C, C-8), 113.2(CH, C-3), 104.2(C, C-10), 62.2(CH<sub>3</sub>, 5-OCH<sub>3</sub>), 61.8(CH<sub>3</sub>, 6-OCH<sub>3</sub>), 61.6(CH<sub>3</sub>, 7-OCH<sub>3</sub>)。通过与张永丽等(2019)所报道的光谱数据对比分析, 上述NMR数据与已知化合物8-羟基-5,6,7-三甲氧基香豆素(8-hydroxy-5,6,7-trimethoxycoumarin)的数据基本一致, 由此确定化合物**6**为8-羟基-5,6,7-三甲氧基香豆素。

化合物**7**:白色絮状, MS(*m/z* 267.1 [M+H]<sup>+</sup>), 分子式为C<sub>13</sub>H<sub>14</sub>O<sub>6</sub>。其核磁数据如下: <sup>1</sup>H NMR(500 MHz, CD<sub>3</sub>OD)δ<sub>H</sub> 8.09(1H, d, *J* = 9.7 Hz, H-4), 6.34(1H, d, *J* = 9.7 Hz, H-3), 4.04(3H, s, 5-OCH<sub>3</sub>), 3.99(3H, s, 7-OCH<sub>3</sub>), 3.95(3H, s, 6-OCH<sub>3</sub>), 3.91(3H, s, 8-OCH<sub>3</sub>); <sup>13</sup>C NMR(125 MHz, CD<sub>3</sub>OD)δ<sub>C</sub> 162.4(C, C-2), 152.3(C, C-7), 146.7(C, C-6), 145.4(C, C-5), 144.0(C, C-9), 140.6(CH, C-4), 138.2(C, C-8), 114.7(CH, C-3), 110.9(C, C-10), 62.6(CH<sub>3</sub>, 5-OCH<sub>3</sub>), 62.3(CH<sub>3</sub>, 7-OCH<sub>3</sub>), 62.2(CH<sub>3</sub>, 6-OCH<sub>3</sub>), 61.9(CH<sub>3</sub>, 8-OCH<sub>3</sub>)。通过与张永丽等(2019)所报道的光谱数据对比分析, 上述NMR数据与已知化合物5,6,7,8-四甲基香豆素(5,6,7,8-tetramethoxycoumarin)的数据基本一致, 由此确定化合物**7**为5,6,7,8-四甲基香豆素。

化合物**8**:白色粉末, MS(*m/z* 443.4 [M+H]<sup>+</sup>), [ $\alpha$ ]<sub>D</sub><sup>25</sup> +11.0°(*c* 0.1, MeCN), 分子式为C<sub>30</sub>H<sub>50</sub>O<sub>2</sub>。其核磁数据如下: <sup>1</sup>H NMR(400 MHz, CDCl<sub>3</sub>)δ<sub>H</sub> 4.68(1H, d, *J* = 2.6 Hz, H-29 $\alpha$ ), 4.55(1H, s, H-29 $\beta$ ), 3.64(1H, s, H-3), 3.51(1H, d, *J* = 10.7, H-23 $\alpha$ ), 3.36(1H, d, *J* = 10.7 Hz, H-23 $\beta$ ), 2.37(1H, ddd, *J* = 11.0, 11.0, 5.7 Hz, H-19), 1.67(3H, s, H-30), 1.03(3H, s, H-26), 0.97(3H, s, H-27), 0.85(3H, s, H-25), 0.78(3H, s, H-28), 0.66(3H, s, H-24); <sup>13</sup>C NMR(100 MHz, CDCl<sub>3</sub>)δ<sub>C</sub> 151.1(C, C-20), 109.4(CH<sub>2</sub>, C-29), 76.7(CH, C-3), 71.4(CH<sub>2</sub>, C-23), 50.3(CH, C-9), 48.4(CH, C-18), 48.1(CH, C-19), 43.1(C, C-14), 43.0(C, C-17), 42.9(CH, C-5), 41.1(C, C-8), 40.5(C, C-4), 40.1(CH<sub>2</sub>, C-22), 38.1(CH, C-13), 37.2(C, C-10), 35.7(CH<sub>2</sub>, C-16), 33.9(CH<sub>2</sub>, C-7), 33.1(CH<sub>2</sub>, C-1), 30.0(CH<sub>2</sub>, C-21), 27.5(CH<sub>2</sub>, C-15), 26.5(CH<sub>2</sub>, C-2), 25.2(CH<sub>2</sub>, C-12), 21.0(CH<sub>2</sub>, C-11), 19.4(CH<sub>3</sub>, C-30), 18.1(CH<sub>2</sub>, C-6), 18.1(CH<sub>3</sub>, C-28), 17.8(CH<sub>3</sub>, C-24), 16.3(CH<sub>3</sub>, C-25), 16.0(CH<sub>3</sub>, C-26), 14.8(CH<sub>3</sub>, C-27)。通过与Puapairoj et al.(2005)所报道的光谱数据对比分析, 上述NMR数据与已知化合物lup-20(29)-ene-3 $\alpha$ , 23-diol的数据基本一致,

由此确定化合物**8**为lup-20(29)-ene-3 $\alpha$ , 23-diol。

化合物**9**:黄色油状, MS(*m/z* 425.4 [M+H]<sup>+</sup>), [ $\alpha$ ]<sub>D</sub><sup>25</sup> +40.0°(*c* 0.1, MeCN), 分子式为C<sub>30</sub>H<sub>48</sub>O。其核磁数据如下: <sup>1</sup>H NMR(400 MHz, CDCl<sub>3</sub>)δ<sub>H</sub> 7.10(1H, d, *J* = 10.2 Hz, H-1), 5.78(1H, d, *J* = 10.2 Hz, H-2), 4.70(1H, d, *J* = 2.6 Hz, H-29 $\beta$ ), 4.58(1H, dd, *J* = 2.6, 1.4 Hz, H-29 $\alpha$ ), 1.68(3H, s, H-30), 1.12(3H, s, H-24), 1.10(3H, s, H-26), 1.08(3H, s, H-23), 1.06(3H, s, H-25), 0.95(3H, s, H-27), 0.80(3H, s, H-28); <sup>13</sup>C NMR(100 MHz, CDCl<sub>3</sub>)δ<sub>C</sub> 205.7(C, C-3), 160.1(CH, C-1), 150.9(C, C-20), 125.3(CH, C-2), 109.7(CH<sub>2</sub>, C-29), 53.6(CH, C-5), 48.3(CH, C-18), 48.0(CH, C-19), 44.8(C, C-4), 44.6(CH, C-9), 43.2(C, C-17), 43.1(C, C-14), 41.9(C, C-8), 40.1(CH<sub>2</sub>, C-22), 39.7(C, C-10), 38.4(CH, C-13), 35.6(CH<sub>2</sub>, C-16), 33.9(CH<sub>2</sub>, C-7), 29.9(CH<sub>2</sub>, C-21), 28.0(CH<sub>3</sub>, C-23), 27.5(CH<sub>2</sub>, C-15), 25.2(CH<sub>2</sub>, C-12), 21.6(CH<sub>3</sub>, C-24), 21.4(CH<sub>2</sub>, C-11), 19.5(CH<sub>3</sub>, C-25), 19.3(CH<sub>3</sub>, C-30), 19.2(CH<sub>2</sub>, C-6), 18.2(CH<sub>3</sub>, C-28), 16.6(CH<sub>3</sub>, C-26), 14.6(CH<sub>3</sub>, C-27)。通过与Puapairoj et al.(2005)所报道的光谱数据对比分析, 上述NMR数据与已知化合物算盘子酮(glochidone)的数据基本一致, 由此确定化合物**9**为算盘子酮。

化合物**10**:白色粉末, MS(*m/z* 619.4 [M+H]<sup>+</sup>), [ $\alpha$ ]<sub>D</sub><sup>25</sup> +11.0°(*c* 0.1, MeCN), 分子式为C<sub>39</sub>H<sub>54</sub>O<sub>6</sub>。其核磁数据如下: <sup>1</sup>H NMR(400 MHz, CD<sub>3</sub>OD)δ<sub>H</sub> 7.50(1H, d, *J* = 15.8 Hz, H-7'), 7.02(1H, d, *J* = 2.0 Hz, H-2'), 6.92(1H, dd, *J* = 8.2, 2.0 Hz, H-6'), 6.76(1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-5'), 6.22(1H, d, *J* = 15.8 Hz, H-8'), 4.69(1H, s, H-29 $\alpha$ ), 4.58(1H, s, H-29 $\beta$ ), 4.53(1H, m, H-3), 3.02(1H, m, H-19), 1.68(3H, s, H-30), 1.00(3H, s, H-23), 0.96(3H, s, H-26), 0.92(3H, s, H-24), 0.89(3H, s, H-25), 0.87(3H, s, H-27); <sup>13</sup>C NMR(100MHz, CD<sub>3</sub>OD)δ<sub>C</sub> 180.7(C, C-28), 169.2(C, C-9'), 152.0(C, C-20), 149.6(C, C-3'), 146.8(CH, C-7'), 146.7(CH, C-2'), 127.7(CH, C-6'), 122.9(CH, C-5'), 116.5(CH, C-8'), 115.6(C, C-1'), 115.1(C, C-4'), 110.2(CH<sub>2</sub>, C-29), 82.3(CH, C-3), 57.5(C, C-17), 56.9(CH, C-5), 51.9(CH, C-9), 50.4(CH, C-18), 48.8(CH, C-19), 43.6(C, C-14), 41.9(C, C-8), 39.6(CH<sub>2</sub>, C-1), 39.1(CH, C-13), 39.1(C, C-4), 38.3(CH<sub>2</sub>, C-22), 38.2(C, C-10), 35.5(CH<sub>2</sub>, C-7), 33.4(CH<sub>2</sub>, C-16), 31.7(CH<sub>2</sub>, C-21), 30.8(CH<sub>2</sub>, C-15), 28.6(CH<sub>3</sub>, C-23), 26.8(CH<sub>2</sub>, C-12), 24.8

(CH<sub>2</sub>, C-2), 22.1(CH<sub>2</sub>, C-11), 19.6(CH<sub>3</sub>, C-30), 19.3(CH<sub>2</sub>, C-6), 17.1(CH<sub>3</sub>, C-25), 16.8(CH<sub>3</sub>, C-26), 16.6(CH<sub>3</sub>, C-24), 15.1(CH<sub>3</sub>, C-27)。通过与 Cho et al. (2013)所报道的光谱数据对比分析, 上述NMR数据与已知化合物3β-O-trans-caffeoylbetulinic acid的数据基本一致, 由此确定化合物10为3β-O-trans-caffeoylbetulinic acid。

化合物11: 白色粉末, MS(*m/z* 423.4 [M+H]<sup>+</sup>), [α]<sub>D</sub><sup>25</sup> -33.0° (*c* 0.1, MeCN), 分子式为C<sub>30</sub>H<sub>46</sub>O。其核磁数据如下: <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ<sub>H</sub> 7.17 (1H, d, *J* = 10.2 Hz, H-1), 5.81 (1H, d, *J* = 10.2 Hz, H-2), 4.87 (1H, s, H-19), 4.12 (1H, m, H-13), 1.15 (3H, s, H-23), 1.13 (3H, s, H-26), 1.12 (3H, s, H-25), 1.09 (3H, s, H-24), 1.03 (3H, s, H-27), 0.94 (6H, s, H-29, H-30), 0.75 (3H, s, H-28); <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ<sub>C</sub> 205.9 (C, C-3), 160.4 (CH, C-1), 143.3 (C, C-18), 130.1 (CH, C-19), 125.3 (CH, C-2), 53.8 (CH, C-5), 45.3 (CH, C-9), 44.9 (C, C-4), 43.3 (C, C-14), 41.8 (C, C-10), 39.7 (C, C-8), 38.8 (CH, C-13), 37.7 (CH<sub>2</sub>, C-16), 37.5 (CH<sub>2</sub>, C-22), 34.5 (C, C-17), 34.2 (CH<sub>2</sub>, C-7), 33.4 (CH<sub>2</sub>, C-21), 32.5 (C, C-20), 31.5 (CH<sub>3</sub>, C-29), 29.8 (CH<sub>3</sub>, C-30), 28.0 (CH<sub>3</sub>, C-23), 27.6 (CH<sub>2</sub>, C-15), 26.3 (CH<sub>2</sub>, C-12), 25.4 (CH<sub>3</sub>, C-28), 21.6 (CH<sub>3</sub>, C-24), 21.5 (CH<sub>2</sub>, C-11), 20.0 (CH<sub>2</sub>, C-6), 19.1 (CH<sub>3</sub>, C-25), 16.9 (CH<sub>3</sub>, C-26), 14.6 (CH<sub>3</sub>, C-27)。通过与 González et al. (1981)所报道的光谱数据对比分析, 上述NMR数据与已知化合物oleana-1, 18-dien-3-one的数据基本一致, 由此确定化合物11为oleana-1, 18-dien-3-one。

化合物12: 白色粉末, MS(*m/z* 499.4 [M+H]<sup>+</sup>), [α]<sub>D</sub><sup>25</sup> -113.0° (*c* 0.1, MeCN), 分子式为C<sub>32</sub>H<sub>50</sub>O<sub>4</sub>。其核磁数据如下: <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ<sub>H</sub> 5.18 (1H, s, H-19), 4.48 (1H, dd, *J* = 10.4, 6.0 Hz, H-3), 2.05 (3H, s, H-2'), 1.00 (3H, s, H-24), 0.98 (3H, s, H-26), 0.98 (3H, s, H-27), 0.88 (3H, s, H-25), 0.84 (3H, s, H-23), 0.83 (3H, s, H-29), 0.77 (3H, s, H-30); <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ<sub>C</sub> 180.6 (C, C-28), 171.2 (C, C-1'), 136.9 (C, C-18), 133.5 (CH, C-19), 81.1 (CH, C-3), 55.7 (CH, C-5), 51.2 (CH, C-9), 48.1 (C, C-17), 42.7 (C, C-14), 41.5 (CH, C-13), 40.8 (C, C-8), 38.8 (CH<sub>2</sub>, C-1), 38.0 (C, C-4), 37.3 (C, C-10), 34.6 (CH<sub>2</sub>, C-7), 33.7 (CH<sub>2</sub>, C-16), 33.6 (CH<sub>2</sub>, C-21), 33.5 (CH<sub>2</sub>, C-22), 32.2 (C, C-20), 30.5 (CH<sub>3</sub>, C-29),

29.5 (CH<sub>2</sub>, C-15), 29.2 (CH<sub>3</sub>, C-30), 28.1 (CH<sub>3</sub>, C-23), 26.1 (CH<sub>2</sub>, C-12), 23.8 (CH<sub>2</sub>, C-2), 21.5 (CH<sub>2</sub>, C-11), 21.1 (CH<sub>3</sub>, C-2'), 18.3 (CH<sub>2</sub>, C-6), 16.9 (CH<sub>3</sub>, C-26), 16.7 (CH<sub>3</sub>, C-24), 16.1 (CH<sub>3</sub>, C-25), 15.0 (CH<sub>3</sub>, C-27)。通过与季丰等(2012)所报道的光谱数据对比分析, 上述NMR数据与已知化合物morolic acid acetate的数据基本一致, 由此确定化合物12为morolic acid acetate。

化合物13: 白色粉末, MS(*m/z* 415.4 [M+H]<sup>+</sup>), [α]<sub>D</sub><sup>25</sup> -30.0° (*c* 0.1, MeCN), 分子式为C<sub>29</sub>H<sub>50</sub>O。其核磁数据如下: <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ<sub>H</sub> 5.35 (1H, d, *J* = 5.5 Hz, H-6), 3.52 (1H, ddd, *J* = 16.2, 11.0, 4.6 Hz, H-3), 1.00 (3H, s, H-19), 0.92 (3H, d, *J* = 6.6 Hz, H-21), 0.84 (3H, t, *J* = 7.4 Hz, H-29), 0.81 (3H, d, *J* = 6.8 Hz, H-26), 0.67 (3H, s, H-18); <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ<sub>C</sub> 140.9 (C, C-5), 121.9 (CH, C-6), 72.0 (CH, C-3), 56.9 (CH, C-14), 56.2 (CH, C-17), 50.3 (CH, C-9), 46.0 (CH, C-24), 42.5 (C, C-13), 42.4 (CH<sub>2</sub>, C-4), 39.9 (CH<sub>2</sub>, C-12), 37.4 (CH<sub>2</sub>, C-1), 36.6 (C, C-10), 36.3 (CH, C-20), 34.1 (CH<sub>2</sub>, C-22), 32.1 (CH<sub>2</sub>, C-7), 32.0 (CH, C-8), 31.8 (CH<sub>2</sub>, C-2), 29.3 (CH, C-25), 28.4 (CH<sub>2</sub>, C-16), 26.2 (CH<sub>2</sub>, C-23), 24.4 (CH<sub>2</sub>, C-15), 23.2 (CH<sub>2</sub>, C-28), 21.2 (CH<sub>2</sub>, C-11), 20.0 (CH<sub>3</sub>, C-27), 19.5 (CH<sub>3</sub>, C-19), 19.2 (CH<sub>3</sub>, C-26), 18.9 (CH<sub>3</sub>, C-21), 12.1 (CH<sub>3</sub>, C-18), 12.0 (CH<sub>3</sub>, C-29)。通过与李雯珊等(2016)所报道的光谱数据对比分析, 上述NMR数据与已知化合物β-谷甾醇(β-sitosterol)的数据基本一致, 由此确定化合物13为β-谷甾醇。

化合物14: 白色粉末, MS(*m/z* 577.4 [M+H]<sup>+</sup>), [α]<sub>D</sub><sup>25</sup> -34.0° (*c* 0.1, MeCN), 分子式为C<sub>35</sub>H<sub>60</sub>O<sub>6</sub>。其核磁数据如下: <sup>1</sup>H NMR (500 MHz, pyridine-*d*<sub>5</sub>) δ<sub>H</sub> 5.37 (1H, d, *J* = 5.0 Hz, H-6), 5.07 (1H, d, *J* = 7.8 Hz, H-1), 0.96 (3H, s, H-19), 0.92 (3H, d, *J* = 3.2 Hz, H-27), 0.90 (3H, d, *J* = 3.2 Hz, H-26), 0.69 (3H, s, H-18); <sup>13</sup>C NMR (125 MHz, pyridine-*d*<sub>5</sub>) δ<sub>C</sub> 141.3 (C, C-5), 122.3 (CH, C-6), 103.0 (CH, C-1'), 79.0 (CH, C-5'), 78.9 (CH, C-3), 78.5 (CH, C-3'), 75.7 (CH, C-2'), 72.1 (CH, C-4'), 63.2 (CH<sub>2</sub>, C-6'), 57.2 (CH, C-14), 56.7 (CH, C-17), 50.8 (CH, C-9), 46.5 (CH, C-24), 42.9 (C, C-13), 40.4 (CH<sub>2</sub>, C-4), 39.7 (CH<sub>2</sub>, C-12), 37.9 (CH<sub>2</sub>, C-1), 37.3 (C, C-10), 36.8 (CH, C-20), 34.6 (CH<sub>2</sub>, C-22), 32.6 (CH<sub>2</sub>, C-7), 32.5 (CH, C-8), 30.7 (CH<sub>2</sub>, C-2), 30.4 (CH, C-25), 29.9 (CH<sub>2</sub>, C-16),

29.0 (CH<sub>2</sub>, C-23), 26.8 (CH<sub>2</sub>, C-15), 23.8 (CH<sub>2</sub>, C-28), 21.7 (CH<sub>2</sub>, C-11), 20.4 (CH<sub>3</sub>, C-26), 19.8 (CH<sub>3</sub>, C-19), 19.6 (CH<sub>3</sub>, C-21), 19.4 (CH<sub>3</sub>, C-27), 12.6 (CH<sub>3</sub>, C-29), 12.4 (CH<sub>3</sub>, C-18)。通过与李琳玉等(2017)所报道的光谱数据对比分析, 上述NMR数据与已知化合物胡萝卜苷(daucosterol)的数据基本一致, 由此确定化合物**14**为胡萝卜苷。

化合物**15**: 白色粉末, MS(*m/z* 429.4 [M+H]<sup>+</sup>), [ $\alpha$ ]<sub>D</sub><sup>25</sup> -26.0° (*c* 0.1, MeCN), 分子式为 C<sub>29</sub>H<sub>48</sub>O<sub>2</sub>。其核磁数据如下: <sup>1</sup>H NMR (500 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ<sub>H</sub> 5.81 (1H, s, H-4), 4.34 (1H, t, *J* = 2.9 Hz, H-6), 1.37 (3H, s, H-19), 0.92 (3H, d, *J* = 6.5 Hz, H-21), 0.84 (3H, s, H-29), 0.83 (3H, d, *J* = 6.5 Hz, H-27), 0.81 (3H, d, *J* = 7.0 Hz, H-26), 0.74 (3H, s, H-18); <sup>13</sup>C NMR (125 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ<sub>C</sub> 200.7 (C, C-3), 168.7 (C, C-5), 126.5 (CH, C-4), 73.4 (C, C-6), 56.2 (CH, C-14), 56.0 (CH, C-17), 53.7 (CH, C-9), 45.9 (CH, C-24), 42.6 (C, C-13), 39.7 (CH<sub>2</sub>, C-12), 38.7 (CH<sub>2</sub>, C-7), 38.1 (C, C-10), 37.2 (CH<sub>2</sub>, C-1), 36.3 (CH, C-20), 34.4 (CH<sub>2</sub>, C-2), 34.0 (CH<sub>2</sub>, C-22), 29.9 (CH, C-8), 29.3 (CH, C-25), 28.3 (CH<sub>2</sub>, C-16), 26.2 (CH<sub>2</sub>, C-23), 24.3 (CH<sub>2</sub>, C-15), 23.2 (CH<sub>2</sub>, C-28), 21.1 (CH<sub>2</sub>, C-11), 20.0 (CH<sub>3</sub>, C-26), 19.6 (CH<sub>3</sub>, C-19), 19.2 (CH<sub>3</sub>, C-27), 18.9 (CH<sub>3</sub>, C-21), 12.2 (CH<sub>3</sub>, C-18), 12.1 (CH<sub>3</sub>, C-29)。通过与 Georges et al. (2006) 所报道的光谱数据对比分析, 上述 NMR 数据与已知化合物 6-hydroxystigmast-4-en-3-one 的数据基本一致, 由此确定化合物**15**为 6-hydroxystigmast-4-en-3-one。

化合物**16**: 黄色油状, MS(*m/z* 231.1 [M+H]<sup>+</sup>), [ $\alpha$ ]<sub>D</sub><sup>25</sup> +16.0° (*c* 0.1, MeCN), 分子式为 C<sub>15</sub>H<sub>18</sub>O<sub>2</sub>。其核磁数据如下: <sup>1</sup>H NMR (500 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ<sub>H</sub> 4.81 (1H, s, H-12β), 4.77 (1H, s, H-12α), 3.11 (1H, s, H-2β), 3.08 (1H, s, H-2α), 2.97 (1H, d, *J* = 14.9 Hz, H-6), 2.87 (2H, m, H-8), 2.74 (1H, m, H-6), 2.71 (1H, m, H-7), 1.96 (3H, s, H-14), 1.86 (3H, s, H-15), 1.78 (3H, s, H-13); <sup>13</sup>C NMR (125 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ<sub>C</sub> 202.0 (C, C-3), 200.8 (C, C-9), 162.9 (C, C-5), 147.1 (C, C-11), 144.9 (C, C-4), 144.3 (C, C-1), 131.7 (C, C-10), 111.3 (CH<sub>2</sub>, C-12), 49.9 (CH<sub>2</sub>, C-8), 41.2 (CH<sub>2</sub>, C-2), 39.1 (CH, C-7), 35.5 (CH<sub>2</sub>, C-6), 20.3 (CH<sub>3</sub>, C-13), 17.6 (CH<sub>3</sub>, C-14), 9.1 (CH<sub>3</sub>, C-15)。通过与 Kizaipek et al. (2019) 所报道的光谱数据对比分析, 上述 NMR 数据与已知化合物 oleodaphnone 的数据基本一致, 由此确定化合物**16**为 oleodaphnone。

化合物**17**: 淡黄色晶体, MS(*m/z* 433.1 [M+H]<sup>+</sup>), 分子式为 C<sub>22</sub>H<sub>24</sub>O<sub>9</sub>。其核磁数据如下: <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ<sub>H</sub> 7.17 (2H, s, H-2'/H-6'), 6.64 (1H, s, H-3), 4.11 (3H, s, Ar-OCH<sub>3</sub>), 4.02 (3H, s, Ar-OCH<sub>3</sub>), 3.95 (12H, s, Ar-OCH<sub>3</sub> × 4), 3.93 (3H, s, Ar-OCH<sub>3</sub>); <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ<sub>C</sub> 177.5 (C, C-4), 161.0 (C, C-2), 153.7 (C × 2, C-3'/C-5'), 151.7 (C, C-7), 148.6 (C, C-5), 147.9 (C, C-9), 144.3 (C, C-6), 141.2 (C, C-4'), 138.1 (C, C-8), 126.8 (C, C-1'), 115.0 (C, C-10), 107.8 (CH, C-3), 103.5 (CH × 2, C-2'/C-6'), 62.4 (CH<sub>3</sub>, 5-OCH<sub>3</sub>), 62.1 (CH<sub>3</sub>, 6-OCH<sub>3</sub>), 62.0 (CH<sub>3</sub>, 7-OCH<sub>3</sub>), 61.8 (CH<sub>3</sub>, 8-OCH<sub>3</sub>), 61.2 (CH<sub>3</sub>, 4'-OCH<sub>3</sub>), 56.4 (CH<sub>3</sub> × 2, 3'-OCH<sub>3</sub>/5'-OCH<sub>3</sub>)。通过与 Ngo et al. (1979) 和 Rumbero et al. (2000) 所报道的光谱数据对比分析, 上述 NMR 数据与已知化合物 5'-甲氧基川陈皮素 (5'-methoxynobiletin) 的数据基本一致, 由此确定化合物**17**为 5'-甲氧基川陈皮素, 又称 5, 6, 7, 8, 3', 4', 5'-七甲氧基黄酮 (5, 6, 7, 8, 3', 4', 5'-heptamethoxyflavone)。

化合物**18**: 白色粉末, MS(*m/z* 299.1 [M+H]<sup>+</sup>), 分子式为 C<sub>18</sub>H<sub>18</sub>O<sub>4</sub>。其核磁数据如下: <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ<sub>H</sub> 8.08 (1H, s, H-15), 7.78 (1H, s, H-14), 7.65 (1H, s, H-1), 6.89 (1H, s, H-6), 4.07 (3H, s, 7-OCH<sub>3</sub>), 4.06 (3H, s, 2-OCH<sub>3</sub>), 2.56 (3H, s, H-18), 2.46 (3H, s, H-17); <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ<sub>C</sub> 153.6 (C, C-12), 152.6 (C, C-7), 144.0 (C, C-2), 143.6 (C, C-3), 131.5 (C, C-9), 127.7 (C, C-5), 124.7 (CH, C-14), 123.7 (C, C-13), 120.1 (C, C-8), 119.2 (C, C-10), 116.6 (C, C-4), 106.2 (CH, C-11), 100.5 (CH, C-1), 96.4 (CH, C-6), 56.1 (CH<sub>3</sub>, 2-OCH<sub>3</sub>), 55.4 (CH<sub>3</sub>, 7-OCH<sub>3</sub>), 16.3 (CH<sub>3</sub>, C-17), 11.3 (CH<sub>3</sub>, C-18)。通过与 Yin et al. (2008) 所报道的光谱数据对比分析, 上述 NMR 数据与已知化合物 trigonochinene E 的数据基本一致, 由此确定化合物**18**为 trigonochinene E。

化合物**19**: 无色针晶, MS(*m/z* 199.1 [M+H]<sup>+</sup>), 分子式为 C<sub>9</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>。其核磁数据如下: <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, CD<sub>3</sub>OD) δ<sub>H</sub> 7.04 (2H, s, H-2/H-6), 4.26 (2H, q, *J* = 7.1 Hz, H-8), 1.33 (3H, t, *J* = 7.1 Hz, H-9); <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, CD<sub>3</sub>OD) δ<sub>C</sub> 168.6 (C, C-7), 146.4 (C × 2, C-3/C-5), 139.7 (C, C-4), 121.7 (C, C-1), 110.0 (CH × 2, C-2/C-6), 61.7 (CH<sub>2</sub>, C-8), 14.6 (CH<sub>3</sub>, C-9)。通过与罗晓东等(2001)所报道的光谱数据对比分析, 上述 NMR 数据与已知化合物没食子酸

乙酯(ethyl gallate)的数据基本一致, 由此确定化合物**19**为没食子酸乙酯。

化合物**20**: 淡黄色油状, MS( $m/z$  237.1  $[M+H]^+$ ), 分子式为  $C_{17}H_{16}O$ 。其核磁数据如下:  $^1H$  NMR (500 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta_H$  7.88 (2H, d,  $J = 7.5$  Hz, H-2'/H-6'), 7.55 (1H, t,  $J = 7.5$  Hz, H-4'), 7.46 (2H, t,  $J = 7.5$  Hz, H-3'/H-5'), 7.31 (2H, m, H-3"/H-5"), 7.22 (3H, m,  $J = 6.3$  Hz, H-2"/H-4"/H-6"), 7.08 (1H, dt,  $J = 15.3, 6.8$  Hz, H-3), 6.87 (1H, d,  $J = 15.3$  Hz, H-2), 2.86 (2H, t,  $J = 7.5$  Hz, H-5), 2.65 (2H, q,  $J = 7.5$  Hz, H-4);  $^{13}C$  NMR (125 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta_C$  191.1 (C, C-1), 148.6 (CH, C-3), 140.9 (C, C-1'), 138.0 (C, C-1"), 132.8 (CH, C-4'), 128.7 (CH  $\times$  2, C-2'/C-6'), 128.6 (CH  $\times$  2, C-3"/C-5"), 128.5 (CH  $\times$  4, C-3'/C-5'/C-2"/C-6"), 126.7 (CH, C-2), 126.3 (CH, C-4"), 34.7 (CH<sub>2</sub>, C-4), 34.6 (CH<sub>2</sub>, C-5)。通过与侯太平等(2002)所报道的光谱数据对比分析, 上述NMR数据与已知化合物瑞香毒素B(daphnelantoxin B)的数据基本一致, 由此确定化合物**20**为瑞香毒素B。

化合物**21**: 淡黄色油状, MS( $m/z$  255.1  $[M+H]^+$ ),  $[\alpha]_D^{25} + 30.0^\circ$  ( $c$  0.1, MeCN), 分子式为  $C_{17}H_{18}O_2$ 。其核磁数据如下:  $^1H$  NMR (500 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta_H$  7.93 (2H, dd,  $J = 7.6$  Hz, H-2'/H-6'), 7.58 (1H, t,  $J = 7.6$  Hz, H-4'), 7.47 (2H, t,  $J = 7.6$  Hz, H-3'/H-5'), 7.29 (2H, t,  $J = 7.6$  Hz, H-2"/H-6"), 7.23 (2H, t,  $J = 8.0$  Hz, H-3"/H-5"), 7.19 (1H, t,  $J = 7.6$  Hz, H-4"), 4.25 (1H, m, H-3), 3.16 (1H, dd,  $J = 17.6, 2.8$  Hz, H-2 $\alpha$ ), 3.09 (1H, dd,  $J = 17.6, 8.9$  Hz, H-2 $\beta$ ), 2.88 (1H, m, H-5 $\alpha$ ), 2.76 (1H, m, H-5 $\beta$ ), 1.94 (1H, m, H-4 $\alpha$ ), 1.82 (1H, m, H-4 $\beta$ );  $^{13}C$  NMR (125 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta_C$  201.0 (C, C-1), 142.0 (C, C-1"), 136.8 (C, C-1'), 133.7 (CH, C-4'), 128.8 (CH  $\times$  2, C-2'/C-6'), 128.6 (CH  $\times$  2, C-2"/C-6"), 128.5 (CH, C-4"), 128.2 (CH  $\times$  2, C-3'/C-5'), 126.0 (CH  $\times$  2, C-3"/C-5"), 67.2 (CH, C-3), 45.1 (CH<sub>2</sub>, C-2), 38.2 (CH<sub>2</sub>, C-4), 32.0 (CH<sub>2</sub>, C-5)。通过与Xu et al. (2001)所报道的光谱数据对比分析, 上述NMR数据与已知化合物(+)-3-hydroxy-1, 5-diphenyl-l-pentanone的数据基本一致, 由此确定化合物**21**为(+)-3-hydroxy-1, 5-diphenyl-l-pentanone。

化合物**22**: 无色油状, MS( $m/z$  199.1  $[M+H]^+$ ),  $[\alpha]_D^{25} + 36.0^\circ$  ( $c$  0.1, MeCN), 分子式为  $C_{11}H_{18}O_3$ 。其核磁数据如下:  $^1H$  NMR (500 MHz,  $CD_3OD$ )  $\delta_H$  1.94 (3H, s, 2-Me), 1.80 (3H, s, 3-Me), 0.91 (3H, t,  $J = 7.0$  Hz, H-9);  $^{13}C$  NMR (125 MHz,  $CD_3OD$ )  $\delta_C$  174.5

(C, C-1), 160.4 (C, C-2), 125.7 (C, C-3), 109.2 (C, C-4), 36.9 (CH<sub>2</sub>, C-5), 32.8 (CH<sub>2</sub>, C-7), 23.8 (CH<sub>2</sub>, C-6), 23.5 (CH<sub>2</sub>, C-8), 14.3 (CH<sub>3</sub>, C-9), 10.8 (CH<sub>3</sub>, 2-Me), 8.2 (CH<sub>3</sub>, 3-Me)。通过与Li et al. (2013)所报道的光谱数据对比分析, 上述NMR数据与已知化合物5-hydroxy-3, 4-dimethyl-5-pentylfuran-2(5H)-one的数据基本一致, 由此确定化合物**22**为5-hydroxy-3, 4-dimethyl-5-pentylfuran-2(5H)-one。

化合物**23**: 白色粉末, MS( $m/z$  146.1  $[M+H]^+$ ), 分子式为  $C_9H_7NO$ 。其核磁数据如下:  $^1H$  NMR (500 MHz,  $CD_3OD$ )  $\delta_H$  9.89 (1H, s, H-8), 8.17 (1H, d,  $J = 7.6$  Hz, H-4), 8.10 (1H, s, H-2), 7.49 (1H, d,  $J = 8.1$  Hz, H-7), 7.29 (1H, m, H-5), 7.25 (1H, m, H-6);  $^{13}C$  NMR (125 MHz,  $CD_3OD$ )  $\delta_C$  187.4 (C, C-8), 139.7 (CH, C-2), 138.9 (C, C-7a), 125.7 (C, C-3a), 125.0 (CH, C-6), 123.6 (CH, C-5), 122.4 (CH, C-4), 120.1 (C, C-3), 113.1 (CH, C-7)。通过与Hiroaki et al. (2004)所报道的光谱数据对比分析, 上述NMR数据与已知化合物吲哚-3-甲醛(indole-3-carbaldehyde)的数据基本一致, 由此确定化合物**23**为吲哚-3-甲醛。

## 2.2 细胞毒活性结果

在非小细胞肺癌细胞H1975模型上评价了化合物**1**~**23**的细胞毒活性, 结果显示**8**和**18**对该株肿瘤细胞有一定的细胞毒活性, 其 $IC_{50}$ 值分别为( $13.97 \pm 0.40$ )和( $26.61 \pm 1.81$ )  $\mu\text{mol/L}$  [阳性对照组吉非替尼的 $IC_{50}$ 值为( $10.44 \pm 0.44$ )  $\mu\text{mol/L}$ ]。

## 3 结 语

本课题对大戟科乌桕属植物圆叶乌桕进行了系统的化学成分研究。从其根乙醇提取物的乙酸乙酯萃取部位中共分离鉴定了23个结构类型多样的化合物, 包括7个香豆素类: 飞龙掌血内酯酮(**1**)、飞龙掌血内酯(**2**)、莨菪亭(**3**)、6, 7-二甲氧基香豆素(**4**)、6, 7, 8-三甲氧基香豆素(**5**)、8-羟基-5, 6, 7-三甲氧基香豆素(**6**)和5, 6, 7, 8-四甲基香豆素(**7**); 3个羽扇豆烷型三萜类: lup-20(29)-ene-3 $\alpha$ , 23-diol(**8**)、算盘子酮(**9**)、3 $\beta$ -O-trans-caffeoylbetulinic acid(**10**); 2个齐墩果烷型三萜类: oleana-1, 18-dien-3-one(**11**)和morolic acid acetate(**12**); 3个甾体类:  $\beta$ -谷甾醇(**13**)、胡萝卜苷(**14**)和6-hydroxystigmast-4-en-3-one(**15**); 1个愈创木烷型倍半萜类: oleodaphnone(**16**); 1个黄酮类: 5'-甲氧基川陈皮素(**17**); 1个二萜类: trigonochinene E(**18**); 1个简单苯酚类: 没食子酸乙酯(**19**); 2个二苯基戊烷类: 瑞香毒素B(**20**)和(+)-3-

hydroxy-1,5-diphenyl-1-pentanone(**21**); 1个呋喃酮类: 5-hydroxy-3,4-dimethyl-5-pentylfuran-2(**5H**)-one(**22**)以及1个吡啶类: 吡啶-3-甲醛(**23**)。上述化合物均是首次从圆叶乌柏中首次分离得到。本课题还对分离得到的所有单体化合物进行细胞毒性筛选,发现了2个化合物(**8**和**18**)对非小细胞

肺癌细胞 H1975 具有细胞毒性,其 IC<sub>50</sub> 值分别为 (13.97 ± 0.40) 和 (26.61 ± 1.81) μmol/L, 而其他化合物的活性微弱或无细胞毒活性。本课题的研究丰富了乌柏属植物的化学成分类型,并为药理活性研究提供了物质基础。

### 参考文献:

- 陈国华,邵伟,何晓雯,等,2007. 乌柏根皮水提物抗菌活性的初步研究[J]. 时珍国医国药,18(9):2139-2140.
- 侯太平,崔球,陈淑华,等,2002. 瑞香狼毒中灭蚜活性物质的结构鉴定[J]. 有机化学,22(1):60-70.
- 季丰,李占林,牛生吏,等,2012. 大叶藤黄茎皮化学成分研究[J]. 中国药物化学杂志,22(6):507-510.
- 金久宁,黄晶晶,钱学射,2014. 乌柏的植物文化与经济价值[J]. 北京林业大学学报(社会科学版),13(2):32-36.
- 黄斌学,黄增琼,许小林,等,2004. 乌柏叶提取物镇痛抗炎作用的实验研究[J]. 中成药,26(6):48-51.
- 李琳玉,刘星,周梦,等,2017. 小果菝葜根茎的甾体皂苷类化学成分研究[J]. 中药材,40(9):2084-2088.
- 李雯珊,孙章华,潘清灵,等,2016. 白木香内生真菌 *Fusarium* sp. A2 固体发酵产物的化学成分研究[J]. 广东药学院学报,32(2):139-143.
- 卢汝梅,杨泽华,曾艳婷,等,2016. 壮药一匹绸化学成分的研究(I)[J]. 时珍国医国药,27(9):2142-2144.
- 罗晓东,吴少华,马云保,等,2001. 椿叶的化学成分研究[J]. 中草药,32(5):390-391.
- 彭小列,易能,程天印,2008. 乌柏的药用成分与药理作用研究进展[J]. 中国野生植物资源,27(3):1-2.
- 漆淑华,吴大刚,罗晓东,2004. 桂林乌柏中的香豆素和鞣花酸类化合物[J]. 天然产物开发与研究,16(4):297-299.
- 徐跃平,叶进兴,2010. 乌柏的综合利用价值及育苗造林技术[J]. 安徽农学通报,16(12):132-151.
- 杨婷婷,唐本钦,范春林,等,2013. 海南狗牙花枝叶化学成分的研究[J]. 中草药,44(9):1082-1085.
- 张君,2015. 乌柏属植物化学成分及其生物活性研究进展[J]. 中国药物经济学,10(2):18-19.
- 张永丽,潘其明,张贵杰,等,2019. 山乌柏茎叶的化学成分研究[J]. 中国中药杂志,44(17):3738-3744.
- BAO W, WANG Q, HAO J, 2019. Structural elucidation of a coumarin with new skeleton from *Artemisia ordosica* [J]. Rec Nat Prod, 13(5):413-417.
- CHAUDHARY H J, ZEB A, BANO A, et al, 2011. Antimicrobial activities of *Sapium sebiferum* L. belonging to family Euphorbiaceae [J]. J Med Plants Res, 5(24):5916-5919.
- CHO J Y, KIM C M, LEE H J, et al, 2013. Caffeoyl triterpenes from pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) fruit peels and their antioxidative activities against oxidation of rat blood plasma [J]. J Agric Food Chem, 61(19):4563-4569.
- FU R, CHEN F, GUO Y, 2020. Anti-inflammatory mechanism and active ingredients of the Chinese tallow tree [J]. J Ethnopharmacol, 250:112497.
- FU R, ZHANG Y T, GUO Y R, et al, 2013. Antioxidant and anti-inflammatory activities of the phenolic extracts of *Sapium sebiferum* (L.) Roxb. leaves [J]. J Ethnopharmacol, 147(2):517-524.
- FU R, ZHANG Y, GUO Y, et al, 2015. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activity of Chinese tallow tree leaves [J]. Ind Crop Prod, 76:374-377.
- GEORGES P, SYLVESTRE M, RUEGGER H, et al, 2006. Ketosteroids and hydroxyketosteroids, minor metabolites of sugarcane wax [J]. Steroids, 71(8):647-652.
- GONZÁLEZ A G, FRAGA B M, GONZÁLEZ P, 1981. <sup>13</sup>C NMR spectra of olean-18-ene derivatives [J]. Phytochemistry, 20(8):1919-1921.
- HASEGAWA T, YAMADA K, SHIGEMORI H, et al, 2002. Isolation and identification of a growth inhibitor from blue light-illuminated cress seedlings [J]. Plant Growth Regul, 37:45-47.
- HUANG J L, YAN X L, LI W, et al, 2022. Discovery of highly potent daphnane diterpenoids uncovers importin-β1 as a druggable vulnerability in castration-resistant prostate cancer [J]. J Am Chem Soc, 144(38):17522-17532.
- HUANG J L, YAN X L, HUANG D, et al, 2023. Discovery of a highly potent and orally available importin-β1 inhibitor that overcomes enzalutamide-resistance in advanced prostate cancer [J]. Acta Pharm Sin B, 13(12):4934-4944.
- HU R, HUANG J L, YUAN F Y, et al, 2022. Crotonianoids A-C, three unusual tiglane diterpenoids from the seeds of *Croton tiglium* and their anti-prostate cancer activity [J]. J Org Chem, 87(14):9301-9306.
- HE Q, ZHANG L, LI T, et al, 2021. Genus *Sapium* (Euphorbiaceae): A review on traditional uses, phytochemistry, and

- pharmacology[J]. *J Ethnopharmacol*, 277:114206.
- HIROAKI I, YAJIMA Y, GENJI K, et al, 2004. Isolation of indole-3-aldehyde as a growth inhibitor *Legionella pneumophila* from diaion HP-20 resins used to culture the bacteria[J]. *Biocontrol Sci*, 9:39-41.
- IGHODARO O M, AKINLOYE O A, UGBAJA R N, et al, 2017. *Sapium ellipticum* (Hochst) Pax ethanol leaf extract modulates glucokinase and glucose-6-phosphatase activities in streptozotocin induced diabetic rats[J]. *Asian Pac J Trop Bio*, 7(6):544-548.
- KIZAIBEK M, CAO P, GU Z, et al, 2019. Chemical constituents of the stem bark of *Daphne altaica* [J]. *Chem Nat Comp*, 55(6):1150-1152.
- LI T, WANG G C, HUANG X J, et al, 2013. Whitmanoside A, a new  $\alpha$ -pyrone glycoside from the leech *Whitmania pigra*[J]. *Heterocycles*, 87(7):1537-1543.
- LIU S Q, PEZZUTO J M, KINGHORN A D, et al, 1988. Additional biologically active constituents of the Chinese tallow tree (*Sapium sebiferum*) [J]. *J Nat Prod*, 51(3):619-620.
- McFEETERS H, GILBERT M J, THOMPSON R M, et al, 2012. Inhibition of essential bacterial peptidyl-tRNA hydrolase activity by tropical plant extracts[J]. *Nat Prod Commun*, 7(8):1107-1110.
- NGO L, PHAM T V G, 1979. Two new flavones from *Eupatorium coelestinum*[J]. *Phytochemistry*, 18:1859-1861.
- OHGASHI H, OHTSUKA T, HIROTA M, et al, 1983. Tiglane type diterpene-esters with Epstein-Barr virus-inducing activity from *Sapium sebiferum* [J]. *Agric Biol Chem*, 47:1617-1622.
- PANTHONG A, KANJANAPOTHI D, THITIPONPUNT Y, et al, 1998. Antiinflammatory activity of the alkaloid bukitingine from *Sapium baccatum* [J]. *Planta Med*, 64:530-535.
- PUAPAIROJ P, NAENGCHOMNONG W, KIJOA A, et al, 2005. Cytotoxic activity of lupane-type triterpenes from *Glochidion sphaerogynum* and *Glochidion eriocarpum* two of which induce apoptosis [J]. *Planta Med*, 71(3):208-213.
- RUMBERO A, ARRIAGA-GINER F J, WOLLENWEBER C E, 2000. A new oxyprenyl coumarin and highly methylated flavones from the exudate of *Ozothamnus lycopodioides* (Asteraceae) [J]. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 55:1-44.
- SAKATA K, KAWAZU K, MITSUI T, 1971. Studies on a piscicidal constituent of *Hura crepitans* [J]. *Agr Biol Chem*, 35:2113-2126.
- SONG S C, REN B D, WU X W, et al, 2024. Asiaticasics A-O, structurally intriguing coumarins from *Toddalia asiatica* with potential inflammatory inhibitory activity[J]. *Phytochemistry*, 221:114042.
- VU T T, KIM H, TRAN V K, et al, 2017. Antibacterial activity of tannins isolated from *Sapium baccatum* extract and use for control of tomato bacterial wilt[J]. *PLoS One*, 12(7):e0181499.
- XU Z H, QIN G W, XU R S, 2001. A new bicoumarin from *Stellera chamaejasme* L [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 3(4):335-340.
- YIN S, SU Z, ZHOU Z, et al, 2008. Antimicrobial diterpenes from *Trigonostemon chinensis* [J]. *J Nat Prod*, 71:1414-1417.
- YUN B S, LEE I, RYOO I, et al, 2001. Coumarins with monoamine oxidase inhibitory activity and antioxidative coumarino-lignans from *Hibiscus syriacus* [J]. *J Nat Prod*, 64:1238-1240.
- ZHAO H, LAN Q, WANG Y, et al, 2021. New lignans and a phenylpropanoid from *Triadica rotundifolia* and their antineuroinflammatory and antioxidant activities [J]. *Phytochemistry Lett*, 45:52-56.
- ZHAO H, SU B, ZHOU W, et al, 2020. Diterpenoids and triterpenoids from *Triadica rotundifolia* and their effects on microglial nitric oxide production[J]. *Bioorg Chem*, 105:104332.

(责任编辑 张冰)