

• 化学成分 •

柳叶菜风毛菊的化学成分研究

刘杠杠¹, 李志强¹, 王琦^{1,2}, 李志峰^{1*}, 冯育林^{1,2}, 钟国跃¹

1. 江西中医药大学, 江西 南昌 330006

2. 中药固体制剂制造技术国家工程研究中心, 江西 南昌 330006

摘要: **目的** 研究柳叶菜风毛菊 *Saussurea epilobioides* 的化学成分。 **方法** 利用硅胶、半制备高效液相等色谱技术进行分离纯化, 通过核磁共振波谱、质谱等对分得的化合物进行结构鉴定。 **结果** 从柳叶菜风毛菊 70%乙醇提取物的醋酸乙酯萃取部位中分离得到 31 个化合物, 分别鉴定为 (4aR,6S,8aS)-6-羟基-6-(3-羟基丙-1-烯-2-基)-4,8a-二甲基-4a,5,6,7,8,8a-六氢萘-2(1H)-酮 (1)、3-(2'-羟基-1'-氧代丁酸)-吲哚 (2)、吐叶醇 (3)、芹菜素 (4)、东莨菪内酯 (5)、2,3-二氢-4(1H)-喹啉酮 (6)、2-(3'',4''-二甲氧基苄基)-3-(3'-甲氧基-4'-羟基苄基)- γ -丁内酯 (7)、3,5-二甲氧基-4,9-二羟基-4',7-环氧-3',8-氧杂新木脂素-7'-烯-9'-酸 (8)、3-羟基-3-(2-羟乙基)吲哚啉-2-酮 (9)、二氢脱氢二松柏醇 (10)、黑麦草内酯 (11)、去氢吐叶醇 (12)、1-(4-羟基-3-甲氧基苯基)-2-[4-(3-羟丙基)-2-甲氧基苯氧基]-丙烷-1,3-二醇 (13)、八角莲醇 (14)、异地芫普内酯 (15)、1-(3-甲氧基-4-羟基苯基)-2-(3-甲氧基-1-羟丙基苯氧基)-3-羟基丙-1-酮 (16)、1-(4'-羟基-3'-甲氧基苯基)-2-[4''-(3-羟丙基)-2'',6''-二甲氧基苯氧基]丙烷-1,3-二醇 (17)、vladinol D (18)、异落叶松脂素 (19)、lawsonicin (20)、开环异落叶松脂素 (21)、burselignan (22)、vitriol A (23)、lyratol F (24)、松脂素 (25)、肉桂酸 (26)、罗汉松脂素 (27)、(+)-表松脂酚 (28)、2-[4-(3-羟丙基)-2-甲氧基苯氧基]-1,3-丙二醇 (29)、3-羟基-1-(4-羟基-3,5-二甲氧基苯基)-1-丙酮 (30)、丁香树脂酚 (31)。 **结论** 其中化合物 1 和 2 为新化合物, 分别命名为柳叶醇和柳叶吲哚; 化合物 6~9、14、16~20、22~24、26、29 均是首次从风毛菊属植物中分离得到。

关键词: 柳叶菜风毛菊; (4aR,6S,8aS)-6-羟基-6-(3-羟基丙-1-烯-2-基)-4,8a-二甲基-4a,5,6,7,8,8a-六氢萘-2(1H)-酮; 3-(2'-羟基-1'-氧代丁酸)-吲哚; 柳叶醇; 柳叶吲哚; 2,3-二氢-4(1H)-喹啉酮; 八角莲醇; 异落叶松脂素; 肉桂酸

中图分类号: R284.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2025)08-2748-11

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2025.08.011

Chemical constituents of *Saussurea epilobioides*LIU Ganggang¹, LI Zhiqiang¹, WANG Qi^{1,2}, LI Zhifeng¹, FENG Yulin^{1,2}, ZHONG Guoyue¹

1. Jiangxi University of Chinese Medicine, Nanchang 330006, China

2. National Engineering Research Center for Manufacturing Technology of Chinese Solid Preparation, Nanchang 330006, China

Abstract: Objective To study the chemical constituents from *Saussurea epilobioides*. **Methods** The compounds were separated and purified by various isolation method such as silica gel, semi-preparative high performance liquid chromatography, and the structure of the compounds were identified by nuclear magnetic resonance spectrometry and mass spectrometry. **Results** A total of 31 compounds were isolated from the ethyl acetate extraction site of 70% ethanol extract of *S. epilobioides* and identified as (4aR,6S,8aS)-6-hydroxy-6-(3-hydroxyprop-1-en-2-yl)-4,8a-dimethyl-4a,5,6,7,8,8a-hexahydronaphthalen-2(1H)-one (1), 3-(2'-hydroxy-1'-oxobutanoic acid)-indole (2), vomifoliol (3), apigenin (4), scopoletin (5), 2,3-dihydro-4(1H)-quinolone (6), 2-(3'',4''-dimethoxybenzyl)-3-(3'-methoxy-4'-hydroxybenzyl)- γ -butyrolactone (7), 3,5-dimethoxy-4,9-dihydroxy-4',7-epoxy-3',8-oxyneolign-7'-en-9'-oic acid (8), 3-hydroxy-3-(2-hydroxyethyl)indolin-2-one (9), dihydrodehydrodiconiferyl alcohol (10), loliolide (11), dehydrovomifoliol (12), 1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-2-[4-(3-hydroxypropyl)-2-methoxyphenoxy]-propane-1,3-diol (13), dysosmarol (14), isolololide (15), 1-

收稿日期: 2024-12-09

基金项目: 国家重点研发计划资助项目 (2019YFC1712302); 国家重点研发计划资助项目 (2019YFC1712304)

作者简介: 刘杠杠, 博士研究生, 从事中药药效物质基础研究。E-mail: 2854791586@qq.com

*通信作者: 李志峰, 教授, 从事中药活性物质基础及新药研究。E-mail: wangqilizhifeng@126.com

(3-methoxy-4-hydroxyphenyl)-2-(3-methoxy-1-hydroxypropylphenoxy)-3-hydroxy-propan-1-one (16), 1-(4'-hydroxy-3'-methoxyphenyl)-2-[4''-(3-hydroxypropyl)-2'',6''-dimethoxyphenoxy]propane-1,3-diol (17), vladinol D (18), (+)-isolariciresinol (19), lawsonicin (20), secoisolariciresinol (21), burselignan (22), vitrifol A (23), lyratol F (24), (+)-pinoresinol (25), cinnamic acid (26), matairesinol (27), (+)-epipinoresinol (28), 2-[4-(3-hydroxypropyl)-2-methoxyphenoxy-propane]-1,3-propanediol (29), 3-hydroxy-1-(4-hydroxy-3,5-dimethoxyphenyl)-1-propanone (30), and syringaresinol (31). **Conclusion** Among them, compounds 1 and 2 are new compounds, named epilobioides alcohol and epilobioides indole, and compounds 6—9, 14, 16—20, 22—24, 26 and 29 were isolated from the genus *Saussurea* for the first time.

Key words: *Saussurea epilobioides* Maxim.; (4*aR*,6*S*,8*aS*)-6-hydroxy-6-(3-hydroxyprop-1-en-2-yl)-4,8*a*-dimethyl-4*a*,5,6,7,8,8*a*-hexahydronaphthalen-2(1*H*)-one; 3-(2'-hydroxy-1'-oxobutanoic acid)-indole; epilobioides alcohol; epilobioides indole 2,3-dihydro-4(1*H*)-quinolone; dysosmarol; (+)-isolariciresinol; cinnamic acid

柳叶菜风毛菊 *Saussurea epilobioides* Maxim. 为菊科风毛菊属植物的全草，主要分布在甘肃、青海、宁夏、四川等地，生于海拔 2 600~4 000 m 的山坡处，是藏族药物，俗称“叶格相（藏语）”。其味微苦，性平，具有镇痛、止血、解毒、愈疮等功效，主要用于治疗恶露不止、少腹作痛、尿血、便血、跌打损伤、刀伤出血等病症^[1-4]。由于柳叶菜风毛菊考证较晚，其化学成分研究几乎没有报道，但国内外学者对风毛菊属的其它植物进行了研究，发现风毛菊属植物中含有木脂素类、萜类、黄酮类等成分，具有抗病毒、抗炎、抗肿瘤等药理活性^[5]。

本研究以柳叶菜风毛菊为研究对象，应用硅胶柱色谱、半制备 HPLC 等分离方法对 70%乙醇提取的醋酸乙酯部位化学成分进行了分离纯化，共得到 31 个化合物，基于理化性质和波谱数据分别鉴定为分别鉴定为 (4*aR*,6*S*,8*aS*)-6-羟基-6-(3-羟基丙-1-烯-2-基)-4,8*a*-二甲基-4*a*,5,6,7,8,8*a*-六氢萘-2(1*H*)-酮 [(4*aR*,6*S*,8*aS*)-6-hydroxy-6-(3-hydroxyprop-1-en-2-yl)-4,8*a*-dimethyl-4*a*,5,6,7,8,8*a*-hexahydronaphthalen-2(1*H*)-one, 1]、3-(2'-羟基-1'-氧代丁酸)-吲哚 [3-(2'-hydroxy-1'-oxobutanoic acid)-indole, 2]、吐叶醇 (vomifoliol, 3)、芹菜素 (apigenin, 4)、东莨菪内酯 (scopoletin, 5)、2,3-二氢-4(1*H*)-喹啉酮 [2,3-dihydro-4(1*H*)-quinolone, 6]、2-(3'',4''-二甲氧基苄基)-3-(3'-甲氧基-4'-羟基苄基)- γ -丁内酯 [2-(3'',4''-dimethoxybenzyl)-3-(3'-methoxy-4'-hydroxybenzyl)- γ -butyrolactone, 7]、3,5-二甲氧基-4,9-二羟基-4',7-环氧-3',8-氧杂新木脂素-7'-烯-9'-酸 (3,5-dimethoxy-4,9-dihydroxy-4',7-epoxy-3',8-oxyneolign-7'-en-9'-oic acid, 8)、3-羟基-3-(2-羟乙基)吲哚啉-2-酮 [3-hydroxy-3-(2-hydroxyethyl)indolin-2-one, 9]、二氢脱氢二松柏醇 (dihydrodehydrodiconiferyl alcohol, 10)、黑麦草内酯 (loliolide, 11)、去氢吐叶醇

(dehydrovomifoliol, 12)、1-(4-羟基-3-甲氧基苄基)-2-[4-(3-羟丙基)-2-甲氧基苄氧基]-丙烷-1,3-二醇 (1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-2-[4-(3-hydroxypropyl)-2-methoxyphenoxy]-propane-1,3-diol, 13)、八角莲醇 (dysosmarol, 14)、异地芫普内酯 (isololiolide, 15)、1-(3-甲氧基-4-羟基苄基)-2-(3-甲氧基-1-羟丙基苄氧基)-3-羟基丙-1-酮 [1-(3-methoxy-4-hydroxyphenyl)-2-(3-methoxy-1-hydroxypropylphenoxy)-3-hydroxy-propan-1-one, 16]、1-(4'-羟基-3'-甲氧基苄基)-2-[4''-(3-羟丙基)-2'',6''-二甲氧基苄氧基]丙烷-1,3-二醇 (1-(4'-hydroxy-3'-methoxyphenyl)-2-[4''-(3-hydroxypropyl)-2'',6''-dimethoxyphenoxy]propane-1,3-diol, 17)、vladinol D (18)、异落叶松脂素 [(+)-isolariciresinol, 19]、lawsonicin (20)、开环异落叶松脂素 (secoisolariciresinol, 21)、burselignan (22)、vitrifol A (23)、lyratol F (24)、松脂素 [(+)-pinoresinol, 25]、肉桂酸 (cinnamic acid, 26)、罗汉松脂素 (matairesinol, 27)、(+)-表松脂酚 [(+)-epipinoresinol, 28]、2-[4-(3-羟丙基)-2-甲氧基苄氧基]-1,3-丙二醇 (2-[4-(3-hydroxypropyl)-2-methoxyphenoxy-propane]-1,3-propanediol, 29)、3-羟基-1-(4-羟基-3,5-二甲氧基苄基)-1-丙酮 [3-hydroxy-1-(4-hydroxy-3,5-dimethoxyphenyl)-1-propanone, 30]、丁香树脂酚 (syringaresinol, 31)。其中化合物 1 为新倍半萜类化合物，命名为柳叶醇；2 为新生物碱类化合物，命名为柳叶吲哚；化合物 6~9、14、16~20、22~24、26、29 均是首次从风毛菊属植物中分离得到。本研究为柳叶菜风毛菊的开发和利用提供了理论依据。

1 仪器与材料

Bruker avance 600 型核磁共振仪 (德国布鲁克公司); Bruker avance neo 700 型核磁共振仪 (德国布鲁克公司); Triple TOF 5600 高分辨质谱仪 (美国

ABSciex 公司); EYALA 旋转蒸发器(日本 Eyala 公司); DHG-9036A 型电热恒温鼓风干燥箱(上海精宏实验设备有限公司); EL204 电子天平[梅特勒托利多仪器(上海)有限公司]; LC-XR20UPLC/HPLC(日本岛津公司); Agilent1100 Series 制备液相色谱(美国 Agilent 公司); Waters 2487 制备液相色谱(美国 Waters 公司); YZN50 型液体真空浓缩煎药机(北京东华原医疗设备有限责任公司); TAR08S05-2520WX 型 YMC-Actus 色谱柱(250 mm×20 mm, 5 μm, 日本 YMC 公司); 半制备液相和制备液相所用试剂为色谱纯, 其他均为分析纯。

柳叶菜风毛菊于 2021 年 10 月采自甘肃定西(批号 20211008), 经江西中医药大学钟国跃教授鉴定为柳叶菜风毛菊 *S. epilobioides* Maxim. 的全草, 保存在江西中医药大学中药固体制剂制造技术国家工程研究中心。

2 提取与分离

取柳叶菜风毛菊的干燥全草 14 kg, 粉碎, 加入 10 倍量的 70%乙醇, 室温浸泡过夜后加热回流提取 2 次, 每次 2.5 h, 合并提取液, 减压浓缩, 回收溶剂得柳叶菜风毛菊提取物浸膏 1.5 kg, 加水将其溶剂及混悬, 依次用石油醚、醋酸乙酯萃取, 萃取液减压浓缩、干燥得石油醚部位 110.4 g、醋酸乙酯部位 63.8 g。将醋酸乙酯部位溶解后经正相硅胶色谱(200~300 目)分离, 以二氯甲烷-甲醇(100:0~0:100)梯度洗脱, 得到 27 个组分 Fr. 1~27。组分 Fr.14 经正相硅胶色谱分离, 二氯甲烷-甲醇(50:1~1:1)梯度洗脱, 薄层板制备(展开剂为石油醚-醋酸乙酯 2:3)纯化得化合物 **3** (26.3 mg); 组分 Fr.23 经正相硅胶色谱分离, 二氯甲烷-甲醇(50:1-5:1)梯度洗脱, 薄层板制备(展开剂为二氯甲烷-甲醇 20:1)纯化得化合物 **4** (21.1 mg); 组分 Fr. 4 经半制备高效液相色谱, 以乙腈-水(15:85)为流动相分离, 得到化合物 **5** (24.1 mg, $t_R=18.0$ min); 组分 Fr. 21 经正相硅胶色谱, 以二氯甲烷-甲醇(100:1~1:1)为流动相进行梯度洗脱, 得到 7 个组分 Fr. 21-1~21-7。再将组分 Fr. 21-6 进行半制备高效液相色谱分离, 以乙腈-水(20:80)为流动相, 得到化合物 **6** (14.7 mg, $t_R=27.0$ min)、**9** (9.4 mg, $t_R=33.0$ min); 组分 Fr. 21-3 经半制备高效液相色谱分离, 以乙腈-水(15:85)为流动相, 得到化合物 **7** (9.7 mg, $t_R=53.0$ min); 组分 Fr.16 经半制备高效液相色谱分离, 以乙腈-水(30:70)为流

动相, 得到化合物 **8** (10.3 mg, $t_R=21.0$ min)、**10** (6.3 mg, $t_R=37.0$ min)、**24** (10.7 mg, $t_R=28.0$ min); 组分 Fr. 8 经半制备高效液相色谱分离, 以乙腈-水(18:82)为流动相, 得到化合物 **11** (8.2 mg, $t_R=24.0$ min)、**12** (10.9 mg, $t_R=33.0$ min)、**15** (7.9 mg, $t_R=39.0$ min); 组分 Fr. 17 经正相硅胶色谱分离, 二氯甲烷-甲醇(100:1~10:1)梯度洗脱, 得到 3 个组分 Fr. 17-1~17-3。再将组分 Fr. 17-2 进行半制备高效液相色谱分离, 以乙腈-水(20:80)为流动相, 得到化合物 **13** (10.0 mg, $t_R=31.0$ min)、**14** (8.2 mg, $t_R=35.0$ min); 组分 Fr.15 经正相硅胶色谱分离, 二氯甲烷-甲醇(100:1~10:1)梯度洗脱, 得到 5 个组分 Fr. 15-1~15-5。对组分 Fr. 15-4 进行半制备高效液相色谱分离, 以乙腈-水(13:87)为流动相, 得到化合物 **1** (7.7 mg, $t_R=51.0$ min)、**16** (15.3 mg, $t_R=62.0$ min)、**21** (19.2 mg, $t_R=41.0$ min) 和 **17** (5.6 mg, $t_R=69.0$ min)。组分 Fr. 15-5 经半制备高效液相色谱分离, 以乙腈-水(20:80)为流动相, 得到化合物 **20** (9.6 mg, $t_R=32.0$ min); 组分 Fr. 12 经半制备高效液相色谱分离, 以乙腈-水(18:82)为流动相, 得到化合物 **18** (9.1 mg, $t_R=33.0$ min)、**19** (12.9 mg, $t_R=43.0$ min); 组分 Fr. 11 经半制备高效液相色谱分离, 以乙腈-水(15:85)为流动相, 得到化合物 **22** (13.2 mg, $t_R=35.0$ min); 组分 Fr. 22 经半制备高效液相色谱分离, 以乙腈-水(24:76)为流动相, 得到化合物 **23** (8.3 mg, $t_R=42.0$ min); 组分 Fr. 6 经半制备高效液相色谱分离, 以乙腈-水(22:78)为流动相, 得到化合物 **25** (31.7 mg, $t_R=37.0$ min)、**26** (6.6 mg, $t_R=43.0$ min)、**27** (35.4 mg, $t_R=59.0$ min)、**28** (15.4 mg, $t_R=48.0$ min); 组分 Fr. 9 经半制备高效液相色谱分离, 以乙腈-水(30:70)为流动相, 得到 3 个组分 Fr. 9-1~9-3, 再对组分 Fr. 9-3 进行半制备高效液相色谱分离, 以乙腈-水(11:89)为流动相, 得到化合物 **29** (9.2 mg, $t_R=15.0$ min)、**31** (14.0 mg, $t_R=72.0$ min), 组分 Fr. 9-1 经半制备高效液相色谱分离, 以乙腈-水(15:85)为流动相, 得到化合物 **30** (17.1 mg, $t_R=24.0$ min); 组分 Fr. 24 经半制备高效液相色谱分离, 以乙腈-水(12:88)为流动相, 得到化合物 **2** (11.4 mg, $t_R=46.0$ min)。

3 结构鉴定

3.1 新化合物结构解析

化合物 **1**: 无色油状物; HR-ESI-MS m/z :

251.164 0 [M+H]⁺ (理论值 251.164 2 [M+H]⁺), 推算分子式为 C₁₅H₂₂O₃, 不饱和度为 5, UV λ_{max}^{MeOH} (nm): 247. 在 ¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) 图谱中, 显示 2 个甲基信号 [δ_H 1.95 (s), 0.93 (s)], 3 个烯烃信号 [δ_H 5.90 (s), 5.28 (d, *J* = 1.2 Hz), 5.21 (d, *J* = 1.5 Hz)], 在 ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) 谱图中, 显示 1 个羰基碳信号 δ_C 200.7, 2 个甲基碳信号 (δ_C 20.7, 14.7), DEPT 谱显示 6 个亚甲基 [δ_C 108.1, 61.7, 53.6, 34.9, 33.8 和 31.0], 2 个次甲基信号 (δ_C 125.9 和 42.6)。根据化合物的一维核磁共振谱图可见该化合物与 teacrenone^[6]具有类似的羰基信号和烯烃信号, 其不同之处在于 11 号位取代官能团不一致, 该化合物为羟甲基取代, teacrenone 为甲基取代, 并且在 HMBC 谱 (图 1) 中观察到多组碳氢相关信号: H-1 与 C-2/C-3/C-5/C-10/C-15 相关, H-3 与 C-1/C-5/C-14 相关, H-5 与 C-4/C-6 相关, H-6 与 C-5/C-7/C-10 相关, H-8 与 C-7/C-9/C-10/C-11 相关, H-12 与 C-7/C-11/C-13 相关, H-13 与 C-7/C-11/C-12 相关, H-14 与 C-3/C-4/C-5 相关, H-15 与 C-1/C-5/C-9/C-10 相关。综合以上波谱数据, 确定化合物的结构, 该结构中含有 3 个手性碳原子, 通过该化合物的实验 ECD 谱与计算 ECD 谱对比 (图 2), 确定该化合物的绝对构型为 (5*R*,7*S*,10*S*), 结构为 (4*aR*,6*S*,8*aS*)-6-羟基-6-(3-羟基丙-1-烯-2-基)-4,8*a*-二甲基-4*a*,5,6,7,8,8*a*-六氢萘-2(1*H*)-酮, 经检索为 1 个新化合物, 命名为为柳叶醇。其 NMR 数据归属见表 1。

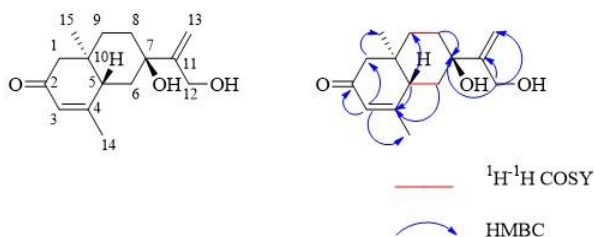


图 1 化合物 1 的 ¹H-¹H COSY 和 HMBC 关键信号
Fig. 1 ¹H-¹H COSY and HMBC key correlations of compound 1

化合物 2: 黄色油状物; HR-ESI-MS *m/z*: 232.061 7 [M-H]⁻ (理论值 232.061 5 [M-H]⁻), 推算分子式为 C₁₂H₁₁NO₄, UV λ_{max}^{MeOH} (nm): 313, 计算不饱和度为 8。在 ¹H-NMR 图谱 (700 MHz, CD₃OD) 中, 显示 1 个烯烃信号 δ_H 8.31(s), 4 个芳香质子信号 [δ_H 8.26 (1H, d, *J* = 8.7 Hz), 7.46 (1H, d, *J* = 8.8 Hz), 7.22 (2H, m)], 在 ¹³C-NMR 谱图 (175 MHz, CD₃OD) 中, 显示 2 个羰基信号 (δ_C 195.6,

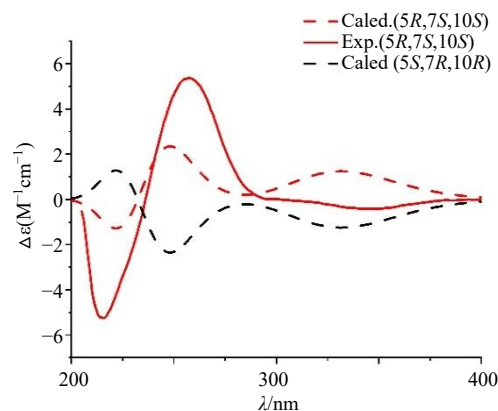


图 2 化合物 1 及其对映体的计算与实测 ECD 图谱
Fig. 2 Calculated and measured ECD spectra of compound 1 and its enantiomer

表 1 化合物 1 的 ¹H-NMR (600 MHz) 和 ¹³C-NMR 数据 (150 MHz)

Table 1 The ¹H-NMR (600 MHz) and ¹³C-NMR spectroscopic data (150 MHz) of compound 1

碳位	δ _H	δ _C
1	2.33 (1H, d, <i>J</i> = 16.1 Hz, H-a) 2.23 (1H, d, <i>J</i> = 16.0 Hz, H-b)	53.6
2		200.7
3	5.90 (1H, s)	125.9
4		166.4
5	3.01 (1H, m)	42.6
6	1.79 (1H, dd, <i>J</i> = 12.9, 7.1 Hz, H-a) 1.98 (1H, dd, <i>J</i> = 12.7, 5.9 Hz, H-b)	34.9
7		73.3
8	1.61 (1H, m, H-a), 1.90 (1H, m, H-b)	31.0
9	1.38 (1H, m, H-a), 1.89 (1H, m, H-b)	33.8
10		36.9
11		155.6
12	4.25 (2H, s)	61.7
13	5.28 (1H, d, <i>J</i> = 1.2 Hz), 5.21 (1H, d, <i>J</i> = 1.5 Hz)	108.1
14	1.95 (3H, s)	20.7
15	0.93 (3H, s)	14.7

173.4), DEPT 谱显示 1 个亚甲基信号 (δ_C 40.1), 6 个次甲基信号 (δ_C 134.1, 123.1, 122.0, 121.5, 111.6, 71.1)。根据化合物的一维核磁共振谱图可见该化合物与 4-羟基-5-(吡啶-3-基)-5-氧代戊烷-2-酮^[7]具有类似的羰基信号和烯烃信号, 其不同之处在于 4'号位取代官能团不一致, 该化合物为羟基取代, 4-羟基-5-(吡啶-3-基)-5-氧代戊烷-2-酮为甲基取代; 在

HMBC 图谱中可以观察到多组碳氢相关信号: H-3' 与 C-1'/C-2'/C-4' 相关, H-2 与 C-3/C-4a/C-7a/C-1' 相关, H-4 与 C-3/C-5/C-6 相关, H-2' 与 C-1'/C-3'/C-4' 等相关信号。综合分析上述波谱数据, 确定化合物的结构(图3), 并将其命名为3-(2'-羟基-1'-氧代丁酸)-吡啶, 通过 SciFinder 检索确定为未见报道的新化合物, 命名为柳叶吡啶。其 NMR 数据归属见表2。

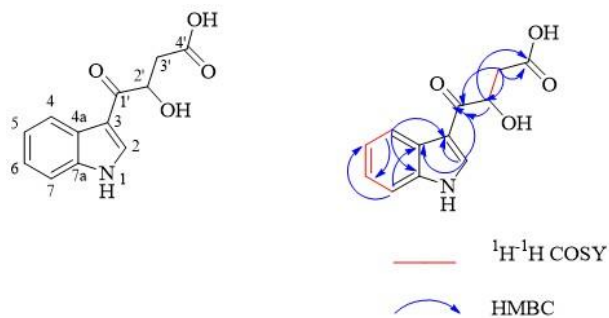


图3 化合物2的¹H-¹H COSY 和 HMBC 关键信号

Fig. 3 ¹H-¹H COSY and HMBC key correlations of compound 2

表2 化合物2的¹H-NMR (700 MHz) 和¹³C-NMR (175 MHz) 数据

Table 2 ¹H-NMR (700 MHz) and ¹³C-NMR spectroscopic data (175 MHz) of compound 2

碳位	δ_{H}	δ_{C}
2	8.31 (1H, s)	134.1
3		113.5
4	8.26 (1H, d, $J = 8.7$ Hz)	122.0
4a		126.0
5	7.22 (1H, m)	121.5
6	7.22 (1H, m)	123.1
7	7.46 (1H, d, $J = 8.8$ Hz)	111.6
7a		136.8
1'		195.6
2'	5.21 (1H, dd, $J = 8.7, 4.4$ Hz)	71.1
3'a	2.91 (1H, dd, $J = 15.9, 4.4$ Hz)	40.1
3'b	2.65 (1H, dd, $J = 15.9, 8.6$ Hz)	
4'		173.4

3.2 已知化合物结构鉴定

化合物3: 无色结晶(甲醇); HR-ESI-MS m/z : 247.129 9 $[M+Na]^+$ (理论值 247.1305 $[M+Na]^+$)。分子式为 $C_{13}H_{20}O_3$ 。¹H-NMR (600 MHz, CD_3OD) δ : 5.90 (1H, s, H-4), 5.81 (2H, overlapped, H-7, 8), 4.34 (1H, m, H-9), 2.54 (1H, d, $J = 16.9$ Hz, H-2a), 2.17 (1H, d, $J = 17.1$ Hz, H-2b), 1.93 (3H, s, H-13), 1.27 (3H, d, $J = 6.5$ Hz, H-10), 1.06 (3H, s, H-12), 1.04 (3H, s, H-

11); ¹³C-NMR (150 MHz, CD_3OD) δ : 199.8 (C-3), 135.5 (C-7), 128.6 (C-8), 125.7 (C-4), 67.2 (C-9), 49.3 (C-2), 41.0 (C-1), 23.1 (C-10), 22.5 (C-11), 22.1 (C-12), 18.2 (C-13)。以上数据与文献报道基本一致^[8], 故鉴定化合物3为吐叶醇。

化合物4: 淡黄色粉末; HR-ESI-MS m/z : 271.060 6 $[M+H]^+$ (理论值 271.060 1 $[M+H]^+$)。分子式为 $C_{15}H_{10}O_5$ 。¹H-NMR (600 MHz, $DMSO-d_6$) δ : 7.90 (2H, d, $J = 8.8$ Hz, H-2', 6'), 6.93 (2H, d, $J = 8.8$ Hz, H-3', 5'), 6.71 (1H, s, H-3), 6.45 (1H, d, $J = 1.8$ Hz, H-8), 6.15 (1H, d, $J = 1.9$ Hz, H-6); ¹³C-NMR (150 MHz, $DMSO$) δ : 181.9 (C-4), 166.3 (C-2), 164.0 (C-7), 162.2 (C-5), 161.8 (C-4'), 157.9 (C-9), 128.8 (C-2', 6'), 121.2 (C-1'), 116.5 (C-3', 5'), 103.4 (C-10), 102.9 (C-3), 99.7 (C-6), 94.7 (C-8)。以上数据与文献报道基本一致^[9], 故鉴定化合物4为芹菜素。

化合物5: 白色粉末; HR-ESI-MS m/z : 193.049 2 $[M+H]^+$ (理论值 193.049 5 $[M+H]^+$)。分子式为 $C_{10}H_8O_4$ 。¹H-NMR (600 MHz, CD_3OD) δ : 7.87 (1H, d, $J = 9.4$ Hz, H-4), 7.12 (1H, s, H-5), 6.78 (1H, s, H-8), 6.22 (1H, d, $J = 9.4$ Hz, H-3), 3.92 (3H, s, H-6); ¹³C-NMR (150 MHz, CD_3OD) δ : 162.6 (C-2), 151.5 (C-7), 150.0 (C-9), 145.7 (C-6), 144.7 (C-4), 111.2 (C-5, 10), 108.5 (C-3), 102.5 (C-8), 55.4 (6-OCH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[10], 故鉴定化合物5为东莨菪内酯。

化合物6: 淡黄色粉末; HR-ESI-MS m/z : 146.059 6 $[M+H]^+$ (理论值 146.060 0 $[M+H]^+$)。分子式为 C_9H_7NO 。¹H-NMR (600 MHz, CD_3OD) δ : 8.28 (1H, d, $J = 9.3$ Hz, H-5), 8.00 (1H, d, $J = 7.3$ Hz, H-3), 7.74 (1H, m, H-7), 7.61 (1H, d, $J = 8.3$ Hz, H-8), 7.45 (1H, m, H-6), 6.37 (1H, d, $J = 7.2$ Hz, H-2); ¹³C-NMR (150 MHz, CD_3OD) δ : 179.4 (C-4), 140.1 (C-9), 140.0 (C-2), 132.2 (C-7), 125.3 (C-5), 124.8 (C-10), 118.0 (C-8), 108.4 (C-3)。以上数据与文献报道基本一致^[11], 故鉴定化合物6为2,3-二氢-4(1*H*)-喹啉酮。

化合物7: 白色粉末; HR-ESI-MS m/z : 373.164 4 $[M+H]^+$ (理论值 373.164 6 $[M+H]^+$)。分子式为 $C_{21}H_{24}O_6$ 。¹H-NMR (600 MHz, CD_3OD) δ : 6.82 (1H, d, $J = 8.2$ Hz, H-5'), 6.75 (1H, d, $J = 1.9$ Hz, H-5''), 6.71 (1H, d, $J = 8.0$ Hz, H-2''), 6.64 (1H, d, $J = 1.9$ Hz, H-6''), 6.60 (2H, dd, $J = 8.7, 2.0$ Hz, H-2', 6'), 4.08 (1H, t, $J = 8.8$ Hz, H-4b), 3.87 (1H, t, $J = 8.4$ Hz, H-4a), 3.73

(9H, s, 3×OCH₃), 2.83 (1H, dd, *J* = 13.9, 5.3 Hz, H-6b), 2.76 (1H, dd, *J* = 13.7, 7.0 Hz, H-6a), 2.69 (1H, m, H-2), 2.50~2.52 (1H, m, H-5b), 2.47~2.49 (1H, m, H-5a), 2.46 (1H, m, H-3); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 178.9 (C-1), 149.1 (C-3''), 147.9 (C-4''), 147.8 (C-3'), 145.6 (C-4'), 131.7 (C-1''), 129.4 (C-1'), 122.0 (C-6''), 120.8 (C-6'), 115.8 (C-5'), 113.9 (C-2''), 112.8 (C-2), 112.2 (C-5''), 71.2 (C-4), 56.0 (3×CH₃), 46.1 (C-2), 41.3 (C-3), 37.4 (C-5), 34.2 (C-6)。以上数据与文献报道基本一致^[12], 故鉴定化合物 **7** 为 2-(3'',4''-二甲氧基苄基)-3-(3'-甲氧基-4'-羟基苄基)-γ-丁内酯。

化合物 **8**: 白色粉末; HR-ESI-MS *m/z*: 389.123 4 [M+H]⁺ (理论值 389.123 1 [M+H]⁺)。分子式为 C₂₀H₂₀O₈。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 7.53 (1H, d, *J* = 15.9 Hz, H-7'), 7.30 (1H, d, *J* = 1.9 Hz, H-2'), 7.22 (1H, dd, *J* = 8.4, 1.9 Hz, H-6'), 6.97 (1H, d, *J* = 8.3 Hz, H-5'), 6.74 (2H, s, H-6, 2), 6.41 (1H, d, *J* = 16.0 Hz, H-8'), 4.95 (1H, d, *J* = 7.9 Hz, H-7), 4.24 (1H, m, H-8), 3.77 (6H, s, 2×OCH₃), 3.54 (1H, dd, *J* = 12.4, 2.4 Hz, H-9a), 3.35 (1H, dd, *J* = 12.2, 4.6 Hz, H-9b); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 168.3 (C-9'), 148.3 (C-3, C-5), 146.0 (C-4'), 144.1 (C-7'), 143.9 (C-3'), 136.4 (C-4), 128.3 (C-1'), 126.7 (C-1), 122.1 (C-6'), 117.7 (C-8'), 117.7 (C-5'), 116.9 (C-2'), 105.8 (C-6, 2), 78.3 (C-8), 76.9 (C-7), 60.5 (C-9), 56.5 (2×OCH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[13], 故鉴定化合物 **8** 为 3,5-二甲氧基-4,9-二羟基-4',7-环氧-3',8-氧杂新木脂素-7'-烯-9'-酸。

化合物 **9**: 白色粉末; HR-ESI-MS *m/z*: 194.081 0 [M+H]⁺ (理论值 194.081 2 [M+H]⁺)。分子式为 C₁₀H₁₁NO₃。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 10.20 (1H, s, -OH), 7.26 (1H, d, *J* = 7.3 Hz, H-4), 7.19 (1H, t, *J* = 7.7 Hz, H-6), 6.96 (1H, t, *J* = 7.4 Hz, H-5), 6.79 (1H, d, *J* = 7.7 Hz, H-7), 3.28 (2H, m, H-9), 1.96 (2H, m, H-8); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 179.6 (C-2), 142.1 (C-7a), 132.5 (C-3a), 129.3 (C-6), 124.4 (C-5), 122.0 (C-4), 110.0 (C-7), 74.7 (C-3), 56.7 (C-9), 41.0 (C-8)。以上数据与文献报道基本一致^[14], 故鉴定化合物 **9** 为 3-羟基-3-(2-羟乙基)吡啶-2-酮。

化合物 **10**: 黄色油状物; HR-ESI-MS *m/z*: 361.164 5 [M+H]⁺ (理论值 361.164 6 [M+H]⁺)。分子式为 C₂₀H₂₄O₆。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆)

δ: 6.92 (1H, s, H-2), 6.76 (2H, s, H-5, 6), 6.69 (2H, d, *J* = 6.1 Hz, H-2', 6'), 5.42 (1H, d, *J* = 6.8 Hz, H-7), 3.77 (3H, s, 3-OCH₃), 3.75 (3H, s, 3'-OCH₃), 3.69 (2H, m, H-9'), 3.42 (3H, m, H-9, 8), 2.54 (2H, t, *J* = 7.7 Hz, H-7'), 1.71 (2H, m, H-8'); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 148.0 (C-3), 146.8 (C-4'), 146.0 (C-4), 143.8 (C-3'), 135.5 (C-1'), 133.0 (C-1), 129.5 (C-5'), 119.0 (C-6), 116.9 (C-6'), 115.8 (C-5), 112.9 (C-2'), 110.8 (C-2), 87.3 (C-7), 63.5 (C-9'), 60.7 (C-9), 56.1 (2×OCH₃), 53.8 (C-8), 35.2 (C-8'), 32.0 (C-7')。以上数据与文献报道基本一致^[15], 故鉴定化合物 **10** 为二氢脱氢二松柏醇。

化合物 **11**: 淡黄色油状物; HR-ESI-MS *m/z*: 197.117 3 [M+H]⁺ (理论值 197.117 2 [M+H]⁺)。分子式为 C₁₁H₁₆O₃。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 5.77 (1H, s, H-7), 4.23 (1H, m, H-3), 2.45 (1H, m, H-4a), 2.02 (1H, m, H-2a), 1.78 (3H, s, H-11), 1.75 (1H, m, H-4b), 1.54 (1H, dd, *J* = 14.4, 3.7 Hz, H-2b), 1.48 (3H, s, H-10), 1.29 (3H, s, H-9); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 184.3 (C-6), 173.0 (C-8), 111.9 (C-7), 87.6 (C-5), 65.9 (C-3), 46.6 (C-2), 45.0 (C-4), 35.8 (C-1), 29.6 (C-9), 25.6 (C-10), 26.0 (C-11)。以上数据与文献报道基本一致^[16], 故鉴定化合物 **11** 为黑麦草内酯。

化合物 **12**: 黄色油状物; HR-ESI-MS *m/z*: 223.133 1 [M+H]⁺ (理论值 223.132 9 [M+H]⁺)。分子式为 C₁₃H₁₈O₃。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 7.03 (1H, d, *J* = 15.8 Hz, H-7), 6.47 (1H, d, *J* = 15.8 Hz, H-8), 5.95 (1H, s, H-4), 2.64 (1H, d, *J* = 17.1 Hz, H-2a), 2.32 (3H, s, H-10), 2.31 (1H, d, *J* = 17.5 Hz, H-2b), 1.92 (3H, d, *J* = 1.4 Hz, H-13), 1.08 (3H, s, H-11), 1.04 (3H, s, H-12); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 199.3 (C-9), 199.0 (C-3), 163.3 (C-5), 147.0 (C-7), 130.3 (C-8), 126.6 (C-4), 78.6 (C-6), 49.1 (C-2), 41.3 (C-1), 26.2 (C-10), 23.3 (C-12), 22.1 (C-11), 17.8 (C-13)。以上数据与文献报道基本一致^[17], 故鉴定化合物 **12** 为去氢吐叶醇。

化合物 **13**: 黄色油状物; HR-ESI-MS *m/z*: 401.157 7 [M+Na]⁺ (理论值 401.157 1 [M+Na]⁺)。分子式为 C₂₀H₂₆O₇。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 7.02 (1H, d, *J* = 2.1 Hz, H-2), 6.83~6.85 (2H, m, H-6, 5'), 6.81 (1H, d, *J* = 2.1 Hz, H-2'), 6.76 (1H, d, *J* = 8.0 Hz, H-5), 6.69 (1H, dd, *J* = 8.2, 2.2 Hz, H-6'), 4.85 (1H, d, *J* = 5.8 Hz, H-7), 4.30 (1H, m, H-8), 3.85 (1H, dd,

$J = 11.9, 5.7$ Hz, H-9a), 3.82 (3H, s, 3'-OCH₃), 3.80 (3H, s, 3-OCH₃), 3.78 (1H, dd, $J = 12.0, 3.7$ Hz, H-9b), 3.56 (2H, t, $J = 6.5$ Hz, H-9'), 2.62 (2H, t, $J = 7.4$ Hz, H-7'), 1.81 (2H, m, H-8'); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ : 150.5 (C-3'), 147.3 (C-3), 145.8 (C-4'), 145.6 (C-4), 136.7 (C-1'), 132.7 (C-1), 120.5 (C-6'), 119.6 (C-6), 118.2 (C-2), 112.6 (C-2'), 114.2 (C-5), 110.4 (C-5'), 85.3 (C-8), 72.7 (C-7), 60.8 (C-9'), 60.8 (C-9), 55.1 (3'-OCH₃), 54.9 (3-OCH₃), 34.1 (C-8'), 31.3 (C-7')。以上数据与文献报道基本一致^[18], 故鉴定化合物 **13** 为 1-(4-羟基-3-甲氧基苯基)-2-[4-(3-羟丙基)-2-甲氧基苯氧基]-丙烷-1,3-二醇。

化合物 **14**: 白色粉末; HR-ESI-MS m/z : 399.142 6 [M+Na]⁺ (理论值 399.141 4 [M+Na]⁺)。分子式为 C₂₀H₂₄O₇。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ : 6.94 (1H, d, $J = 2.2$ Hz, H-2'), 6.89 (1H, s, H-2), 6.82 (1H, d, $J = 2.0$ Hz, H-6'), 6.78 (1H, s, H-5'), 6.76 (2H, s, H-4, 6), 4.64 (1H, d, $J = 7.4$ Hz, H-7'), 4.51 (1H, d, $J = 8.6$ Hz, H-7), 4.27 (1H, dd, $J = 9.0, 4.3$ Hz, H-9b), 3.94 (1H, dd, $J = 9.0, 1.6$ Hz, H-9a), 3.87 (3H, s, 3'-OCH₃), 3.84 (3H, s, 3-OCH₃), 3.32 (1H, m, H-9'b), 3.25 (1H, dd, $J = 11.6, 5.8$ Hz, H-9'a), 2.56 (1H, m, H-8), 1.91 (1H, m, H-8'); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ : 147.6 (C-3'), 147.5 (C-5), 145.7 (C-3), 145.7 (C-4'), 134.7 (C-1), 133.3 (C-1'), 119.3 (C-6), 118.8 (C-6'), 114.5 (C-5'), 114.5 (C-4), 110.1 (C-2), 109.6 (C-2'), 83.6 (C-7'), 75.2 (C-7), 70.1 (C-9), 60.8 (C-9'), 55.0 (2×OCH₃), 54.9 (C-8'), 52.1 (C-8)。以上数据与文献报道基本一致^[19], 故鉴定化合物 **14** 为八角莲醇。

化合物 **15**: 淡黄色油状物; HR-ESI-MS m/z : 197.117 2 [M+H]⁺ (理论值 197.117 2 [M+H]⁺)。分子式为 C₁₁H₁₆O₃。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ : 5.80 (1H, s, H-7), 4.12 (1H, m, H-3), 2.48 (1H, m, H-4a), 2.02 (1H, m, H-2a), 1.61 (3H, s, H-11), 1.44 (1H, t, $J = 11.6$ Hz, H-4b), 1.33 (3H, s, H-10), 1.31 (3H, s, H-9), 1.31 (1H, overlapped, H-2b); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ : 182.5 (C-6), 172.6 (C-8), 112.3 (C-7), 87.2 (C-5), 63.9 (C-3), 49.3 (C-2), 47.7 (C-4), 34.8 (C-1), 28.9 (C-11), 24.4 (C-10), 23.9 (C-9)。以上数据与文献报道基本一致^[20], 故鉴定化合物 **15** 为异地芫内酯。

化合物 **16**: 黄色油状物; HR-ESI-MS m/z : 377.159 5 [M+H]⁺ (理论值 377.159 5 [M+H]⁺)。

分子式为 C₂₀H₂₄O₇。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ : 7.72 (1H, dd, $J = 8.4, 2.0$ Hz, H-6'), 7.64 (1H, d, $J = 2.0$ Hz, H-2'), 6.90 (1H, d, $J = 8.4$ Hz, H-5'), 6.85 (1H, d, $J = 2.1$ Hz, H-2''), 6.78 (1H, d, $J = 8.2$ Hz, H-5''), 6.67 (1H, dd, $J = 8.2, 2.1$ Hz, H-6''), 5.54 (1H, t, $J = 4.6$ Hz, H-2), 4.04 (2H, m, H-3), 3.90 (3H, s, 3'-OCH₃), 3.80 (3H, s, 3''-OCH₃), 3.55 (2H, t, $J = 6.5$ Hz, H-9''), 2.62 (2H, t, $J = 7.4$ Hz, H-7''), 1.81 (2H, m, H-8''); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ : 196.1 (C-1), 152.6 (C-4'), 149.7 (C-3''), 147.8 (C-3'), 145.2 (C-4''), 136.7 (C-1''), 127.2 (C-1'), 123.8 (C-6'), 120.2 (C-6''), 116.2 (C-5''), 114.6 (C-5'), 112.7 (C-2''), 111.2 (C-2'), 82.7 (C-2), 63.0 (C-3), 60.8 (C-9''), 55.0 (3''-OCH₃), 55.0 (3'-OCH₃), 34.1 (C-7''), 31.2 (C-8'')。以上数据与文献报道基本一致^[21], 故鉴定化合物 **16** 为 1-(3-甲氧基-4-羟基苯基)-2-(3-甲氧基-1-羟丙基苯氧基)-3-羟基丙-1-酮。

化合物 **17**: 无色油状物; HR-ESI-MS m/z : 431.167 8 [M+Na]⁺ (理论值 431.167 6 [M+Na]⁺)。分子式为 C₂₁H₂₈O₈。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ : 7.01 (1H, d, $J = 2.0$ Hz, H-2), 6.81 (1H, dd, $J = 8.1, 2.0$ Hz, H-6), 6.77 (1H, d, $J = 8.1$ Hz, H-5), 6.56 (2H, s, H-2', H-6'), 4.94 (1H, d, $J = 4.9$ Hz, H-7), 4.20 (1H, m, H-8), 3.89 (1H, dd, $J = 12.0, 5.6$ Hz, H-9a), 3.86 (3H, s, 3-OCH₃), 3.83 (6H, s, 3', 5'-OCH₃), 3.58 (2H, t, $J = 6.4$ Hz, H-9'), 3.55 (1H, dd, $J = 12.0, 3.6$ Hz, H-9b), 2.65 (2H, t, $J = 7.7$ Hz, H-7'), 1.85 (2H, m, H-8'); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ : 153.0 (C-3', 5'), 147.3 (C-3), 145.2 (C-4), 138.5 (C-1'), 134.0 (C-4'), 132.4 (C-1), 119.2 (C-6), 114.3 (C-5), 110.0 (C-2), 105.5 (C-2'), 86.1 (C-8), 72.6 (C-7), 60.8 (C-9'), 60.1 (C-9), 55.2 (3', 5'-OCH₃), 55.0 (3-OCH₃), 34.1 (C-8'), 32.0 (C-7')。以上数据与文献报道基本一致^[22], 故鉴定化合物 **17** 为 1-(4'-羟基-3'-甲氧基苯基)-2-[4''-(3-羟丙基)-2'',6''-二甲氧基苯氧基]丙烷-1,3-二醇。

化合物 **18**: 淡黄色油状物; HR-ESI-MS m/z : 375.145 3 [M+H]⁺ (理论值 375.143 8 [M+H]⁺)。分子式为 C₂₀H₂₂O₇。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ : 7.62~7.67 (2H, overlapped, H-2', 6'), 7.08 (1H, d, $J = 1.9$ Hz, H-2), 6.92 (1H, d, $J = 8.8$ Hz, H-5'), 6.87 (1H, dd, $J = 8.2, 2.0$ Hz, H-6), 6.78 (1H, d, $J = 8.0$ Hz, H-5), 4.66 (1H, d, $J = 8.6$ Hz, H-7'), 4.27 (1H, m, H-8'), 4.21 (1H, t, $J = 8.5$ Hz, H-9'b), 4.17 (1H, dd, $J = 8.6, 5.3$ Hz, H-9'a), 3.94 (3H, s, 3'-OCH₃), 3.90 (3H, s, 3-OCH₃),

3.68 (1H, dd, $J = 11.5, 4.4$ Hz, H-9a), 3.63 (1H, dd, $J = 11.5, 5.2$ Hz, H-9b), 2.71 (1H, m, H-8); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, CD_3OD) δ : 198.9 (C-7), 152.2 (C-4), 147.8 (C-3), 147.7 (C-4'), 146.1 (C-3'), 132.1 (C-1'), 128.7 (C-1), 123.7 (C-6), 119.6 (C-6'), 114.6 (C-5), 114.5 (C-5'), 111.0 (C-2), 110.0 (C-2'), 83.9 (C-7'), 70.4 (C-9), 59.8 (C-9'), 55.0 (3'-OCH₃), 55.0 (3-OCH₃), 53.2 (C-8'), 48.8 (C-8)。以上数据与文献报道基本一致^[23], 故鉴定化合物 **18** 为 vladinol D。

化合物 **19**: 白色结晶 (甲醇); HR-ESI-MS m/z : 383.146 9 $[\text{M}+\text{Na}]^+$ (理论值 383.146 5 $[\text{M}+\text{Na}]^+$)。分子式为 $\text{C}_{20}\text{H}_{24}\text{O}_6$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, CD_3OD) δ : 6.77 (1H, d, $J = 8.0$ Hz, H-5'), 6.70 (1H, d, $J = 2.0$ Hz, H-2'), 6.67 (1H, s, H-2), 6.64 (1H, dd, $J = 8.0, 2.0$ Hz, H-6'), 6.21 (1H, s, H-5), 3.83 (3H, s, 3'-OCH₃), 3.79 (3H, s, 3-OCH₃), 3.82 (1H, d, $J = 11.0$ Hz, H-7'), 3.72 (1H, dd, $J = 10.9, 4.8$ Hz, H-9'a), 3.67 (2H, m, H-9), 3.42 (1H, dd, $J = 11.3, 4.1$ Hz, H-9'b), 2.80 (2H, d, $J = 7.7$ Hz, H-7), 2.02 (1H, m, H-8), 1.78 (1H, m, H-8'); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, CD_3OD) δ : 147.6 (C-3'), 145.8 (C-3), 144.6 (C-4'), 143.9 (C-4), 137.2 (C-1'), 132.8 (C-6), 127.6 (C-1), 121.8 (C-6'), 116.0 (C-5), 114.6 (C-5'), 112.4 (C-2'), 111.0 (C-2), 64.5 (C-9), 60.8 (C-9'), 55.0 (3'-OCH₃), 54.9 (3-OCH₃), 46.7 (C-8'), 46.6 (C-7'), 38.6 (C-8), 32.2 (C-7)。以上数据与文献报道基本一致^[24], 故鉴定化合物 **19** 为异落叶松脂素。

化合物 **20**: 淡黄色油状物; HR-ESI-MS m/z : 361.164 9 $[\text{M}+\text{H}]^+$ (理论值 361.164 6 $[\text{M}+\text{H}]^+$)。分子式为 $\text{C}_{20}\text{H}_{24}\text{O}_6$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, CD_3OD) δ : 6.97 (1H, d, $J = 2.0$ Hz, H-2'), 6.85 (1H, dd, $J = 8.1, 2.0$ Hz, H-6'), 6.79 (1H, d, $J = 8.2$ Hz, H-5'), 6.75 (2H, s, H-4, 7), 5.52 (1H, d, $J = 6.2$ Hz, H-2), 3.87 (3H, s, 6-OCH₃), 3.84 (3H, s, 3'-OCH₃), 3.76~3.86 (2H, m, H-3 β), 3.59 (2H, t, $J = 6.5$ Hz, H-3''), 3.48 (1H, m, H-3), 2.65 (2H, t, $J = 7.5$ Hz, H-1''), 1.84 (2H, m, H-2''); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, CD_3OD) δ : 147.7 (C-6), 146.1 (C-7a), 146.1 (C-3'), 143.8 (C-5), 135.5 (C-1'), 133.4 (C-4'), 128.5 (C-3a), 118.3 (C-6'), 116.5 (C-4), 114.7 (C-5'), 112.7 (C-7), 109.1 (C-2'), 87.6 (C-2), 63.6 (C-3 β), 60.8 (C-3''), 55.3 (3'-OCH₃), 55.0 (6-OCH₃), 54.1 (C-3), 34.4 (C-2''), 31.5 (C-1'')。以上数据与文献报道基本一致^[25], 故鉴定化合物 **20** 为 lawsonicin。

化合物 **21**: 白色晶体 (甲醇); HR-ESI-MS m/z :

363.180 0 $[\text{M}+\text{H}]^+$ (理论值 363.180 2 $[\text{M}+\text{H}]^+$)。分子式为 $\text{C}_{20}\text{H}_{26}\text{O}_6$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, CD_3OD) δ : 6.67 (2H, d, $J = 7.9$ Hz, H-5, 5'), 6.61 (2H, d, $J = 2.0$ Hz, H-2, 2'), 6.57 (2H, dd, $J = 8.0, 2.0$ Hz, H-6, 6'), 3.76 (6H, s, 3, 3'-OCH₃), 3.61 (4H, m, H-9, 9'), 2.68 (2H, d, $J = 13.9, 7.02$ Hz, H-7a, 7'a), 2.58 (2H, dd, $J = 13.7, 7.8$ Hz, H-7b, 7'b), 1.93 (2H, m, H-8, 8'); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, CD_3OD) δ : 147.4 (C-3, 3'), 144.1 (C-4, 4'), 132.5 (C-1, 1'), 121.3 (C-6, 6'), 114.4 (C-5, 5'), 112.0 (C-2, 2'), 60.7 (C-9, 9'), 54.8 (3, 3'-OCH₃), 42.7 (C-8, 8'), 34.6 (C-7, 7')。以上数据与文献报道基本一致^[26], 故鉴定化合物 **21** 为开环异落叶松脂素。

化合物 **22**: 白色粉末; HR-ESI-MS m/z : 361.163 6 $[\text{M}+\text{H}]^+$ (理论值 361.164 6 $[\text{M}+\text{H}]^+$)。分子式为 $\text{C}_{20}\text{H}_{24}\text{O}_6$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, CD_3OD) δ : 6.72 (1H, s, H-2), 6.69 (1H, d, $J = 2.0$ Hz, H-2'), 6.66 (1H, d, $J = 8.0$ Hz, H-5'), 6.48 (1H, dd, $J = 8.2, 2.0$ Hz, H-6'), 6.37 (1H, s, H-6), 4.22 (1H, d, $J = 4.1$ Hz, H-7'), 3.85 (3H, s, 3'-OCH₃), 3.77 (3H, s, 3-OCH₃), 3.61 (2H, dd, $J = 12.9, 4.5$ Hz, H-9), 3.55 (1H, dd, $J = 10.6, 6.3$ Hz, H-9'a), 3.38 (1H, dd, $J = 10.6, 7.1$ Hz, H-9'b), 2.98 (1H, dd, $J = 16.6, 4.6$ Hz, H-7a), 2.67 (1H, dd, $J = 16.8, 9.9$ Hz, H-7b), 2.07 (2H, m, H-8, 8'); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, CD_3OD) δ : 146.8 (C-3'), 146.4 (C-3), 144.4 (C-4'), 144.1 (C-4), 135.5 (C-1'), 131.7 (C-6), 127.0 (C-1), 122.6 (C-6'), 115.7 (C-5), 114.0 (C-5'), 113.8 (C-2'), 110.9 (C-2), 64.2 (C-9), 62.0 (C-9'), 54.9 (3, 3'-OCH₃), 45.2 (C-8'), 43.3 (C-7'), 34.1 (C-8), 31.7 (C-7)。以上数据与文献报道基本一致^[27], 故鉴定化合物 **22** 为 burselignan。

化合物 **23**: 淡黄色油状物; HR-ESI-MS m/z : 539.228 2 $[\text{M}+\text{H}]^+$ (理论值 539.227 6 $[\text{M}+\text{H}]^+$)。分子式为 $\text{C}_{30}\text{H}_{34}\text{O}_9$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, CD_3OD) δ : 6.96 (1H, overlapped, H-2), 6.95 (1H, overlapped, H-2'), 6.94 (1H, brs, H-6''), 6.84 (1H, d, $J = 8.0$ Hz, H-5), 6.79 (1H, dd, $J = 8.1, 1.6$ Hz, H-6), 6.75 (2H, brs, H-2'', 6'), 5.55 (2H, d, $J = 6.8$ Hz, H-7, 7'), 3.87 (3H, s, 3'-OCH₃), 3.86 (3H, s, 3-OCH₃), 3.83 (3H, s, 3''-OCH₃), 3.81 (2H, m, H-9), 3.59 (2H, m, H-9''), 3.52 (2H, m, H-9'), 2.65 (2H, t, $J = 6.2$ Hz, H-7''), 1.84 (2H, m, H-8''); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, CD_3OD) δ : 147.7 (C-4'), 146.2 (C-3), 146.1 (C-4''), 144.1 (C-4), 144.1 (C-3''), 143.8 (C-3'), 135.5 (C-1''), 133.2 (C-1'), 133.2 (C-1), 128.4

(C-5'), 128.4 (C-5''), 118.3 (C-6), 116.5 (C-6''), 114.8 (C-6'), 114.4 (C-5), 112.7 (C-2''), 110.4 (C-2'), 109.1 (C-2), 87.9 (C-7'), 87.8 (C-7), 63.7 (C-9'), 63.4 (C-9), 60.8 (C-9''), 55.4 (3-OCH₃), 55.3 (3'-OCH₃), 55.0 (3''-OCH₃), 54.2 (C-8'), 53.9 (C-8), 34.4 (C-8''), 31.5 (C-9''). 以上数据与文献报道基本一致^[28], 故鉴定化合物 **23** 为 vitrifol A。

化合物 **24**: 淡黄色晶体 (甲醇); HR-ESI-MS m/z : 225.148 4 [M+H]⁺ (理论值 225.148 5 [M+H]⁺)。分子式为 C₁₃H₂₀O₃。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ : 5.85 (1H, s, H-8), 4.23 (1H, m, H-3), 2.23 (1H, dd, $J = 12.9, 4.1$ Hz, H-2a), 2.21 (3H, s, H-10), 1.95 (1H, dd, $J = 12.5, 4.1$ Hz, H-4a), 1.43 (1H, t, $J = 11.2$ Hz, H-2b), 1.40 (6H, s, H-12, 13), 1.36 (1H, t, $J = 12.1$ Hz, H-4b), 1.17 (3H, s, H-11); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ : 210.1 (C-9), 199.5 (C-7), 118.6 (C-6), 99.7 (C-8), 71.0 (C-5), 63.0 (C-3), 48.5 (C-4), 48.3 (C-2), 35.6 (C-1), 30.9 (C-11), 29.4 (C-13), 27.9 (C-12), 25.1 (C-10)。以上数据与文献报道基本一致^[29], 故鉴定化合物 **24** 为 lyratol F。

化合物 **25**: 无色油状物; HR-ESI-MS m/z : 359.148 5 [M+H]⁺ (理论值 359.148 9 [M+H]⁺)。分子式为 C₂₀H₂₂O₆。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ : 6.96 (2H, d, $J = 2.0$ Hz, H-2, 2'), 6.81 (2H, dd, $J = 8.2, 2.0$ Hz, H-6, 6'), 6.79 (2H, d, $J = 8.1$ Hz, H-5, 5'), 4.71 (2H, d, $J = 4.7$ Hz, H-7, 7'), 4.23 (2H, dd, $J = 9.1, 7.0$ Hz, H-9a, 9'a), 3.86 (6H, s, 2×OCH₃), 3.84 (2H, dd, $J = 9.2, 3.8$ Hz, H-9b, 9'b), 3.13 (2H, m, H-8, 8'); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ : 147.7 (C-3, 3'), 145.9 (C-4, 4'), 132.4 (C-1, 1'), 118.7 (C-6, 6'), 114.7 (C-5, 5'), 109.6 (C-2, 2'), 86.1 (C-7, 7'), 71.2 (C-9, 9'), 55.0 (2×OCH₃), 54.0 (C-8, 8')。以上数据与文献报道基本一致^[30], 故鉴定化合物 **25** 为松脂素。

化合物 **26**: 无色结晶 (甲醇); HR-ESI-MS m/z : 149.059 3 [M+H]⁺ (理论值 149.059 7 [M+H]⁺)。分子式为 C₉H₈O₂。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ : 7.67 (1H, d, $J = 16.0$ Hz, H-7), 7.61 (2H, dd, $J = 7.7, 1.9$ Hz, H-2, 6), 7.43 (2H, m, H-3, 5), 7.41 (1H, m, H-4), 6.52 (1H, d, $J = 16.1$ Hz, H-8); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ : 169.1 (C-9), 144.7 (C-7), 134.5 (C-1), 129.9 (C-4), 128.6 (C-3, 5), 127.8 (C-2, 6), 118.3 (C-8)。以上数据与文献报道基本一致^[31], 故鉴定化合物 **26** 为肉桂酸。

化合物 **27**: 白色粉末; HR-ESI-MS m/z : 359.148 8 [M+H]⁺ (理论值 359.148 9 [M+H]⁺)。分子式为 C₂₀H₂₂O₆。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ : 6.72 (1H, d, $J = 8.0$ Hz, H-5'), 6.71 (1H, d, $J = 7.9$ Hz, H-5), 6.68 (1H, d, $J = 2.2$ Hz, H-2'), 6.60 (1H, dd, $J = 8.0, 2.2$ Hz, H-6'), 6.56 (1H, d, $J = 2.1$ Hz, H-2), 6.52 (1H, dd, $J = 8.0, 2.1$ Hz, H-6), 4.15 (1H, t, $J = 7.9$ Hz, H-9a), 3.92 (1H, t, $J = 8.8$ Hz, H-9b), 3.80 (3H, s, 3-OCH₃), 3.79 (3H, s, 3'-OCH₃), 2.88 (1H, dd, $J = 14.6, 5.4$ Hz, H-7'a), 2.81 (1H, dd, $J = 14.0, 7.1$ Hz, H-7'b), 2.65 (1H, m, H-8'), 2.51 (2H, m, H-7), 2.48 (1H, m, H-8); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ : 180.2 (C-9'), 147.6 (C-3'), 147.6 (C-3), 145.0 (C-4'), 144.8 (C-4), 130.1 (C-1), 129.4 (C-1'), 121.7 (C-6'), 120.9 (C-6), 114.8 (C-5), 114.7 (C-5'), 112.5 (C-2'), 111.9 (C-2), 71.5 (C-9), 55.0 (3-OCH₃), 54.9 (3'-OCH₃), 46.3 (C-8'), 41.2 (C-8), 37.5 (C-7), 34.0 (C-7')。以上数据与文献报道基本一致^[32], 故鉴定化合物 **27** 为罗汉松脂素。

化合物 **28**: 白色粉末; HR-ESI-MS m/z : 359.148 7 [M+H]⁺ (理论值 359.148 9 [M+H]⁺)。分子式为 C₂₀H₂₂O₆。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ : 6.97 (2H, d, $J = 1.6$ Hz, H-2, 2'), 6.78~6.84 (4H, m, H-5, 5', 6, 6'), 4.86 (1H, d, $J = 6.0$ Hz, H-7'), 4.44 (1H, d, $J = 7.1$ Hz, H-7), 4.11 (1H, d, $J = 9.4$ Hz, H-9a), 3.88 (3H, s, 3'-OCH₃), 3.87 (3H, s, 3-OCH₃), 3.85 (1H, m, H-9b), 3.81 (1H, m, H-9'a), 3.40 (1H, m, H-8'), 3.29 (1H, m, H-9'b), 2.95 (1H, m, H-8); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ : 147.7 (C-3), 147.5 (C-3'), 146.0 (C-4), 145.2 (C-4'), 132.5 (C-1), 130.0 (C-1'), 118.8 (C-6), 118.0 (C-6'), 114.7 (C-5), 114.6 (C-5'), 109.1 (C-2'), 109.5 (C-2), 88.1 (C-7), 82.1 (C-7'), 70.6 (C-9), 69.2 (C-9'), 55.0 (3, 3'-OCH₃), 54.3 (C-8), 49.9 (C-8')。以上数据与文献报道基本一致^[33], 故鉴定化合物 **28** 为 (+)-表松脂酚。

化合物 **29**: 白色粉末; HR-ESI-MS m/z : 257.139 1 [M+H]⁺ (理论值 257.138 4 [M+H]⁺)。分子式为 C₁₃H₂₀O₅。¹H-NMR (700 MHz, CD₃OD) δ : 6.98 (1H, d, $J = 8.1$ Hz, H-5), 6.85 (1H, d, $J = 2.2$ Hz, H-2), 6.74 (1H, dd, $J = 8.1, 2.0$ Hz, H-6), 4.15 (1H, m, H-2'), 3.84 (3H, s, 3'-OCH₃), 3.74 (4H, d, $J = 4.9$ Hz, H-1', 3'), 3.56 (2H, t, $J = 6.6$ Hz, H-9), 2.63 (2H, t, $J = 7.6$ Hz, H-7), 1.81 (2H, m, H-8); ¹³C-NMR (175 MHz, CD₃OD) δ : 155.6 (C-3), 145.4 (C-4), 136.9 (C-1), 120.5 (C-6),

118.0 (C-5), 112.6 (C-2), 81.9 (C-2'), 60.8 (C-9), 60.6 (C-1', C-3'), 55.0 (3'-OCH₃), 34.2 (C-8), 31.3 (C-7)。以上数据与文献报道基本一致^[34], 故鉴定化合物 **29** 为 2-[4-(3-羟丙基)-2-甲氧基苯氧基]-1,3-丙二醇。

化合物 **30**: 白色结晶 (甲醇); HR-ESI-MS m/z : 227.092 5 [M+H]⁺ (理论值 227.091 4 [M+H]⁺)。分子式为 C₁₁H₁₄O₅。¹H-NMR (700 MHz, CD₃OD) δ : 7.31 (2H, s, H-3, 5), 3.95 (2H, t, J = 6.2 Hz, H-9), 3.90 (6H, s, 2, 6-OCH₃), 3.18 (2H, t, J = 6.2 Hz, H-8); ¹³C-NMR (175 MHz, CD₃OD) δ : 198.2 (C-7), 147.6 (C-2, 6), 141.1 (C-4), 127.8 (C-1), 105.8 (C-3, 5), 57.5 (C-9), 55.4 (2, 6-OCH₃), 40.3 (C-8)。以上数据与文献报道基本一致^[35], 故鉴定化合物 **30** 为 3-羟基-1-(4-羟基-3,5-二甲氧基苯基)-1-丙酮。

化合物 **31**: 白色粉末; HR-ESI-MS m/z : 419.170 3 [M+H]⁺ (理论值 419.170 0 [M+H]⁺)。分子式为 C₂₂H₂₆O₈。¹H-NMR (700 MHz, CD₃OD) δ : 6.65 (4H, s, H-2, 6, 2', 6'), 4.71 (2H, d, J = 4.8 Hz, H-7, 7'), 4.26 (2H, dd, J = 9.1, 7.0 Hz, H-9b, 9'b), 3.88 (2H, dd, J = 9.1, 3.9 Hz, H-9a, 9'a), 3.84 (12H, s, 3, 5, 3', 5'-OCH₃), 3.14 (2H, m, H-8, 8'); ¹³C-NMR (175 MHz, CD₃OD) δ : 147.9 (C-3, 5, 3', 5'), 134.8 (C-4, 4'), 131.7 (C-1, 1'), 103.1 (C-2, 6, 2', 6'), 86.2 (C-7, 7'), 71.4 (C-9, 9'), 55.4 (3, 5, 3', 5'-OCH₃'), 54.1 (C-8, 8')。以上数据与文献报道基本一致^[36], 故鉴定化合物 **31** 为丁香树脂酚。

4 讨论

本研究对柳叶菜风毛菊进行了系统的化学分离, 采用了 1D-NMR 及 2D-NMR 波谱手段并结合 HR-ESI-MS 质谱数据, 共分离鉴定出 31 个化合物, 其中化合物 **1** 和 **2** 为新化合物, 化合物 **6**~**9**、**14**、**16**~**20**、**22**~**24**、**26**、**29** 为首次从风毛菊属植物中分离得到。结合文献报道, 分离得到的已知化合物具有良好的生物活性, 如化合物 **4** 和 **25** 具有抗氧化和抗炎活性; 化合物 **5** 具有镇痛和抗肿瘤活性; 化合物 **6** 具有抗菌活性; 化合物 **26** 具有抗菌和抗病毒活性。因此, 本研究丰富了柳叶菜风毛菊的化学成分, 并为进一步的药效物质基础研究提供了理论基础。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国药材公司. 中国中药资源志要 [M]. 北京: 科学出版社, 1994: 1328.
- [2] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 (第

八卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1992: 202.

- [3] 中国科学院西北高原生物研究所. 藏药志 [M]. 西宁: 青海人民出版社, 1991: 322-325.
- [4] 沈丕安. 中华本草 [M]. 上海: 上海科学普及出版社, 2017: 212, 245, 389.
- [5] Zhao T, Li S J, Zhang Z X, *et al.* Chemical constituents from the genus *Saussurea* and their biological activities [J]. *Heterocycl Commun*, 2017, 23(5): 331-358.
- [6] Fraga B M, Hernández M G, Mestres T, *et al.* Eudesmanes sesquiterpenes from *Teucrium heterophyllum*. The X-ray structure of teucludiol A [J]. *Phytochemistry*, 1993, 34(4): 1083-1086.
- [7] 王嘉慧, 王春华, 王建荣, 等. 广西北海涠洲岛陵水山海绵 *Mycale lingshuiensis* 的化学成分研究 [J]. 中国海洋药物, 2017, 36(5): 28-32.
- [8] 王国凯, 郑娟, 郁阳, 等. 黄药子乙酸乙酯部位化学成分研究 [J]. 中国药理学杂志, 2018, 53(21): 1815-1820.
- [9] 杨欢, 王栋, 童丽, 等. 镰形棘豆的化学成分研究 (I) [J]. 中国药理学杂志, 2008, 43(5): 338-340.
- [10] 闫利华, 徐丽珍, 林佳, 等. 裂叶铁线莲的化学成分研究 [J]. 中草药, 2008, 39(11): 1619-1621.
- [11] 田磊, 王心龙, 王彦志, 等. 反柄紫芝中二个新生物碱 [J]. 天然产物研究与开发, 2015, 27(8): 1325-1328.
- [12] 李曼姝, 柯银铅, 张紫琴, 等. 小花清风藤茎叶化学成分及其保肝活性研究 [J]. 中草药, 2021, 52(23): 7096-7104.
- [13] Wang H Q, Xie J, Dong C X, *et al.* Derivatives of sesquiterpenes, 2-furaldehyde, phenols, and alkaloids isolated from *Taraxacum mongolicum* [J]. *Fitoterapia*, 2023, 166: 105463.
- [14] 李柯城, 袁铭铭, 代敏, 等. 大青叶中生物碱类成分研究 [J]. 中成药, 2022, 44(12): 3879-3884.
- [15] Gu Q, Zhang X M, Zhou J, *et al.* One new dihydrobenzofuran lignan from *Vitex trifolia* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2008, 10(5/6): 499-502.
- [16] Fei D Q, Arfan M, Rafiq J, *et al.* Chemical constituents from the aerial parts of *Sophora mollis* [J]. *Chem Nat Compd*, 2009, 45(6): 896-897.
- [17] Kai H, Baba M, Okuyama T. Two new megastigmanes from the leaves of *Cucumis sativus* [J]. *Chem Pharm Bull*, 2007, 55(1): 133-136.
- [18] De Marino S, Gala F, Zollo F, *et al.* Identification of minor secondary metabolites from the latex of *Croton lechleri* (Muell-Arg) and evaluation of their antioxidant activity [J]. *Molecules*, 2008, 13(6): 1219-1229.
- [19] Jiang R W, Zhou J R, Hon P M, *et al.* Lignans from *Dysosma versipellis* with inhibitory effects on prostate cancer cell lines [J]. *J Nat Prod*, 2007, 70(2): 283-286.

- [20] 徐金钟, 曾珊珊, 瞿海斌. 紫花地丁化学成分研究 [J]. 中草药, 2010, 41(9): 1423-1425.
- [21] Liu Q B, Wang J, Lin B, *et al.* Phenylpropanoids and lignans from *Prunus tomentosa* seeds as efficient β -amyloid (A β) aggregation inhibitors [J]. *Bioorg Chem*, 2019, 84: 269-275.
- [22] 高莉, 田华, 吕培军, 等. 乌柏叶化学成分研究 [J]. 中国中药杂志, 2015, 40(8): 1518-1522.
- [23] 付朝晖, 张玉梅, 谭宁华, 等. 云南油杉的化学成分研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2008, 20(2): 257-261.
- [24] 包永睿, 阎新佳, 杨欣欣, 等. 白花败酱草的化学成分研究 [J]. 中药材, 2017, 40(2): 347-349.
- [25] Siddiqui B S, Kardar M N, Ali S T, *et al.* Two new and a known compound from *Lawsonia inermis* [J]. *Helv Chim Acta*, 2003, 86(6): 2164-2169.
- [26] 李志峰, 王琦, 冯育林, 等. 黄连的化学成分研究 [J]. 中药材, 2012, 35(9): 1438-1441.
- [27] Jutiviboonsuk A, Zhang H J, Tan G T, *et al.* Bioactive constituents from roots of *Bursera tonkinensis* [J]. *Phytochemistry*, 2005, 66(23): 2745-2751.
- [28] 叶凤梅, 谢阳国, 朱燕, 等. 贡山八角枝叶化学成分研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2015, 27(4): 604-608.
- [29] Yue X D, Qu G W, Li B F, *et al.* Two new C13-norisoprenoids from *Solanum lyratum* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2012, 14(5): 486-490.
- [30] In S J, Seo K H, Song N Y, *et al.* Lignans and neolignans from the stems of *Viburnum erosum* and their neuroprotective and anti-inflammatory activity [J]. *Arch Pharm Res*, 2015, 38(1): 26-34.
- [31] 何珊, 姜勇, 屠鹏飞. 肉桂的化学成分研究 [J]. 中国中药杂志, 2015, 40(18): 3598-3602.
- [32] 张亚梅, 张普照. 瓦山安息香树皮中四氢呋喃型木脂素类成分 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2015, 21(20): 91-94.
- [33] 王威, 刘小红, 高华, 等. 东北铁线莲地上部位化学成分研究 [J]. 中草药, 2014, 45(17): 2440-2446.
- [34] 刘敏, 朱根华, 梁芳, 等. 三脉菝葜的化学成分研究 [J]. 中国中药杂志, 2016, 41(3): 446-450.
- [35] 黄宇飞, 张楠, 周忠玉, 等. 毡毛马兰酚性成分及其抗肿瘤活性 [J]. 中成药, 2020, 42(11): 2922-2926.
- [36] Niu X M, Li S H, Peng L Y, *et al.* Constituents from *Limonia crenulata* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2001, 3(4): 299-311.

[责任编辑 王文倩]