

三桠苦茎枝化学成分的研究

李斯达¹, 褚晨亮¹, 崔婷¹, 詹若挺², 高幼衡^{1*}

1. 广州中医药大学中药学院, 广东 广州 510006

2. 广州中医药大学中药资源科学与工程研究中心, 岭南中药资源教育部重点实验室, 广东 广州 510006

摘要: **目的** 研究三桠苦 *Melicope ptelefolia* 茎枝的化学成分。**方法** 采用硅胶柱色谱法、凝胶 Sephadex LH-20 柱色谱、重结晶等技术进行分离纯化, 通过 NMR、ESI-MS 等现代谱学方法鉴定化合物结构。**结果** 从三桠苦茎枝石油醚部位和醋酸乙酯部位分离得到 11 个化合物, 分别鉴定为大黄素甲醚(1)、豆甾-3,5-二烯-7-酮(2)、 β -谷甾酮(3)、(24R)-乙基-3 β ,5 α ,6 β -三羟基胆甾烷(4)、dihydroxanthyletin(5)、正二十烷酸甲酯(6)、大黄素(7)、(+)-marmesin(8)、rudicoumarin C(9)、3-(2',3'-二羟基)异戊基-7-羟基香豆素(10)、4-甲基喹啉酮(11)。**结论** 化合物 1~11 均为三桠苦植物中首次分离得到, 其中化合物 10 为新化合物, 命名为三桠苦素 D。

关键词: 三桠苦; 大黄素甲醚; 豆甾-3,5-二烯-7-酮; 4-甲基喹啉酮; 三桠苦素 D

中图分类号: R284.1 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2017)06-1076-04

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2017.06.004

Chemical constituents from *Melicope ptelefolia*

LI Si-da¹, CHU Chen-liang¹, CUI Ting¹, ZHAN Ruo-ting², GAO You-heng¹

1. College of Materia Medica, Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou 510006, China

2. Key Laboratory of Chinese Medicinal Resource from Lingnan, Ministry of Education, Research Center of Medicinal Plant Resource Science and Engineering, Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou 510006, China

Abstract: **Objective** To study the chemical constituents from *Melicope ptelefolia*. **Methods** The constituents were isolated and purified by chromatography with silica gel, Sephadex LH-20, and recrystallization. The structures were elucidated by spectroscopic analysis (NMR and ESI-MS). **Results** Twelve compounds were isolated from petroleum ether and ethyl acetate soluble fraction and identified as: physcion (1), stigmata-3,5-dien-7-one (2), β -sitostenone (3), 24(R)-24-ethyl-5 α -cholestane-3 β ,5 α ,6 β -triol (4), dihydroxanthyletin (5), methyl icosanoate (6), emodin (7), (+)-marmesin (8), rudicoumarin C (9), 3-(2',3'-dihydroxy) isopentyl-7-hydroxycoumarin (10), and 4-methoxy-2(1H)-quinolinone (11). **Conclusion** Compounds 1—11 are isolated from *M. ptelefolia* for the first time. Compound 10 is a new compound named pteleifolosin D.

Key words: *Melicope ptelefolia* (Champ. ex Benth.) Hartley; physcion; stigmata-3,5-dien-7-one; 4-methoxy-2(1H)-quinolinone; pteleifolosin D

三桠苦 *Melicope ptelefolia* (Champ. ex Benth.) Hartley 又名三丫苦、三叉虎、三叉苦等, 为芸香科蜜茱萸属植物, 分布于浙江、福建、江西、广东、广西、海南等地^[1]。其性苦、寒, 归心、肝经, 有清热解毒、祛风除湿、消肿止痛等功效。主治感冒发热、咽喉肿痛、肺热咳嗽、胃痛、风湿痹痛等^[2]。三桠苦是岭南地区的一种传统的药食两用的地方中草药, 并且已经应用于三九感冒灵、三九胃泰等中成药^[3]。为进一步开发其药用价值, 阐明其有效成

分, 对三桠苦石油醚和醋酸乙酯部位的化学成分进行系统研究, 从中分离得到 11 个化合物, 分别鉴定为大黄素甲醚 (physcion, 1)、豆甾-3,5-二烯-7-酮 (stigmata-3,5-dien-7-one, 2)、 β -谷甾酮 (β -sitostenone, 3)、(24R)-乙基-3 β ,5 α ,6 β -三羟基胆甾烷 [24(R)-24-ethyl-5 α -cholestane-3 β ,5 α ,6 β -triol, 4]、dihydroxanthyletin (5)、正二十烷酸甲酯 (methyl icosanoate, 6)、大黄素 (emodin, 7)、(+)-marmesin (8)、rudicoumarin C (9)、3-(2',3'-dihydroxy) isopentyl-

收稿日期: 2016-09-21

作者简介: 李斯达 (1992—), 男, 湖北黄石人, 硕士在读, 从事中药及天然药物活性成分研究。E-mail: 244592058@qq.com

*通信作者 高幼衡, 男, 教授, 研究方向为中药及天然药物化学。Tel: (020)39358093 E-mail: gaoyouheng@gzucm.edu.cn

7-hydroxycoumarin (**10**)、4-甲基喹啉酮 [4-methoxy-2(1*H*)-quinolinone, **11**]。化合物 **1**~**11** 均为首次从三桠苦中分离得到, 其中化合物 **10** 为新化合物, 命名为三桠苦素 D。

1 仪器与材料

Bruker AV400 (400 Hz) 核磁共振仪 (瑞士布鲁克公司); ABSciex5600HR-ESI-MS 质谱仪 (美国 Sciex 公司); AUY120 型电子分析天平 (日本岛津制作所); RE-2000 旋转蒸发器 (上海亚荣生化仪器厂); X-5 显微熔点测定仪 (北京泰克仪器有限公司); 柱色谱硅胶和 GF₂₅₄ 薄层色谱硅胶 (青岛海洋化工厂); 葡聚糖凝胶 Sephadex LH-20 (Pharmacia)。

三桠苦于 2015 年 6 月采自广州清远, 经广州中医药大学中药学院詹若挺研究员鉴定为芸香科植物三桠苦 *Melicope ptelefolia* (Champ. ex Benth.) Hartley, 植物标本 (MP201506) 存放于广州中医药大学中药学院中药化学研究室。

2 提取与分离

新鲜的三桠苦茎枝 30 kg, 粉碎后, 95%乙醇室温浸提 6 次, 每次用量 90 L。浓缩提取液得浸膏 (675 g)。将浸膏悬浮于 1 L 水中, 依次以石油醚、氯仿、醋酸乙酯、正丁醇萃取, 浓缩后分别得石油醚 (45 g)、氯仿 (300 g)、醋酸乙酯 (75 g)、正丁醇 (110 g) 部位。

取石油醚部位 (40 g), 经过硅胶柱色谱, 石油醚-丙酮 (1:0→0:1) 梯度洗脱, 合并相同流分, 共得 14 个流分 Fr. 1~14。Fr. 2 经硅胶柱色谱, 得化合物 **1** (71 mg)。Fr. 3 经硅胶柱色谱, 合并相同流分得 9 个流分 Fr. 3.1~3.9, 其中 Fr. 3.2 和 Fr. 3.6 经 Sephadex LH-20 色谱, 分别得到化合物 **2** (4 mg) 和 **3** (15 mg)。Fr. 11 经硅胶柱色谱、Sephadex LH-20 色谱得到化合物 **4** (6 mg)。

取醋酸乙酯部位 (72 g), 经硅胶柱色谱 (200~300 目), 以氯仿-甲醇 (1:0→0:1) 梯度洗脱, 合并相同流分, 共得 5 个流分 Fr. 1~5。Fr. 1 经硅胶柱色谱, 石油醚-二氯甲烷 (3:1→1:1) 梯度洗脱, 得到化合物 **5** (8 mg)。Fr. 2 经硅胶柱色谱, 二氯甲烷-丙酮 (30:1→0:1) 梯度洗脱, 得到 4 个流分 Fr. 2.1~2.4。其中 Fr. 2.1 经硅胶柱色谱、Sephadex LH-20 凝胶柱色谱、重结晶得到化合物 **6** (10 mg)、**7** (18 mg)、**8** (80 mg)。Fr. 2.2 经反复硅胶柱色谱、Sephadex LH-20 色谱、重结晶得到化合物 **9** (17 mg)。Fr. 2.3 中析出大量结晶, 抽滤结晶并重结

晶后得到化合物 **10** (94 mg)。Fr. 2.4 经反复硅胶柱色谱、Sephadex LH-20 色谱得到化合物 **11** (10 mg)。

3 结构鉴定

3.1 新化合物结构鉴定

化合物 **10**: 淡黄色粒晶 (甲醇), mp 242~244 °C。HR-ESI-MS *m/z*: 287.089 8 [M+Na]⁺ (计算值 287.089 5), 结合 NMR 谱显示的确定其分子式为 C₁₄H₁₆O₅, 不饱和度为 7。UV λ_{max}^{MeOH} (nm): 218, 246, 324。红外显示有羟基 (3 459 cm⁻¹)、α,β-不饱和羰基 (1 719, 1 695 cm⁻¹) 和苯环 (1 605, 1 508, 1 466 cm⁻¹), 提示为香豆素类化合物, 与文献报道^[4]基本一致。

¹H-NMR (400 MHz, DMSO-*d*₆) 谱 (表 1) 显示 1 个酚羟基信号 δ 10.36 (1H, s), 4 个不饱和氢信号 δ 7.71 (1H, s), 7.47 (1H, d, *J* = 8.4 Hz), 6.76 (1H, d, *J* = 8.4 Hz), 6.70 (1H, s)。¹H-NMR 谱中并未出现香豆素结构中常见的 H-3、H-4 特征性的顺式二氢偶合信号, 只显示出了低场特征的 δ 7.71 (1H, s, H-4) 信号峰, 可以确定该化合物 3 位有取代基团。因此 δ 7.47 (1H, d, *J* = 8.4 Hz), 6.76 (1H, d, *J* = 8.4 Hz), 6.70 (1H, s) 确定为苯环上饱和氢信号。DEPT 谱显示有 6 个季碳、1 个仲碳、7 个伯碳和叔碳。通过 HSQC、HMBC 谱以及和文献报道^[4]对照, 可以确定该化合物的母核为 3 位有取代的 7-羟基香豆素。

表 1 化合物 **10** 的 NMR 数据 (400 MHz, DMSO-*d*₆)
Table 1 NMR data of compound **10** (400 MHz, DMSO-*d*₆)

碳位	δ _C	δ _H
2	162.0	
3	123.0	
4	141.4	7.71 (1H, s)
5	129.3	7.47 (1H, d, <i>J</i> = 8.4 Hz)
6	113.4	6.76 (1H, d, <i>J</i> = 8.4 Hz)
7	160.6	
8	102.2	6.70 (1H, s)
9	154.9	
10	112.4	
1'	33.1	2.80 (1H, d, <i>J</i> = 14.0 Hz), 2.19 (1H, dd, <i>J</i> = 13.3, 11.2 Hz)
2'	75.5	3.50~3.80 (1H, m)
3'	72.0	
CH ₃	27.0	1.12 (3H, s)
	25.1	1.09 (3H, s)
2'-OH		4.51 (1H, d, <i>J</i> = 6.0 Hz)
3'-OH		4.21 (1H, s)
7-OH		10.36 (1H, s)

$^1\text{H-NMR}$ 谱中 2 个连氧氢信号 δ 4.51 (1H, d, $J=6.0$ Hz), 4.21 (1H, s), 2 个甲基信号 δ 1.12 (3H, s), 1.09 (3H, s)。 $^{13}\text{C-NMR}$ 和 DEPT 谱显示取代基信号 δ 33.1 (仲碳)、75.5 (叔碳)、72.0 (季碳)、27.0 (伯碳)、25.1 (伯碳)。HMQC 谱显示 δ 4.51 (1H, d, $J=6.0$ Hz, 2'-OH), 3.50~3.80 (1H, m, H-2') 与 δ 75.5 (C-2') 直接相连, δ 2.80 (1H, d, $J=14.0$ Hz, H-1'), 2.19 (1H, dd, $J=13.3, 11.2$ Hz, H-1') 与 δ 33.1 (C-1') 直接相连。 $^1\text{H-}^1\text{H}$ COSY 显示 1' 位的 2 个氢与 2' 位的氢有偶合关系, 可以判断他们所连接的碳是相邻的关系。HMBC 谱显示, H-4 与 C-1' 远程相关, 并且未与 C-2'、C-3' 相关, 1' 位上面的两个氢都与 C-2、C-3、C-4 远程相关, 因此可以确定 3 位上是 1 个 2',3'-二羟基异戊基。综上, 结合二维谱, 完成了化合物 10 的 C、H 信号归属 (表 1), 结构见图 1, 确定化合物 1 为 3-(2',3'-二羟基) 异戊基-7-羟基香豆素 (本实验对 2' 位手性碳的构型尚未确认, 将在后续的研究中进行确认), 通过 scifinder 查新为新化合物, 命名为三桠苦素 D (pteleifolosin D)。

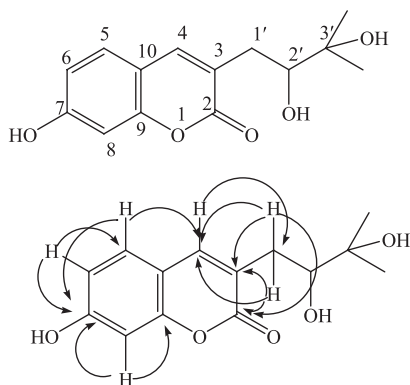


图 1 化合物 10 的结构和主要 HMBC 相关

Fig. 1 Chemical structure and key HMBC correlations of compound 10

3.2 已知化合物结构鉴定

化合物 1: 白色粉末。 $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.18 (1H, m, H-3), 6.10 (1H, d, $J=9.7$ Hz, H-4), 5.61 (1H, s, H-6), 1.12 (3H, s, H-19), 0.94 (3H, d, $J=6.5$ Hz, H-21), 0.85 (3H, m, H-29) 0.83 (3H, d, $J=4.1$ Hz, H-27) 0.80 (3H, m, H-26), 0.72 (3H, s, H-18); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 11.9 (C-29), 12.0 (C-18), 16.6 (C-19), 18.9 (C-21), 19.0 (C-26), 19.8 (C-27), 21.2 (C-11), 23.0 (C-28), 23.4 (C-2), 26.1 (C-23), 26.4 (C-15), 28.6 (C-16), 29.1 (C-25), 32.9 (C-1), 34.0 (C-22), 36.2 (C-20), 36.3 (C-10), 38.9

(C-12), 43.6 (C-13), 45.8 (C-24), 46.0 (C-8), 49.4 (C-9), 50.7 (C-14), 54.8 (C-17), 124.2 (C-4), 127.7 (C-6), 136.6 (C-3), 161.0 (C-5), 202.5 (C-7)。以上数据与文献报道基本一致^[5], 故鉴定该化合物为豆甾-3,5-二烯-7-酮。

化合物 2: 黄色针晶 (氯仿)。 $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, $\text{DMSO-}d_6$) δ : 12.23 (1H, s, α -OH), 12.04 (1H, s, α -OH), 7.55 (1H, s), 7.28 (1H, s), 7.00 (1H, s), 6.61 (1H, s), 4 个苯环上的质子信号, 3.87 (3H, s, OCH_3), 2.38 (3H, s, CH_3); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, $\text{DMSO-}d_6$) δ : 21.1 (CH_3), 55.1 (OCH_3), 105.8 (C-7), 107.2 (C-8a), 109.2 (C-5), 112.7 (C-9a), 120.3 (C-4), 123.5 (C-2), 132.2 (C-4a), 134.2 (C-10a), 147.4 (C-3), 161.5 (C-6), 164.2 (C-1), 165.5 (C-8), 181.0 (C-10), 189.8 (C-9)。以上数据与文献报道基本一致^[6], 故鉴定该化合物为大黄素甲醚。

化合物 3: 白色粉末。 $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ : 5.73 (1H, s, H-4), 1.19 (3H, s, CH_3 -21), 0.92 (3H, d, $J=6.4$ Hz), 0.80~0.86 显示多个甲基峰, 0.72 (3H, s, CH_3 -19); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 11.9 (C-18), 12.0 (C-29), 17.4 (C-26), 18.7 (C-21), 19.0 (C-19), 19.8 (C-27), 21.0 (C-11), 23.0 (C-28), 24.2 (C-15), 26.1 (C-25), 28.2 (C-16), 29.1 (C-23), 32.1 (C-2), 33.0 (C-6), 33.9 (C-7), 34.0 (C-22), 35.6 (C-1), 35.7 (C-8), 36.1 (C-20), 38.6 (C-10), 39.6 (C-12), 42.4 (C-13), 45.8 (C-24), 53.8 (C-9), 55.9 (C-17), 56.0 (C-14), 123.7 (C-4), 171.8 (C-5), 199.7 (C-3)。以上数据与文献报道基本一致^[7], 故鉴定该化合物为 β -谷甾酮。

化合物 4: 无色针晶 (甲醇)。 $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, $\text{C}_5\text{D}_5\text{N}$) δ : 4.88 (1H, m, H-3), 4.18 (1H, brs, H-6), 2.98 (1H, t, $J=11.8$ Hz, H-4a), 1.68 (3H, s, H-19), 1.02 (3H, d, $J=6.3$ Hz, H-19), 0.88~0.91 (9H, m, H-26, 27, 29), 0.77 (3H, s, H-18); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, $\text{C}_5\text{D}_5\text{N}$) δ : 76.1 (C-6), 75.7 (C-5), 67.2 (C-3), 56.4 (C-17), 56.3 (C-14), 45.9 (C-24), 45.7 (C-9), 42.9 (C-13), 42.6 (C-4), 40.5 (C-12), 38.9 (C-10), 36.3 (C-20), 35.5 (C-7), 34.0 (C-22), 33.1 (C-2), 32.3 (C-1), 31.0 (C-8), 29.3 (C-25), 28.5 (C-16), 26.2 (C-23), 24.4 (C-15), 23.2 (C-28), 21.6 (C-11), 19.8 (C-27), 19.0 (C-26), 18.8 (C-21), 17.0 (C-19), 12.2 (C-18), 11.9 (C-29)。以上数据与文献报道基本一致^[8], 故鉴定该化合物为 (24R)-乙基-3 β ,5 α ,6 β -三羟

基胆甾烷。

化合物 **5**: 无色针晶 (氯仿)。¹H-NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 7.57 (1H, d, J = 9.4 Hz, H-4), 7.16 (1H, s, H-8), 6.73 (1H, s, H-5), 6.20 (1H, d, J = 9.4 Hz, H-3), 2.82 (2H, t, J = 6.7 Hz, H-2'), 1.85 (2H, t, J = 6.7 Hz, H-3'), 1.37 (6H, s, 2 $\times$ CH₃); ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃) δ : 21.9 (C-3'), 26.9 (C-4', 5'), 32.4 (C-2'), 75.8 (C-1'), 104.6 (C-8), 112.2 (C-10), 112.8 (C-3), 118.4 (C-6), 128.3 (C-5), 143.4 (C-4), 154.0 (C-9), 157.8 (C-7), 161.6 (C-2)。以上数据与文献报道基本一致^[9], 故鉴定该化合物为 dihydroxanthyletin。

化合物 **6**: 白色固体, 易溶于氯仿。¹H-NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 3.49 (3H, s, -OCH₃), 2.34 (2H, t, J = 7.5 Hz, H-2), 1.63 (2H, m, H-3), 1.27 (32H, brs, H-4~19), 0.88 (3H, t, J = 6.8 Hz, H-20)。以上数据与文献报道基本一致^[10], 故鉴定该化合物为正二十烷酸甲酯。

化合物 **7**: 橙黄色针晶 (氯仿)。¹H-NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 12.08 (1H, s, α -OH), 12.01 (1H, s, α -OH), 11.37 (1H, brs, β -OH), 4 个苯环上的质子信号 7.48 (1H, d, J = 1.1 Hz), 7.16 (1H, d, J = 1.5 Hz), 7.11 (1H, d, J = 2.4 Hz), 6.59 (1H, d, J = 2.4 Hz), 2.41 (3H, s, CH₃); ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃) δ : 22.0 (CH₃), 108.4 (C-2), 109.2 (C-4), 109.4 (C-9a), 113.9 (C-8a), 121.0 (C-5), 124.6 (C-7), 133.3 (C-10a), 135.6 (C-4a), 148.7 (C-6), 161.9 (C-8), 164.9 (C-1), 166.0 (C-3), 181.9 (C-10), 190.2 (C-9)。以上数据与文献报道基本一致^[11], 故鉴定该化合物为大黄素。

化合物 **8**: 无色结晶 (甲醇)。¹H-NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 7.59 (1H, d, J = 9.5 Hz, H-4), 7.22 (1H, s, H-5), 6.73 (1H, s, H-8), 6.20 (1H, d, J = 9.5 Hz, H-3), 4.74 (1H, t, J = 8.8 Hz, H-2'), 3.14~3.29 (2H, m, H-1'), 1.37 (3H, s, H-4'), 1.24 (3H, s, H-5'); ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃) δ : 24.3 (C-5'), 26.1 (C-4'), 29.5 (C-1'), 71.7 (C-3'), 91.1 (C-2'), 97.4 (C-8), 112.3 (C-10), 112.8 (C-10), 123.4 (C-5), 125.0 (C-6), 143.7 (C-4), 155.68 (C-9), 161.5 (C-2), 163.2 (C-7)。以上数据与文献报道基本一致^[12], 故鉴定该化合物为 (+)-marmesin。

化合物 **9**: 浅黄色粉末。¹H-NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 7.64 (1H, s, H-4), 7.38 (1H, d, J = 8.5 Hz, H-5), 6.76 (1H, d, J = 8.5 Hz, H-6), 6.68 (1H, s, H-8), 2.56 (2H, t, J = 10.2 Hz, H-1'), 1.74 (2H, t, J = 10.4 Hz, H-2'), 1.26 (6H, s, CH₃ $\times$ 2); ¹³C-NMR (100 MHz,

CDCl₃) δ : 25.3 (C-1'), 27.8 (C-4', 5'), 41.7 (C-2'), 69.8 (C-3'), 101.6 (C-8), 112.4 (C-4a), 112.9 (C-6), 124.8 (C-3), 128.4 (C-5), 139.7 (C-4), 154.7 (C-8a), 160.6 (C-7), 162.9 (C-2)。以上数据与文献报道基本一致^[13], 故鉴定该化合物为 rudicoumarin C。

化合物 **11**: 淡黄色粉末。¹H-NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 11.62 (1H, s, NH), 7.93~7.87 (1H, m, H-8), 7.51 (1H, t, J = 7.3 Hz, H-7), 7.36 (1H, d, J = 8.2 Hz, H-5), 7.21 (1H, t, J = 7.3 Hz, H-6), 6.02 (1H, brs, H-3), 3.98 (3H, s, 4-OCH₃); ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃) δ : 56.0 (4-OCH₃), 95.9 (C-3), 115.6 (C-10), 116.0 (C-8), 122.3 (C-6), 122.8 (C-5), 131.3 (C-7), 138.1 (C-9), 165.1 (C-4), 166.0 (C-2)。以上数据与文献报道基本一致^[14], 故鉴定该化合物为 4-甲基喹啉酮。

参考文献

- [1] Flora of China Editorial Committee. *Flora of China*. [S/OL]. 2009. http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=242413701.
- [2] 南京中医药大学. 中药大辞典 [M]. 第2版. 上海: 上海科学技术出版社, 2006.
- [3] 卢海啸, 倪林, 李树华, 等. 三桠苦叶的化学成分研究 [J]. 广州中医药大学学报, 2012, 29(1): 56-58.
- [4] 朱盛华, 高幼衡, 魏志雄, 等. 三桠苦的化学成分研究 [J]. 中草药, 2011, 42(10): 1891-1893.
- [5] 魏建国, 杨大松, 杨永平, 等. 草鞋木的化学成分研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2014, 26(11): 1789-1792.
- [6] 徐庆, 覃永俊, 苏小建, 等. 掌叶大黄化学成分研究 [J]. 中草药, 2009, 40(4): 533-536.
- [7] 冯献起, 刘艳霞, 顾明广, 等. 红树林植物露兜树化学成分研究 [J]. 河北师范大学学报: 自然科学版, 2013, 37(5): 492-494.
- [8] Giacomo N, Vincenzo P, Donato S. 3 β ,5 α ,6 β -Trihydroxylated sterols with a saturated nucleus from two populations of the marine sponge *Cliona copiosa* [J]. *J Nat Prod*, 1991, 54(6): 1570-1575.
- [9] Elgamal H A M, Shalaby M N M, Duddeck H, et al. Coumarins and coumarin glucosides from the fruits of *Ammi majus* [J]. *Phytochemistry*, 1993, 34(3): 819-823.
- [10] 朱少晖, 张前军, 陈青, 等. 鱼眼草化学成分研究 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2010, 16(12): 34-36.
- [11] 朱丹, 李淑青, 袁永兵, 等. 粉萆薢脂溶性化学成分研究 [J]. 中草药, 2016, 47(3): 379-382.
- [12] 殷志琦, 巢剑非, 张雷红, 等. 构树化学成分研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2006, 18(3): 420-422.
- [13] Girard C, Roux D, Muiyard F, et al. 3-Substituted coumarins from the twigs of *Rhadinanthamnus rudis* ssp. *amblycarpus* [J]. *Z Naturforsch*, 2005, 60b: 561-564.
- [14] 郭丽娜, 裴月湖, 刘吉成. 白鲜根皮化学成分研究 [J]. 时珍国医国药, 2015, 26(12): 2872-2874.