

灯笼树地上部分乙醇提取物的酚类成分

邱竹^{a,b,c}, 何龙飞^{a,b,c}, 陈威^{a,b,c}, 杨艺玲^{a,b,c}, 姜北^{a,b,c}, 肖朝江^{a,b,c,①}

(大理大学: a. 云南省滇西抗病原植物资源筛选研究重点实验室, b. 药物研究所, c. 药学院, 云南 大理 671013)

摘要: 采用多种色谱分离方法和波谱技术从灯笼树 (*Enkianthus chinensis* Franch.) 地上部分乙醇提取物中共分离鉴定出 14 个酚类化合物, 分别为 2,4-二羟基-3,6-二甲苯甲酸甲酯(1)、methyl hematommate(2)、丁香酸(3)、对羟基苯甲酸甲酯(4)、水杨酸(5)、肉桂酸(6)、阿魏酸(7)、东莨菪内酯(8)、7-羟基-8-甲氧基香豆素(9)、7,8-二羟基香豆素(10)、伞形花内酯(11)、大黄酚(12)、松脂酚(13)、麦芽酚(14)。所有化合物均首次从灯笼树中分离得到, 且前 13 个化合物首次从吊钟花属 (*Enkianthus* Lour.) 中分离得到。

关键词: 灯笼树; 乙醇提取物; 酚类成分

中图分类号: Q946.8; R284.2 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2025)02-0119-04

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2025.02.16

Phenolic constituents of ethanol extract from the aerial part of *Enkianthus chinensis* QIU Zhu^{a,b,c}, HE Longfei^{a,b,c}, CHEN Wei^{a,b,c}, YANG Yiling^{a,b,c}, JIANG Bei^{a,b,c}, XIAO Chaojiang^{a,b,c,①} (Dali University: a. Yunnan Key Laboratory of Screening and Research on Anti-pathogenic Plant Resources from Western Yunnan, b. Institute of Materia Medica, c. College of Pharmacy, Dali 671013, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2025, 34(2): 119–122

Abstract: A total of 14 phenolic compounds were isolated and identified from ethanol extract of the aerial part of *Enkianthus chinensis* Franch. by using various chromatographic separation methods and spectroscopic techniques, namely 2,4-dihydroxy-3,6-dimethylbenzoic acid methyl ester (1), methyl hematommate (2), syringic acid (3), 4-hydroxybenzoic acid methyl ester (4), salicylic acid (5), cinnamic acid (6), ferulic acid (7), scopoletin (8), hydrangetin (9), 7,8-dihydroxycoumarin (10), umbelliferone (11), chrysophanol (12), pinoselin (13), and maltol (14). All compounds are isolated from *E. chinensis* for the first time, and the first 13 compounds are firstly isolated from *Enkianthus* Lour.

Key words: *Enkianthus chinensis* Franch.; ethanol extract; phenolic constituent

灯笼树 (*Enkianthus chinensis* Franch.) 隶属于杜鹃花科 (Ericaceae) 吊钟花属 (*Enkianthus* Lour.), 为多年生落叶灌木或小乔木, 广泛分布于江西、安徽、浙江、福建、湖南、广西、四川、贵州和云南等地, 生长于海拔 900~3 600 m 的山坡疏林中^[1]。灯笼树花、果美丽, 是极具前途的园林景观植物, 且其花具有清热止血、调经等功效^[2]。研究发现, 采自江西武宁县 (海拔 1 500~1 700 m) 的灯笼树茎和枝的主要化学成分为三萜类化合物和羟化惕格酸衍生物, 具有护肝、抗病毒和抗炎活性^[3-4]。海拔是影响植物体内化学成分的重要因子, 分布于不同海拔的同种植物体内化学成分种类、含量及生物活性有明显区别^[5]。

为探索高海拔地区灯笼树的化学成分, 本研究对采自云南省大理白族自治州苍山海拔 2 900 m 的灯笼树地上部分乙醇提取物的化学成分进行了分离鉴定, 以为灯笼树的开发和利用提供基础资料。

1 材料和方法

1.1 材料

供试灯笼树地上部分 (包含枝、叶、花) 于 2022 年 5 月采自云南省大理白族自治州苍山, 由西南科技大学张德全教授鉴定, 样品编号 20220520-2, 存放于云南省滇西抗病原植物资源筛选研究重点实验室。

主要仪器和耗材: Bruker Avance III-400 核磁共振波谱仪 (德国 Bruker 公司)、Shimadzu LC-20AP 制备型液相色谱仪 (日本 Shimadzu 公司)、Agilent ZORBAX SB-C₁₈ 柱 (10 mm×250 mm, 5 μm) (美国 Agilent 公司)、Agilent 6470 LC/TQ 液质联用仪 (美国 Agilent 公司)、NP7010C 中压泵 (江苏汉邦科技股份有限公司)、柱层析硅胶和薄层层析硅胶板 GF254 (青岛海洋化工有限公司)、Sephadex LH-20 凝胶 (瑞典 Amersham

收稿日期: 2024-10-04

基金项目: 国家自然科学基金项目 (82406689); 云南省基础研究计划面上项目 (202201AT070005); 云南省高层次科技人才及创新团队选拔专项-中青年学术和技术带头人后备人才项目 (202405AC350025); 云南省专家工作站项目 (202405AF140029)

作者简介: 邱竹 (1999—), 女, 云南马龙人, 硕士研究生, 主要从事天然药物化学方面的研究。

①通信作者 E-mail: xiaochaojiang@yeah.net

引用格式: 邱竹, 何龙飞, 陈威, 等. 灯笼树地上部分乙醇提取物的酚类成分 [J]. 植物资源与环境学报, 2025, 34(2): 119–122.

Biosciences 公司)、MCI gel CHP 20P/P120(75~150 μm)(日本 Mitsubishi 公司)、RP-18 柱(40~75 μm)(日本 Fuji 公司)。

主要试剂:工业级石油醚、三氯甲烷和丙酮及分析级甲酸产自重庆万盛川东化工有限公司,分析级乙酸乙酯产自云南景锐科技有限公司,制备级甲醇产自北京迈瑞达科技有限公司,分析级环己烷产自西陇科学股份有限公司,分析级异丙醇产自江苏强盛化工有限公司,氯喹二磷酸盐产自美国 Sigma 公司,SYBR Green I 染料产自美国 Invitrogen 公司。

1.2 方法

将 9.6 kg 灯笼树干燥地上部分粉碎,用 56 L 体积分数 95%乙醇冷浸(室温)提取 4 次,每次 30 h,过滤后合并滤液,减压浓缩得到 2.0 kg 浸膏。浸膏经硅胶柱层析,采用三氯甲烷-丙酮混合液梯度洗脱(体积比依次为 10:0,9:1,8:2,7:3,6:4,5:5,4:6,0:10),最后用甲醇卸柱,得到 Fr.A 至 Fr.I。

Fr.A(98.6 g)经石油醚脱脂、MCI 柱层析脱色素(流动相为体积分数 80%~100%的甲醇-水溶液)得到 Fr.A-1 至 Fr.A-3。Fr.A-2 经硅胶柱层析(流动相为体积比 30:1,20:1,10:1,5:1,1:1 的石油醚-乙酸乙酯溶液)洗脱得到 Fr.A-2-1 至 Fr.A-2-10。Fr.A-2-1 经硅胶柱层析(流动相为体积比 25:1,15:1,10:1,5:1,3:1,1:1 的石油醚-乙酸乙酯溶液)洗脱得到化合物 1(19 mg)。Fr.A-2-4 经硅胶柱层析(流动相为体积比 13:1,10:1,5:1,1:1 的石油醚-乙酸乙酯溶液)洗脱得到化合物 6(50 mg)。Fr.A-2-5 经反复硅胶柱层析(流动相分别为体积比 15:1,10:1,5:1,3:1,1:1 的石油醚-乙酸乙酯溶液,体积比 100:1,80:1,50:1,20:1,1:1 的三氯甲烷-丙酮溶液)洗脱得到化合物 5(39 mg)。Fr.A-2-6 经硅胶柱层析(流动相为体积比 10:1 的环己烷-乙酸乙酯溶液)得到化合物 14(96 mg);Fr.A-2-7 中加入甲醇,静置 7~8 h 后析出结晶,经三氯甲烷反复洗脱得到化合物 8(208 mg)。Fr.A-2-9 中加入丙酮,静置 4 h 析出结晶,经甲醇、三氯甲烷反复洗脱得到化合物 9(81 mg)和 Fr.A-2-9-1,Fr.A-2-9-1 经硅胶柱层析(流动相体积比为 5:1 的石油醚-乙酸乙酯溶液)、Sephadex LH-20 凝胶柱层析(流动相为丙酮)、硅胶柱层析(流动相为体积比 15:1 的环己烷-异丙醇溶液)反复洗脱得到化合物 11(25 mg)。Fr.A-2-10 经硅胶柱层析(流动相为体积比 100:1,80:1,50:1,30:1,20:1,10:1,1:1 的三氯甲烷-丙酮溶液)洗脱后经制备高效液相色谱(流动相为体积分数 43%的甲醇,流速 3 mL \cdot min⁻¹)进一步纯化得到化合物 13(66 mg)。Fr.A-3 经硅胶柱层析(流动相为体积比 30:1,20:1,15:1,10:1,5:1,1:1 的石油醚-乙酸乙酯溶液)梯度洗脱得到 Fr.A-3-1 至 Fr.A-3-7。Fr.A-3-1 中加入三氯甲烷,静置 12 h 后析出结晶,经丙酮、甲醇反复洗脱得到化合物 2(5 mg)。Fr.A-3-2 经硅胶柱层析(流动相为体积比 50:1 的石油醚-丙酮溶液)、Sephadex LH-20 凝胶柱层析(流动相为体积比 1:1 的三氯甲烷-甲醇溶液)得到

化合物 12(7 mg)。

Fr.B(51.0 g)经 MCI 柱层析(流动相为体积分数 60%~100%的甲醇-水溶液)得到 Fr.B-1 和 Fr.B-2。Fr.B-1 经硅胶柱层析(流动相为体积比 15:1,10:1,8:1,5:1,1:1 的石油醚-丙酮溶液)梯度洗脱得到 Fr.B-1-1 至 Fr.B-1-8。Fr.B-1-1 经反复硅胶柱层析(流动相分别为体积比 40:1:0.025 的石油醚-乙酸乙酯-甲酸溶液、体积比 100:1 的三氯甲烷-乙酸乙酯溶液、体积比 20:1 的三氯甲烷-丙酮溶液)得到化合物 4(18 mg)。Fr.B-1-8 经 RP-18 柱层析(流动相为体积分数 25%、50%、100%的甲醇-水溶液)洗脱得到 Fr.B-1-8-1 至 Fr.B-1-8-7。Fr.B-1-8-1 经反复硅胶柱层析(流动相分别为体积比 25:1 的三氯甲烷-丙酮溶液、体积比 6:1 的石油醚-丙酮溶液、体积比 12:1:0.025 的三氯甲烷-丙酮-甲酸溶液)得到化合物 3 和 7 的混合物(16 mg)。Fr.B-1-8-2 经硅胶柱层析(流动相为体积比 100:1 的三氯甲烷-丙酮溶液)得到化合物 10(11 mg)。

将以上 14 个化合物的¹H、¹³C 核磁数据和质谱数据与相关文献对比,确定化合物结构。

2 结果和分析

化合物 1 无色针晶(乙酸乙酯);ESI-MS m/z :195[M-H]⁻;分子式 C₁₀H₁₂O₄,相对分子质量 196。¹H-NMR(400 MHz, CD₃COCD₃) δ :12.02(1H, s, 2-OH), 6.33(1H, s, H-5), 3.91(3H, s, -OCH₃), 2.41(3H, s, 6-CH₃), 2.03(3H, s, 3-CH₃);¹³C-NMR(100 MHz, CD₃COCD₃) δ :173.5(s, -C=O), 164.1(s, C-4), 160.9(s, C-2), 140.5(s, C-6), 111.4(d, C-5), 109.4(s, C-3), 104.8(s, C-1), 52.1(q, -OCH₃), 24.2(q, 6-CH₃), 8.1(q, 3-CH₃)。以上数据与文献[6]报道基本一致,故鉴定该化合物为 2,4-二羟基-3,6-二甲基苯甲酸甲酯(2,4-dihydroxy-3,6-dimethylbenzoic acid methyl ester)。

化合物 2 无色针晶(三氯甲烷);ESI-MS m/z :209[M-H]⁻;分子式 C₁₀H₁₀O₅,相对分子质量 210。¹H-NMR(400 MHz, CDCl₃) δ :12.90(1H, s, 2-OH), 12.42(1H, s, 4-OH), 10.34(1H, s, -CHO), 6.29(1H, s, H-5), 3.96(3H, s, 7-OCH₃), 2.53(3H, s, 6-CH₃);¹³C-NMR(100 MHz, CDCl₃) δ :194.1(d, -CHO), 172.2(s, -C=O), 168.4(s, C-2), 166.8(s, C-4), 152.5(s, C-6), 112.3(d, C-5), 108.5(s, C-3), 104.0(s, C-1), 52.5(q, -OCH₃), 25.4(q, 6-CH₃)。以上数据与文献[7]报道基本一致,故鉴定该化合物为 methyl hematommate。

化合物 3 浅黄色固体;ESI-MS m/z :197[M-H]⁻;分子式 C₉H₁₀O₅,相对分子质量 198。¹H-NMR(400 MHz, CD₃COCD₃) δ :7.33(2H, s, H-2,6), 3.88(6H, s, 3,5-OCH₃);¹³C-NMR(100 MHz, CD₃COCD₃) δ :167.8(s, -COOH), 148.2(s, C-3,5), 141.3(s, C-4), 121.6(s, C-1), 107.9(d, C-2,6), 56.5(q, 3,5-OCH₃)。以上数据与文献[8]报道基本一致,故

鉴定该化合物为丁香酸(syringic acid)。

化合物4 白色固体;ESI-MS m/z :151[M-H]⁻;分子式 C₈H₈O₃,相对分子质量 152。¹H-NMR(400 MHz,CDCl₃) δ :7.95(2H,d, J =8.5 Hz,H-2,6),6.89(2H,d, J =8.5 Hz,H-3,5),3.90(3H,s,7-OCH₃);¹³C-NMR(100 MHz,CDCl₃) δ :167.6(s,-C=O),160.4(s,C-4),132.1(d,C-2,6),122.3(s,C-1),115.4(d,C-3,5),52.2(q,7-OCH₃)。以上数据与文献[9]报道基本一致,故鉴定该化合物为对羟基苯甲酸甲酯(4-hydroxybenzoic acid methyl ester)。

化合物5 针状结晶(丙酮);ESI-MS m/z :137[M-H]⁻;分子式 C₇H₆O₃,相对分子质量 138。¹H-NMR(400 MHz,CD₃COCD₃) δ :7.90(1H,dd, J =8.1,1.5 Hz,H-6),7.52(1H,td, J =8.1,1.5 Hz,H-4),6.95(1H,dd, J =8.1,1.1 Hz,H-3),6.93(1H,td, J =8.1,1.1 Hz,H-5);¹³C-NMR(100 MHz,CD₃COCD₃) δ :172.7(s,-COOH),162.8(s,C-2),136.6(d,C-4),131.3(d,C-6),119.9(d,C-5),117.9(d,C-3),113.3(s,C-1)。以上数据与文献[10]报道基本一致,故鉴定该化合物为水杨酸(salicylic acid)。

化合物6 白色固体;ESI-MS m/z :147[M-H]⁻;分子式 C₉H₈O₂,相对分子质量 148。¹H-NMR(400 MHz,CDCl₃) δ :7.81(1H,d, J =16.0 Hz,H-7),7.57(2H,dd, J =6.7,2.8 Hz,H-2,6),7.42(3H,overlap,H-3,4,5),6.47(1H,d, J =16.0 Hz,H-8)。以上数据与文献[11]报道基本一致,故鉴定该化合物为肉桂酸(cinnamic acid)。

化合物7 浅黄色固体;ESI-MS m/z :193[M-H]⁻;分子式 C₁₀H₁₀O₄,相对分子质量 194。¹H-NMR(400 MHz,CD₃COCD₃) δ :7.60(1H,d, J =15.8 Hz,H-7),7.33(1H,d, J =1.9 Hz,H-2),7.14(1H,dd, J =8.1,1.9 Hz,H-6),6.87(1H,d, J =8.1 Hz,H-5),6.39(1H,d, J =15.8 Hz,H-8),3.91(3H,s,3-OCH₃);¹³C-NMR(100 MHz,CD₃COCD₃) δ :168.4(s,-COOH),149.8(s,C-3),148.7(s,C-4),145.8(d,C-7),127.4(s,C-1),123.8(d,C-6),116.0(d,C-8),115.9(d,C-5),111.2(d,C-2),56.2(q,3-OCH₃)。以上数据与文献[12]报道基本一致,故鉴定该化合物为阿魏酸(ferulic acid)。

化合物8 无色针晶(甲醇);ESI-MS m/z :191[M-H]⁻;分子式 C₁₀H₈O₄,相对分子质量 192。¹H-NMR(400 MHz,CD₃OD) δ :7.85(1H,d, J =9.6 Hz,H-4),7.10(1H,s,H-5),6.76(1H,s,H-8),6.21(1H,d, J =9.6 Hz,H-3),3.91(3H,s,6-OCH₃);¹³C-NMR(100 MHz,CD₃OD) δ :164.1(s,-C=O),152.9(s,C-7),151.4(s,C-8a),147.0(s,C-6),146.2(d,C-4),112.6(d,C-3),112.5(s,C-4a),109.8(d,C-5),103.9(d,C-8),56.7(q,-OCH₃)。以上数据与文献[13]报道基本一致,故鉴定该化合物为东莨菪内酯(scopoletin)。

化合物9 无色方晶(丙酮);ESI-MS m/z :215[M+Na]⁺;分子式 C₁₀H₈O₄,相对分子质量 192。¹H-NMR(400 MHz,CD₃COCD₃) δ :7.87(1H,d, J =9.5 Hz,H-4),7.27(1H,d, J =8.5

Hz,H-5),6.88(1H,d, J =8.5 Hz,H-6),6.19(1H,d, J =9.5 Hz,H-3),3.93(3H,s,5-OCH₃);¹³C-NMR(100 MHz,CD₃COCD₃) δ :160.5(s,-C=O),154.4(s,C-7),149.3(s,C-8a),145.2(d,C-4),135.2(s,C-8),124.5(d,C-5),113.7(s,C-4a),113.7(d,C-6),112.8(d,C-3),61.4(q,-OCH₃)。以上数据与文献[14]报道基本一致,故鉴定该化合物为7-羟基-8-甲氧基香豆素(hydrangetin)。

化合物10 无色簇晶(三氯甲烷-丙酮);ESI-MS m/z :177[M-H]⁻;分子式 C₉H₆O₄,相对分子质量 178。¹H-NMR(400 MHz,CD₃OD) δ :7.81(1H,d, J =9.5 Hz,H-4),6.98(1H,d, J =8.4 Hz,H-5),6.80(1H,d, J =8.4 Hz,H-6),6.17(1H,d, J =9.5 Hz,H-3)。以上数据与文献[15]报道基本一致,故鉴定该化合物为7,8-二羟基香豆素(7,8-dihydroxycoumarin)。

化合物11 无色针晶(环己烷-异丙醇);ESI-MS m/z :161[M-H]⁻;分子式 C₉H₆O₃,相对分子质量 162。¹H-NMR(400 MHz,CD₃COCD₃) δ :7.87(1H,d, J =9.5 Hz,H-4),7.51(1H,d, J =8.5 Hz,H-5),6.84(1H,d, J =8.5 Hz,H-6),6.75(1H,s,H-8),6.16(1H,d, J =9.5 Hz,H-3)。以上数据与文献[16]报道基本一致,故鉴定该化合物为伞形花内酯(umbelliferone)。

化合物12 橙色结晶(三氯甲烷);ESI-MS m/z :253[M-H]⁻;分子式 C₁₅H₁₀O₄,相对分子质量 254。¹H-NMR(400 MHz,CDCl₃) δ :12.14(1H,s,8-OH),12.03(1H,s,1-OH),7.82(1H,dd, J =7.5,1.1 Hz,H-5),7.67(1H,t-like, J =8.3 Hz,H-6),7.65(1H,s,H-4),7.29(1H,dd, J =8.3,1.1 Hz,H-7),7.10(1H,s,H-2),2.47(3H,s,3-CH₃);¹³C-NMR(100 MHz,CDCl₃) δ :192.7(s,C-9),182.2(s,C-10),162.8(s,C-8),162.5(s,C-1),149.5(s,C-3),137.1(d,C-6),133.7(s,C-10a),133.4(s,C-4a),124.7(d,C-2),124.5(d,C-7),121.5(d,C-4),120.1(d,C-5),116.0(s,C-8a),113.9(s,C-9a),22.4(q,3-CH₃)。以上数据与文献[17]报道基本一致,故鉴定该化合物为大黄酚(chrysophanol)。

化合物13 无色油状物;ESI-MS m/z :357[M-H]⁻;分子式 C₂₀H₂₂O₆,相对分子质量 358。¹H-NMR(400 MHz,CDCl₃) δ :6.89(2H,d, J =2.1 Hz,H-2,2'),6.88(2H,d, J =8.1 Hz,H-5,5'),6.82(2H,dd, J =8.1,1.9 Hz,H-6,6'),5.84(2H,s,4,4'-OH),4.74(2H,d, J =4.3 Hz,H-7,7'),4.24(2H,dd, J =9.2,6.8 Hz,H-9a,9'a),3.88(6H,s,2 \times -OCH₃),3.88(2H,dd, J =9.2,3.6 Hz,H-9b,9'b),3.11(2H,m,H-8,8');¹³C-NMR(100 MHz,CDCl₃) δ :146.8(s,C-3,3'),145.3(s,C-4,4'),132.9(s,C-1,1'),119.0(d,C-6,6'),114.4(d,C-5,5'),108.7(d,C-2,2'),85.9(d,C-7,7'),71.7(t,C-9,9'),56.0(q,2 \times -OCH₃),54.2(d,C-8,8')。以上数据与文献[18]报道基本一致,故鉴定该化合物为松脂酚(pinoresinol)。

化合物14 无色方晶(丙酮);ESI-MS m/z :127[M+H]⁺;分子式 C₆H₆O₃,相对分子质量 126。¹H-NMR(400 MHz,

CDCl_3) δ : 7.71(1H, d, $J=5.6$ Hz, H-6), 6.42(1H, d, $J=5.6$ Hz, H-5), 2.36(3H, s, 2- CH_3); ^{13}C -NMR(100 MHz, CDCl_3) δ : 173.2(s, C-4), 154.4(d, C-6), 149.1(s, C-2), 143.3(s, C-3), 113.1(d, C-5), 14.5(q, 2- CH_3)。以上数据与文献[19]报道基本一致,故鉴定该化合物为麦芽酚(maltol)。

3 讨 论

本研究从灯笼树地上部分乙醇提取物中共分离得到14个酚类化合物,包含5个简单酚酸类(化合物1~5)、2个苯丙酸类(化合物6、7)、4个香豆素类(化合物8~11)、1个萜醌类(化合物12)、1个木脂素类(化合物13)、1个4H-吡喃酮类(化合物14)。这些化合物均首次从灯笼树中分离得到,其中化合物1~13首次从吊钟花属中分离得到。酚类化合物是植物界较为常见的化合物,目前已报道8000多种酚类结构。此类化合物通常具有心脑血管保护作用和较好的抗炎、抗氧化、抗菌活性^[20]。目前该类化合物作为防腐剂广泛应用于食品、工业和化妆品领域。灯笼树作为观赏植物,有关其药用价值的报道屈指可数^[5]。有研究发现,灯笼树中主要含三萜和惕格酸衍生物^[3-4],本研究从灯笼树中分离得到14个酚类成分,丰富了该植物的化学成分,也表明不同生境灯笼树的化学成分存在明显差异。

参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第五十七卷第三分册[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 18-19.
- [2] 中国药材公司. 中国中药资源志要[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 884-885.
- [3] WANG H Q, MA S G, ZHANG D, et al. Oxygenated pentacyclic triterpenoids from the stems and branches of *Enkianthus chinensis* [J]. Bioorganic Chemistry, 2021, 111: 104866.
- [4] WANG H Q, MA S G, LIN M B, et al. Hydroxylated ethacrylic and tiglic acid derivatives from the stems and branches of *Enkianthus chinensis* and their potential anti-inflammatory activities[J]. Journal of Natural Products, 2020, 83(10): 2867-2876.
- [5] SAFFARIHA M, AZARNIVAND H, ZARE CHAHOUKI M A, et al. Changes in essential oil content and composition of *Salvia limbata* C. A. Mey at different growth stages and altitudes [J]. Biomedical chromatography: BMC, 2021, 35(8): e5127.
- [6] 米承能, 梅文莉, 左文健, 等. 四瓣崖摩化学成分研究[J]. 天然产物研究与开发, 2015, 27(4): 562-566, 584.
- [7] MALLAVADHANI U V, TIRUPATHAMMA R S, SAGARIKA G, et al. Isolation, chemical modification, and anticancer activity of major metabolites of the lichen *Parmotrema mesotropum* [J]. Chemistry of Natural Compounds, 2019, 55(5): 825-831.
- [8] ABBAS F A, AL-MASSARANY S M, KHAN S, et al. Phytochemical and biological studies on saudi *Commiphora opobalsamum* L. [J]. Natural Product Research, 2007, 21(5): 383-391.
- [9] ZOU M J, WANG R K, YIN Q M, et al. Bioassay-guided isolation and identification of anti-Alzheimer's active compounds from *Spiranthes sinensis* (Pers.) Ames [J]. Medicinal Chemistry Research, 2021, 30(10): 1849-1855.
- [10] 张嫩玲, 蔡佳仲, 胡英杰, 等. 木豆叶的化学成分研究[J]. 中药材, 2017, 40(5): 1116-1118.
- [11] WEI X H, YANG S J, LIANG N, et al. Chemical constituents of *Caesalpinia decapetala* (Roth) Alston [J]. Molecules, 2013, 18(1): 1325-1336.
- [12] 岳婧怡, 蔡百祥, 王举涛. 鱼子兰非倍半萜类化学成分研究[J]. 中药材, 2022, 45(10): 2391-2394.
- [13] BAYOUMI S A L, ROWAN M G, BEECHING J R, et al. Constituents and secondary metabolite natural products in fresh and deteriorated cassava roots [J]. Phytochemistry, 2010, 71(5/6): 598-604.
- [14] FU X X, XIAO S L, CAO D T, et al. Antifungal active ingredient from the twigs and leaves of *Clausena lansium* Lour. Skeels (Rutaceae) [J]. Frontiers in Chemistry, 2022, 10: 1104805.
- [15] BIZZARRI B M, BOTTA L, CAPECCHI E, et al. Regioselective IBX-mediated synthesis of coumarin derivatives with antioxidant and anti-influenza activities [J]. Journal of Natural Products, 2017, 80(12): 3247-3254.
- [16] 杜冬生, 秦 艳, 程志红, 等. 紫花地丁的化学成分研究[J]. 中草药, 2018, 49(9): 2007-2012.
- [17] ZHANG W, LOU H X, LI G Y, et al. A new triterpenoid from *Entodon okamurae* Broth [J]. Journal of Asian Natural Products Research, 2003, 5(3): 189-195.
- [18] PÁSKA C, INNOCENTI G, FERLIN M, et al. Pinoresinol from *Ipomoea cairica* cell cultures [J]. Natural Product Letters, 2002, 16(5): 359-363.
- [19] 白岩松, 池 军, 张玲霞, 等. 丁香茄叶乙酸乙酯部位化学成分及抗炎活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2021, 33(12): 2011-2018.
- [20] RAHMAN M M, RAHAMAN M S, ISLAM M R, et al. Role of phenolic compounds in human disease: current knowledge and future prospects [J]. Molecules, 2022, 27(1): 233.

(责任编辑: 吴蕊夷)