

滇南艾全草乙醇提取物的黄酮类成分

罗蓉, 江霞, 付云, 张晓棋, 张救, 戴伟锋^①

(昆明理工大学生命科学与技术学院, 云南昆明 650500)

摘要: 对滇南艾(*Artemisia austroyunnanensis* Y. Ling et Y. R. Ling)的黄酮类成分进行研究,从其全草乙醇提取物中分离鉴定出14个黄酮类化合物,分别为猫眼草酚D(1)、槲皮素(2)、棕矢车菊素(3)、6-甲氧基麦黄酮(4)、滨藜黄素(5)、甲基条叶蒽素(6)、大风子素D(7)、4',5-二羟基-3',5',6,7-四甲氧基黄酮(8)、金圣草黄素(9)、柚皮素(10)、高圣草酚(11)、猫眼草黄素(12)、紫花牡荆素(13)和山柰酚(14)。所有化合物均首次从滇南艾中分离得到,且化合物7首次从菊科(Asteraceae)植物中分离得到。

关键词: 滇南艾; 黄酮类; 化学成分; 分离; 鉴定

中图分类号: Q946.8; R284.1 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2026)01-0104-05

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2026.01.10

Flavonoids components in the ethanol extract from the whole plant of *Artemisia austroyunnanensis* LUO Rong, JIANG Xia, FU Yun, ZHANG Xiaoqi, ZHANG Mi, DAI Weifeng^① (Faculty of Life Science and Technology, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2026, 35(1): 104-108

Abstract: A study was conducted on the flavonoids components of *Artemisia austroyunnanensis* Y. Ling et Y. R. Ling, and fourteen flavonoids compounds were isolated and identified from the ethanol extract from the whole plant of *A. austroyunnanensis*, viz. chrysosplenol D (1), quercetin (2), jaceosidin (3), 6-methoxytricin (4), cirsimaritin (5), cirsilineol (6), hydrnocarpin D (7), 4',5-dihydroxy-3',5',6,7-tetramethoxyflavone (8), chrysoeriol (9), naringenin (10), homoeriodictyol (11), chrysosplenetin (12), casticin (13), and kaempferol (14). All compounds are isolated from *A. austroyunnanensis* for the first time, and compound 7 is isolated from Asteraceae for the first time.

Key words: *Artemisia austroyunnanensis* Y. Ling et Y. R. Ling; flavonoids; chemical component; isolation; identification

滇南艾(*Artemisia austroyunnanensis* Y. Ling et Y. R. Ling)是菊科(Asteraceae)蒿属(*Artemisia* Linn.)植物,为半灌木状草本植物,主要分布于东南亚地区,在中国境内主要分布于云南中南部及西南部^[1]。滇南艾主要含萜类、酚酸类、苯丙素类等化学成分,其中研究较多的萜类成分主要具有抗炎活性^[2-4]。黄酮类化合物广泛存在于植物界,可分为黄酮、二氢黄酮、异黄酮、黄酮醇、黄烷酮、黄烷醇、花青素和查耳酮等^[5],具有抗氧化、抗炎、抗肿瘤、降血糖等生物活性^[6-7]。鉴于滇南艾黄酮类成分的研究相对较少,对滇南艾黄酮类成分进行研究不仅可丰富其化学成分库,还可为其潜在药用价值的深度挖掘提供一定的科学依据,并为后续开发新的药物或功能性产品提供基础研究数据。

1 材料和方法

1.1 材料

滇南艾全草于2021年10月采自云南省西双版纳傣族自

治州勐腊县周围山脉,经昆明理工大学生命科学与技术学院张救教授鉴定为菊科蒿属植物滇南艾。标本保存于昆明理工大学生命科学与技术学院天然产物制药实验室,标本号TRCWlab-20211001。

1.2 主要仪器、耗材和试剂

主要仪器和耗材:Agilent 1200 series 高效液相色谱仪(美国 Agilent 公司)、Bruker HD 600M 核磁共振波谱仪(瑞士 Bruker BioSpin 公司)、Agilent Q-TOF-MS(6530B)高分辨质谱仪(美国 Agilent 公司)、LC-52 型半制备液相色谱仪(北京赛谱锐思科技有限公司)、AUW120D 电子天平(日本 Shimadzu 公司)、ZF-1 三用紫外分析仪(杭州齐威仪器有限公司)、EYELA 旋转蒸发仪(日本东京理化器械株式会社)、Agilent ZORBAX SB-C₁₈ 柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm)(美国 Agilent 公司)、YMC-Pack ODS-A-C₁₈ 柱(250 mm×10 mm, 5 μm)(日本 YMC 公司)、柱层析硅胶(100~200 目, 200~300 目)和薄层层析硅胶板 GF254(青岛海洋化工有限公司)、Sephadex LH-20 凝胶柱填料(美国 GE 公司)、MCI gel CHP 20P 柱填料(75~

收稿日期: 2025-04-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(32060105); 云南省基础研究计划面上项目(202201AT070879)

作者简介: 罗蓉(1998—),女,云南普洱人,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: daiwf@kust.edu.cn

引用格式: 罗蓉, 江霞, 付云, 等. 滇南艾全草乙醇提取物的黄酮类成分[J]. 植物资源与环境学报, 2026, 35(1): 104-108.

150 μm) (日本三菱化学公司)、ODS- C_{18} 柱填料 (40~63 μm) (日本 FUJI 公司)。

主要试剂: 工业级二氯甲烷、甲醇、乙酸乙酯、石油醚和丙酮产自天津市致远化学试剂有限公司, 色谱级甲醇和乙腈产自上海星可高纯溶剂有限公司, 纯度 99.8% 的氘代三氯甲烷和氘代甲醇产自美国 CIL 公司。

1.3 方法

根据预实验结果, 称取滇南艾全草 23.0 kg, 粉碎后过筛 (10 目), 然后用体积分数 90% 乙醇回流提取, 减压回收溶剂得到浸膏 3.2 kg。将浸膏分散于纯化水中, 依次用等体积石油醚、乙酸乙酯萃取 3 次, 萃取液分别经减压浓缩得到石油醚部位 (554.0 g) 和乙酸乙酯部位 (697.0 g)。

石油醚部位经硅胶柱层析, 用石油醚-乙酸乙酯混合溶液 (体积比依次为 1:0、10:1、5:1、2:1、1:1、1:2、1:5、0:1) 梯度洗脱得到 Fr.A 至 Fr.F 6 个部分。Fr.F (24.2 g) 经硅胶柱层析 [流动相为 $V(\text{石油醚}):V(\text{乙酸乙酯})=50:1\sim 0:1$] 得到 Fr.F-1 至 Fr.F-5。Fr.F-4 (3.2 g) 经 MCI 柱层析 (流动相为体积分数 30%~100% 甲醇-水溶液) 和半制备液相色谱得到化合物 12 (3.2 mg)、化合物 13 (1.0 mg)。Fr.F-5 (4.0 g) 经硅胶柱层析 [流动相为 $V(\text{二氯甲烷}):V(\text{甲醇})=250:1$] 得到 Fr.F-5-1 和 Fr.F-5-2, Fr.F-5-2 (2.0 g) 经硅胶柱层析 [流动相为 $V(\text{石油醚}):V(\text{乙酸乙酯})=20:1$] 得到 Fr.F-5-2-1, Fr.F-5-2-1 (900.0 mg) 经凝胶柱层析 [流动相为 $V(\text{二氯甲烷}):V(\text{甲醇})=1:1$] 得到 Fr.F-5-2-1-1, Fr.F-5-2-1-1 (300.2 mg) 经硅胶柱层析 [流动相为 $V(\text{石油醚}):V(\text{乙酸乙酯})=10:1$] 得到化合物 8 (35.5 mg)。

乙酸乙酯部位经硅胶柱层析, 用石油醚-乙酸乙酯混合溶液 (体积比依次为 1:0、10:1、5:1、1:1、1:5、1:10、0:1) 梯度洗脱, 得到 Fr.a 至 Fr.i 9 个部分。Fr.d (21.5 g) 经硅胶柱层析 [流动相为 $V(\text{石油醚}):V(\text{乙酸乙酯})=10:1\sim 0:1$] 得到 Fr.d-1 至 Fr.d-3, Fr.d-1 (5.3 g) 经 MCI 柱层析 (流动相为体积分数 30%~100% 甲醇-水溶液) 得到 Fr.d-1-1 至 Fr.d-1-3, Fr.d-1-3 (340.0 mg) 经凝胶柱层析 [流动相为 $V(\text{二氯甲烷}):V(\text{甲醇})=1:1$]、硅胶柱层析 (流动相为二氯甲烷) 得到化合物 14 (2.5 mg)。Fr.e (75.2 g) 经硅胶柱层析 [流动相为 $V(\text{石油醚}):V(\text{乙酸乙酯})=10:1\sim 0:1$] 得到 Fr.e-1 至 Fr.e-3。Fr.e-2 (50.2 g) 经硅胶柱层析 [流动相为 $V(\text{石油醚}):V(\text{乙酸乙酯})=20:1\sim 0:1$] 得到 Fr.e-2-1 至 Fr.e-2-2, Fr.e-2-2 (30.0 g) 经硅胶柱层析 [流动相为 $V(\text{石油醚}):V(\text{乙酸乙酯})=5:1\sim 0:1$]、MCI 柱层析 (流动相为体积分数 30%~100% 甲醇-水溶液) 得到 Fr.e-2-2-1 和 Fr.e-2-2-2, Fr.e-2-2-2 (13.5 g) 经 MCI 柱层析 (流动相为体积分数 30%~100% 甲醇-水溶液) 得到 Fr.e-2-2-2-1 至 Fr.e-2-2-2-4。Fr.e-2-2-2-1 (4.6 g) 经硅胶柱层析 [流动相为 $V(\text{二氯甲烷}):V(\text{甲醇})=200:1$] 得到化合物 6 (500.0 mg) 和 Fr.e-2-2-2-1-2, Fr.e-2-2-2-1-2 (455.2 mg) 经凝胶柱层析

(流动相为甲醇)、硅胶柱层析 [流动相为 $V(\text{石油醚}):V(\text{乙酸乙酯})=2.5:1$]、凝胶柱层析 [流动相为 $V(\text{二氯甲烷}):V(\text{甲醇})=1:1$] 得到化合物 10 (6.2 mg) 和化合物 11 (6.3 mg); Fr.e-2-2-2-2 (2.4 g) 经硅胶柱层析 [流动相为 $V(\text{二氯甲烷}):V(\text{甲醇})=100:1$] 得到 Fr.e-2-2-2-2-1 和 Fr.e-2-2-2-2-2, Fr.e-2-2-2-2-2 (910.6 mg) 经硅胶柱层析 [流动相为 $V(\text{石油醚}):V(\text{乙酸乙酯})=3:1$] 得到化合物 3 (247.0 mg); Fr.e-2-2-2-3 (2.1 g) 经硅胶柱层析 [流动相为 $V(\text{二氯甲烷}):V(\text{甲醇})=100:1$]、硅胶柱层析 [流动相为 $V(\text{石油醚}):V(\text{乙酸乙酯})=4:1$] 得到化合物 4 (41.1 mg); Fr.e-2-2-2-4 (3.6 g) 经硅胶柱层析 [流动相为 $V(\text{二氯甲烷}):V(\text{甲醇})=250:1$] 得到 Fr.e-2-2-2-4-1 和 Fr.e-2-2-2-4-2, Fr.e-2-2-2-4-1 (669.4 mg) 经凝胶柱层析 (流动相为甲醇) 得到化合物 5 (5.3 mg), Fr.e-2-2-2-4-2 (2.3 g) 经凝胶柱层析 [流动相为 $V(\text{二氯甲烷}):V(\text{甲醇})=1:1$] 得到化合物 9 (12.2 mg)。Fr.e-3 (7.4 g) 经 MCI 柱层析 (流动相为体积分数 55%~100% 甲醇-水溶液) 得到 Fr.e-3-1 和 Fr.e-3-2。Fr.e-3-1 (1.6 g) 经凝胶柱层析 [流动相为 $V(\text{二氯甲烷}):V(\text{甲醇})=1:1$]、凝胶柱层析 (流动相为甲醇) 得到化合物 2 (2.2 mg); Fr.e-3-2 (670.0 mg) 经硅胶柱层析 [流动相为 $V(\text{石油醚}):V(\text{乙酸乙酯})=5:1$] 得到 Fr.e-3-2-1 至 Fr.e-3-2-3, Fr.e-3-2-2 (220.0 mg) 经凝胶柱层析 (流动相为甲醇) 得到化合物 1 (10.0 mg)。Fr.f (50.2 g) 经硅胶柱层析 [流动相为 $V(\text{石油醚}):V(\text{乙酸乙酯})=5:1\sim 0:1$]、MCI 柱层析 (流动相为体积分数 50%~100% 甲醇-水溶液) 得到 Fr.f-1 至 Fr.f-3, Fr.f-3 (8.2 g) 经 MCI 柱层析 (流动相为体积分数 50%~100% 甲醇-水溶液) 得到 Fr.f-3-1 至 Fr.f-3-3, Fr.f-3-1 (2.3 g) 经硅胶柱层析 [流动相为 $V(\text{二氯甲烷}):V(\text{甲醇})=200:1$] 得到 Fr.f-3-1-1 和 Fr.f-3-1-2, Fr.f-3-1-1 (1.1 g) 经硅胶柱层析 [流动相为 $V(\text{石油醚}):V(\text{乙酸乙酯})=4:1$]、硅胶柱层析 [流动相为 $V(\text{石油醚}):V(\text{乙酸乙酯})=2:1$] 得到化合物 7 (6.0 mg)。

将上述 14 个化合物的 ^1H 、 ^{13}C 核磁共振波谱数据与文献报道的数据进行对比, 解析并确认其化学结构。

2 结 果

化合物 1 黄色结晶 (甲醇); ESI-MS m/z : 361.3 [$\text{M}+\text{H}$] $^+$; 分子式 $\text{C}_{18}\text{H}_{16}\text{O}_8$, 相对分子质量 360。 ^1H -NMR (400 MHz, DMSO) δ : 7.60 (1H, br s, H-2'), 7.49 (1H, d, $J=7.8$ Hz, H-6'), 6.91 (1H, br s, H-5'), 6.86 (1H, s, H-8), 3.91 (3H, s, 7-OMe), 3.79 (3H, s, 3-OMe), 3.73 (3H, s, 6-OMe)。 ^{13}C -NMR (100 MHz, DMSO) δ : 178.2 (C-4), 158.6 (C-7), 156.0 (C-9), 151.8 (C-2, 5), 148.9 (C-4'), 145.3 (C-3'), 137.7 (C-3), 131.6 (C-6), 120.7 (C-1', 6'), 115.8 (C-5'), 115.6 (C-2'), 105.6 (C-10), 91.3 (C-8), 60.1 (7-OMe), 59.7 (3-OMe), 56.5

(6-OMe)。以上数据与文献[8]报道数据基本一致,鉴定其为猫眼草酚D(chrysosplenol D)。

化合物2 黄色结晶(甲醇);ESI-MS m/z : 303.0 [M+H]⁺;分子式 C₁₅H₁₀O₇,相对分子质量 302。¹H-NMR(600 MHz, MeOD) δ : 7.74(1H, d, J =2.2 Hz, H-2'), 7.64(1H, dd, J =2.2, 8.4 Hz, H-6'), 6.88(1H, d, J =8.4 Hz, H-5'), 6.39(1H, d, J =2.0 Hz, H-8), 6.18(1H, d, J =2.0 Hz, H-6)。¹³C-NMR(150 MHz, MeOD) δ : 177.3(C-4), 165.6(C-7), 162.5(C-5), 158.2(C-9), 148.8(C-2), 148.0(C-4'), 146.2(C-3'), 137.3(C-3), 124.1(C-1'), 121.6(C-6'), 116.2(C-5'), 116.0(C-2'), 104.5(C-10), 99.2(C-6), 94.4(C-8)。以上数据与文献[9]报道数据基本一致,鉴定其为槲皮素(querceetin)。

化合物3 黄色结晶(甲醇);ESI-MS m/z : 331.1 [M+H]⁺;分子式 C₁₇H₁₄O₇,相对分子质量 330。¹H-NMR(600 MHz, DMSO) δ : 7.55~7.51(2H, m, H-2', 6'), 6.92(1H, d, J =8.9 Hz, H-5'), 6.87(1H, s, H-8), 6.59(1H, s, H-3), 3.88(3H, s, 6-OMe), 3.75(3H, s, 3'-OMe)。¹³C-NMR(150 MHz, DMSO) δ : 182.3(C-4), 163.8(C-2), 157.3(C-9), 152.9(C-5), 152.5(C-7), 150.8(C-3'), 148.1(C-4'), 131.4(C-6), 121.6(C-1'), 120.4(C-6'), 115.8(C-5'), 110.1(C-2'), 104.2(C-10), 102.8(C-3), 94.4(C-8), 60.0(6-OMe), 56.0(3'-OMe)。以上数据与文献[10]报道数据基本一致,鉴定其为棕矢车菊素(jaceosidin)。

化合物4 黄色结晶(甲醇);ESI-MS m/z : 361.9 [M+H]⁺;分子式 C₁₈H₁₆O₈,相对分子质量 360。¹H-NMR(600 MHz, DMSO) δ : 7.30(2H, s, H-2', 6'), 6.96(1H, s, H-3), 6.65(1H, s, H-8), 3.88(6H, s, 3', 5'-OMe), 3.75(3H, s, 6-OMe)。¹³C-NMR(150 MHz, DMSO) δ : 182.3(C-4), 163.8(C-2), 157.3(C-7), 152.8(C-5), 152.5(C-9), 148.2(C-3', 5'), 139.8(C-4'), 131.4(C-6), 120.5(C-1'), 104.3(C-2', 6'), 104.2(C-10), 103.2(C-3), 94.5(C-8), 60.1(6-OMe), 56.4(3', 5'-OMe)。以上数据与文献[11-12]报道数据基本一致,鉴定其为6-甲氧基麦黄酮(6-methoxytricin)。

化合物5 黄色结晶(甲醇);ESI-MS m/z : 315.1 [M+H]⁺;分子式 C₁₇H₁₄O₆,相对分子质量 314。¹H-NMR(600 MHz, DMSO) δ : 7.97(2H, d, J =8.5 Hz, H-2', 6'), 6.94(2H, d, J =8.5 Hz, H-3', 5'), 6.92(1H, s, H-8), 6.86(1H, s, H-3), 3.92(3H, s, 7-OMe), 3.73(3H, s, 6-OMe)。¹³C-NMR(150 MHz, DMSO) δ : 182.3(C-4), 164.1(C-2), 161.4(C-4'), 158.6(C-7), 152.7(C-9), 152.1(C-5), 131.9(C-6), 128.6(C-2', 6'), 121.1(C-1'), 116.0(C-3', 5'), 105.1(C-10), 102.7(C-3), 91.6(C-8), 60.1(6-OMe), 56.5(7-OMe)。以上数据与文献[13]报道数据基本一致,鉴定其为滨藜黄素(cirsimaritin)。

化合物6 黄色结晶(甲醇);ESI-MS m/z : 345.1 [M+H]⁺;分子式 C₁₈H₁₆O₇,相对分子质量 344。¹H-NMR(600 MHz, CDCl₃) δ : 7.50(1H, dd, J =8.4, 2.0 Hz, H-6'), 7.33(1H, d, J =

2.0 Hz, H-2'), 7.04(1H, d, J =8.4 Hz, H-5'), 6.59(1H, s, H-3), 6.56(1H, s, H-8), 4.01(3H, s, 3'-OMe), 3.98(3H, s, 7-OMe), 3.93(3H, s, 6-OMe)。¹³C-NMR(150 MHz, CDCl₃) δ : 182.8(C-4), 164.2(C-2), 158.9(C-7), 153.4(C-5), 153.2(C-9), 149.4(C-4'), 147.0(C-3'), 132.7(C-6), 123.5(C-1'), 120.8(C-6'), 115.1(C-5'), 108.4(C-2'), 106.3(C-10), 104.4(C-3), 90.7(C-8), 61.0(6-OMe), 56.5(3'-OMe), 56.3(7-OMe)。以上数据与文献[14]报道数据基本一致,鉴定其为甲基条叶蓟素(cirsilineol)。

化合物7 黄色粉末;ESI-MS m/z : 465.1 [M+H]⁺;分子式 C₂₅H₂₀O₉,相对分子质量 464。¹H-NMR(600 MHz, DMSO) δ : 7.68(1H, d, J =2.2 Hz, H-2'), 7.61(1H, dd, J =2.2, 8.6 Hz, H-6'), 7.09(1H, d, J =8.6 Hz, H-5'), 7.04(1H, d, J =2.0 Hz, H-2''), 6.90(1H, s, H-3), 6.88(1H, dd, J =8.1, 2.0 Hz, H-6'''), 6.81(1H, d, J =8.1 Hz, H-5'''), 6.53(1H, d, J =2.1 Hz, H-8), 6.21(1H, d, J =2.1 Hz, H-6), 5.02(1H, d, J =8.0 Hz, H-13), 4.28(1H, m, H-12), 3.78(3H, s, 3'''-OMe), 3.57(1H, m, H-11b), 3.37(1H, m, H-11a)。¹³C-NMR(150 MHz, DMSO) δ : 181.8(C-4), 164.4(C-2), 162.9(C-9), 161.5(C-7), 157.4(C-5), 147.7(C-3'''), 147.2(C-4', 4''), 143.7(C-3'), 127.0(C-1'''), 123.7(C-1'), 120.7(C-6'''), 120.0(C-6'), 117.6(C-5'), 115.4(C-5'''), 114.9(C-2'), 111.7(C-2''), 104.0(C-10), 103.8(C-3), 99.0(C-6), 94.2(C-8), 78.0(C-12), 76.4(C-13), 60.1(C-11), 55.7(3'''-OMe)。以上数据与文献[15]报道数据基本一致,鉴定其为大风子素D(hydnocarpin D)。

化合物8 黄色粉末;ESI-MS m/z : 375.1 [M+H]⁺;分子式 C₁₉H₁₈O₈,相对分子质量 374。¹H-NMR(600 MHz, DMSO) δ : 7.36(2H, s, H-2', 6'), 7.06(1H, s, H-3), 6.99(1H, s, H-8), 3.94(3H, s, 7-OMe), 3.89(6H, s, 3', 5'-OMe), 3.74(3H, s, 6-OMe)。¹³C-NMR(150 MHz, DMSO) δ : 182.3(C-4), 164.0(C-2), 158.6(C-7), 152.7(C-5), 152.1(C-9), 148.2(C-3', 5'), 140.0(C-4'), 131.9(C-6), 120.3(C-1'), 105.1(C-3), 104.3(C-2', 6'), 103.4(C-10), 91.8(C-8), 60.1(6-OMe), 56.5(3', 5'-OMe), 56.4(7-OMe)。以上数据与文献[16]报道数据基本一致,鉴定其为4',5-二羟基-3',5',6,7-四甲氧基黄酮(4',5-dihydroxy-3',5',6,7-tetramethoxyflavone)。

化合物9 黄色粉末;ESI-MS m/z : 301.1 [M+H]⁺;分子式 C₁₆H₁₂O₆,相对分子质量 300。¹H-NMR(400 MHz, DMSO) δ : 7.57~7.54(2H, m, H-2', 6'), 6.93(1H, d, J =8.9 Hz, H-5'), 6.90(1H, s, H-3), 6.51(1H, d, J =2.0 Hz, H-8), 6.19(1H, d, J =2.0 Hz, H-6), 3.89(3H, s, 3'-OMe)。¹³C-NMR(100 MHz, DMSO) δ : 181.8(C-4), 164.2(C-7), 163.7(C-2), 161.4(C-5), 157.4(C-9), 150.7(C-4'), 148.0(C-3'), 121.5(C-1'), 120.4(C-6'), 115.8(C-5'), 110.2(C-2'), 103.7(C-10), 103.2(C-3), 98.8(C-6), 94.1(C-8), 56.0(3'-OMe)。以上数据与文献[17]报道数据基本一致,鉴定其为金圣草黄素

(chrysoeriol)。

化合物 10 黄色结晶(甲醇);ESI-MS m/z : 273.2 [M+H]⁺;分子式 C₁₅H₁₂O₅, 相对分子质量 272。¹H-NMR(600 MHz, MeOD) δ : 7.31(2H, d, J =8.6 Hz, H-2', 6'), 6.82(2H, d, J =8.6 Hz, H-3', 5'), 5.89(1H, d, J =2.2 Hz, H-8), 5.88(1H, d, J =2.2 Hz, H-6), 5.33(1H, dd, J =12.9, 3.0 Hz, H-2), 3.11(1H, dd, J =17.2, 12.9 Hz, H-3 α), 2.69(1H, dd, J =17.2, 3.0 Hz, H-3 β)。 ¹³C-NMR(150 MHz, MeOD) δ : 197.8(C-4), 168.3(C-7), 164.9(C-5, 9), 159.0(C-4'), 131.1(C-1'), 129.0(C-2', 6'), 116.3(C-3', 5'), 103.3(C-10), 97.0(C-6), 96.2(C-8), 80.5(C-2), 44.0(C-3)。以上数据与文献[18-19]报道数据基本一致, 鉴定其为柚皮素(naringenin)。

化合物 11 黄色油状;ESI-MS m/z : 303.6 [M+H]⁺;分子式 C₁₆H₁₄O₆, 相对分子质量 302。¹H-NMR(600 MHz, MeOD) δ : 7.08(1H, d, J =2.0 Hz, H-2'), 6.92(1H, dd, J =8.1, 2.0 Hz, H-6'), 6.82(1H, d, J =8.1 Hz, H-5'), 5.90(1H, d, J =2.0 Hz, H-8), 5.88(1H, d, J =2.0 Hz, H-6), 5.34(1H, dd, J =13.0, 3.0 Hz, H-2), 3.88(3H, s, 3'-OMe), 3.14(1H, dd, J =17.1, 13.0 Hz, H-3a), 2.70(1H, dd, J =17.1, 3.0 Hz, H-3b)。 ¹³C-NMR(150 MHz, MeOD) δ : 197.7(C-4), 168.8(C-7), 165.5(C-5), 164.8(C-9), 149.1(C-3'), 148.1(C-4'), 131.7(C-1'), 120.5(C-6'), 116.1(C-5'), 111.2(C-2'), 103.2(C-10), 97.2(C-6), 96.3(C-8), 80.7(C-2), 56.4(3'-OMe), 44.2(C-3)。以上数据与文献[20]报道数据基本一致, 鉴定其为高圣草酚(homoeriodictyol)。

化合物 12 淡黄色粉末;ESI-MS m/z : 375.1 [M+H]⁺;分子式 C₁₉H₁₈O₈, 相对分子质量 374。¹H-NMR(600 MHz, CDCl₃) δ : 12.62(1H, s, 5-OH), 7.71(1H, d, J =2.0 Hz, H-2'), 7.67(1H, dd, J =8.4, 2.0 Hz, H-6'), 7.05(1H, d, J =8.4 Hz, H-5'), 6.50(1H, s, H-8), 6.02(1H, s, 4'-OH), 3.99(3H, s, 3'-OMe), 3.96(3H, s, 7-OMe), 3.92(3H, s, 6-OMe), 3.86(3H, s, 3-OMe)。 ¹³C-NMR(150 MHz, CDCl₃) δ : 179.0(C-4), 158.9(C-7), 156.1(C-2), 152.9(C-5), 152.5(C-9), 148.4(C-4'), 146.5(C-3'), 138.8(C-3), 132.4(C-6), 122.7(C-6'), 122.6(C-1'), 114.7(C-5'), 111.0(C-2'), 106.7(C-10), 90.5(C-8), 61.1(6-OMe), 60.3(3-OMe), 56.5(7-OMe), 56.3(3'-OMe)。以上数据与文献[21]报道数据基本一致, 鉴定其为猫眼草黄素(chrysofenetin)。

化合物 13 淡黄色粉末;ESI-MS m/z : 375.1 [M+H]⁺;分子式 C₁₉H₁₈O₈, 相对分子质量 374。¹H-NMR(600 MHz, CDCl₃) δ : 7.73(1H, br s, H-2'), 7.71(1H, br s, H-6'), 6.96(1H, br s, H-5'), 6.51(1H, s, H-8), 4.00(3H, s, 4'-OMe), 3.97(3H, s, 7-OMe), 3.92(3H, s, 6-OMe), 3.87(3H, s, 3-OMe)。 ¹³C-NMR(150 MHz, CDCl₃) δ : 179.0(C-4), 158.9(C-7), 155.8(C-2), 152.8(C-5), 152.3(C-9), 148.8(C-4'), 145.8(C-3'), 138.2(C-3), 132.2(C-6), 123.6(C-1'), 121.8(C-6'), 114.6(C-

2'), 110.4(C-5'), 106.9(C-10), 90.4(C-8), 61.1(6-OMe), 60.2(3-OMe), 57.0(7-OMe), 56.0(4'-OMe)。以上数据与文献[22]报道数据基本一致, 鉴定其为紫花牡荆素(casticin)。

化合物 14 黄色粉末;ESI-MS m/z : 309.1 [M+Na]⁺;分子式 C₁₅H₁₀O₆, 相对分子质量 286。¹H-NMR(600 MHz, MeOD) δ : 8.03(2H, d, J =8.4 Hz, H-2', 6'), 6.91(2H, d, J =8.4 Hz, H-3', 5'), 6.45(1H, br s, H-8), 6.15(1H, br s, H-6)。 ¹³C-NMR(150 MHz, MeOD) δ : 177.5(C-4), 167.0(C-7), 162.2(C-5), 160.7(C-9), 158.1(C-4'), 148.8(C-2), 138.3(C-3), 130.8(C-2', 6'), 123.6(C-1'), 116.3(C-3', 5'), 105.4(C-10), 99.3(C-6), 94.4(C-8)。以上数据与文献[23]报道数据基本一致, 鉴定其为山柰酚(kaempferol)。

3 讨论和结论

从滇南艾全草乙醇提取物中分离得到 14 个黄酮类化合物, 所有化合物均首次从该植物中分离得到, 其中, 化合物 2 和 14 为黄酮醇类化合物; 化合物 1、12 和 13 为 *O*-甲基化黄酮醇类化合物; 化合物 7 为黄酮木脂素类化合物, 且首次从菊科植物中分离得到; 化合物 10 和 11 为二氢黄酮类化合物。黄酮类化合物具有良好的抗氧化和抗炎等生物活性^[6]。值得注意的是, 化合物 1、12 和 13 由于甲基化修饰, 其稳定性和生物利用度有所提高^[24]。化合物 1 和 13 具有潜在的抗肿瘤活性, 可选择性抑制三阴性乳腺癌(TNBC)细胞系 MDA-MB-231、CAL-51、CAL-148 以及 MCF7、A549、MIA PaCa-2 和 PC-3 细胞的存活率^[25]。此外, 这 2 个化合物还兼具抗炎活性。化合物 1 对脂多糖(LPS)诱导的小鼠急性肺损伤具有预防作用, 其机制可能通过减轻炎症反应、抑制细胞凋亡、提升机体抗氧化能力以及抑制 TLR4-NLRP3 信号通路实现^[26]。化合物 13 不仅能通过调控 NF- κ B-Keap1-Nrf2/ARE 信号通路, 抑制脂多糖诱导的细胞炎症反应^[27], 还能缓解 H₂O₂ 诱导的人正常肺上皮细胞 BEAS-2B 氧化应激损伤, 促进细胞增殖, 该作用可能与 Keap1-Nrf2/ARE 信号通路的激活相关^[28]。化合物 7 属于黄酮木脂素类化合物, 该类化合物具有良好的抗肿瘤活性^[29]。化合物 7 可通过同时靶向调控细胞周期、细胞凋亡及自噬依赖性铁死亡的多条信号通路, 在 T-急性淋巴细胞白血病(T-ALL)细胞中展现出抗白血病活性^[30]。

本研究首次对滇南艾全草乙醇提取物中的黄酮类成分进行了分析, 既丰富了该植物的化学成分研究, 也为后续化学成分的活性研究提供了物质基础, 但因提取溶剂极性所限, 还需利用其他溶剂提取进行补充。后续可对分离得到的滇南艾黄酮类成分的生物活性进行评价, 为滇南艾药用资源的开发和利用提供更丰富的实验数据。

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: 第七十六卷第二分册[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 91-92.

- [2] 池 军,戴伟锋,李宝才,等.滇南艾的化学成分研究(II)[J].昆明理工大学学报(自然科学版),2017,42(2):73-76,88.
- [3] LIU L, DAI W F, XIANG C, et al. 1,10-secoguaianolides from *Artemisia austro-yunnanensis* and their anti-inflammatory effects[J]. *Molecules*, 2018, 23(7): 1639.
- [4] 池 军,李宝才,张 救.滇南艾的化学成分研究[J].昆明理工大学学报(自然科学版),2015,40(5):93-96.
- [5] 吴志华,马 丽,陈 剑,等.基于UPLC-ESI-MS/MS技术黑豆种皮的化学成分分析[J].植物资源与环境学报,2024,33(1):111-113.
- [6] BELAIBA M, ALDULAIJAN S, MESSAOUDI S, et al. Evaluation of biological activities of twenty flavones and in silico docking study[J]. *Molecules*, 2023, 28(6): 2419.
- [7] 李雯轩,高欣雨,黄 鑫,等.大叶蔷薇乙醇提取物的生物活性及其物质基础[J].植物资源与环境学报,2024,33(3):97-106.
- [8] ONO M, MASUOKA C, ODAKE Y, et al. Antioxidative constituents from *Tessaria integrifolia* [J]. *Food Science and Technology Research*, 2000, 6(2): 106-114.
- [9] QIN J J, ZHU J X, ZHU Y, et al. Flavonoids from the aerial parts of *Inula japonica*[J]. *中国天然药物*, 2010, 8(4): 257-259.
- [10] 吴双庆,孙 群,褚纯隽,等.野马追化学成分[J].*中国中药杂志*, 2012, 37(7): 937-940.
- [11] 刘 丹,师宁宁,吴叶红,等.冷蒿的化学成分研究[J].*中草药*, 2017, 48(24): 5090-5098.
- [12] 曹彦刚,任英杰,郝志友,等.水栀子醋酸乙酯部位化学成分研究[J].*天然产物研究与开发*, 2022, 34(3): 413-419.
- [13] HASRAT J A, PIETERS L, CLAEYS M, et al. Adenosine-1 active ligands: cirsimarin, a flavone glycoside from *Microtea debilis*[J]. *Journal of Natural Products*, 1997, 60(6): 638-641.
- [14] AL-MAJMAIE S, NAHAR L, RAHMAN M M, et al. Antimicrobial potential of the leaves of *Citrus grandis* (L.) Osbeck collected from Iraq: bioassay-guided isolation of sinensetin as the anti-MRSA compound[J]. *Fitoterapia*, 2025, 181: 106393.
- [15] 张 聪,殷志琦,叶文才,等.忍冬藤的化学成分研究[J].*中国中药杂志*, 2009, 34(23): 3051-3053.
- [16] 梁 晨,杨国春,李丹慧,等.半枝莲化学成分研究[J].*中草药*, 2016, 47(24): 4322-4325.
- [17] TAI B H, CUONG N M, HUONG T T, et al. Chrysoeriol isolated from the leaves of *Eurya ciliata* stimulates proliferation and differentiation of osteoblastic MC3T3-E1 cells[J]. *Journal of Asian Natural Products Research*, 2009, 11(9): 817-823.
- [18] YE G, HUANG C G. Flavonoids of *Limonium aureum* [J]. *Chemistry of Natural Compounds*, 2006, 42: 232-234.
- [19] 柳建军,刘锡葵.黄连木食用部位化学成分研究[J].*中草药*, 2009, 40(2): 186-189.
- [20] 任 尧,韩依含,王奕航,等.野菊花的化学成分研究[J].*中草药*, 2024, 55(17): 5770-5776.
- [21] MARCO J A, BARBERÁ O, RODRÍGUEZ S, et al. Flavonoids and other phenolics from *Artemisia hispanica*[J]. *Phytochemistry*, 1988, 27: 3155-3159.
- [22] 赵祎武,倪付勇,宋亚玲,等.青蒿化学成分研究[J].*中国中药杂志*, 2014, 39(24): 4816-4821.
- [23] 郑绍军,杨丹丹,朱 瑞,等.鹿衔草化学成分的分离与鉴定[J].*化学与生物工程*, 2016, 33(12): 31-33.
- [24] WEN X, WALLE T. Methylated flavonoids have greatly improved intestinal absorption and metabolic stability[J]. *Drug Metabolism and Disposition*, 2006, 34(10): 1786-1792.
- [25] LANG S J, SCHMIECH M, HAFNER S, et al. Chrysoeriol D, a flavonol from *Artemisia annua*, induces ERK1/2-mediated apoptosis in triple negative human breast cancer cells [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020, 21(11): 4090.
- [26] 张钦钦,曾梦楠,张贝贝,等.猫眼草酚D抑制小鼠急性肺损伤的作用及其机制研究[J].*中国新药杂志*, 2022, 31(4): 362-368.
- [27] 卢丽君,田 辉,郑 洋,等.紫花牡荆素对脂多糖诱导的BEAS-2B细胞损伤和NF- κ B-Keap1-Nrf2/ARE通路的影响[J].*中国免疫学杂志*, 2024, 40(3): 546-550.
- [28] 卢丽君,田 辉,郑 洋,等.紫花牡荆素对BEAS-2B细胞氧化应激损伤的作用研究[J].*中国临床药理学杂志*, 2023, 39(1): 42-46.
- [29] 力瓦衣丁·买合苏提,於俊杰,王 琪,等.次大风子素酰胺类衍生物的合成及抗癌活性评价[J].*有机化学*, 2020, 40(9): 2764-2771.
- [30] LOU S Y, HONG H W, MAIHESUTI L, et al. Inhibitory effect of hydnocarpin D on T-cell acute lymphoblastic leukemia via induction of autophagy-dependent ferroptosis[J]. *Experimental Biology and Medicine*, 2021, 246(13): 1541-1553.

(责任编辑:张明霞)