

锦灯笼宿萼中甾体类化学成分与抗炎活性

童正香¹, 刘璟钰³, 陈鑫¹, 李蓉涛^{1*}, 曾建国^{1, 2, 3*}

1. 昆明理工大学生命科学与技术学院, 云南 昆明 650500

2. 湖南农业大学动物医学院 中兽药湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410128

3. 山西农业大学动物医学学院 中兽医现代化山西省重点实验室, 山西 太谷 030801

摘要: 目的 研究锦灯笼 *Physalis alkekengi* var. *franchetii* 宿萼 95%乙醇提取物的化学成分与抗炎活性评价。方法 采用硅胶柱、Sephadex LH-20 凝胶柱、HPLC 制备等方法进行分离、纯化, 通过波谱技术对化合物结构进行鉴定, 采用脂多糖 (lipopolysaccharide, LPS) 诱导的 RAW264.7 小鼠单核巨噬细胞体外炎症模型进行抗炎活性评价。结果 分离得到 14 个化合物, 分别鉴定为 7 β -ethoxy-25,27-dihydro-3,6-didehydroisophysalin M (1)、异酸浆苦素 B (2)、4,7-didehydroneophysalin B (3)、酸浆苦素 B (4)、25,27-dihydro-4,7-dedehydro-7-deoxyneophysalin A (5)、酸浆苦素 E (6)、酸浆苦素 L (7)、酸浆苦素 O (8)、酸浆苦素 D (9)、ergosta-4,24(28)-diene-3-one (10)、24-ethylcholesta-4,24(28)-dien-3-one (11)、sitosterone (12)、gramisterol (13)、柠黄醇 (14); 在抗炎活性评价实验中, 化合物 2~6、8~9 对 NO 生成具有抑制作用。结论 化合物 1 为新化合物, 命名为酸浆苦素 M1; 化合物 10~12、14 均为首次从该属植物中分离得到; 此外, 化合物 6 对 NO 具有显著抑制作用, 半数抑制浓度 (median inhibition concentration, IC₅₀) 值为 15.07 μ mol/L, 与阳性 L-NMMA (IC₅₀=36.11 μ mol/L) 相比具有较好的抗炎活性。

关键词: 锦灯笼; 甾体类化合物; 抗炎活性; 酸浆苦素 M1; 酸浆苦素 E; 酸浆苦素 O; 柠黄醇

中图分类号: R284.1 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2024)10-3230-08

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2024.10.002

Steroid chemical constituents and anti-inflammatory activity in calyx of *Physalis alkekengi* var. *franchetii*

TONG Zhengxiang¹, LIU Jingyu³, CHEN Xin¹, LI Rongtao¹, ZENG Jianguo^{1, 2, 3}

1. School of Life Science and Technology, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China

2. Hunan Key Laboratory of Traditional Chinese Veterinary Medicine, College of Veterinary Medicine, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

3. Shanxi Key Laboratory of Modernization of Chinese Veterinary Medicine, College of Veterinary Medicine, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China

Abstract: Objective To study the chemical composition and anti-inflammatory activity of 95% ethanol extract in the calyx of Jindenglong (*Physalis alkekengi* var. *franchetii*). **Methods** These compounds were separated and purified by silica gel column, Sephadex LH-20 gel column and HPLC preparation, and their structures were identified by spectroscopic techniques, the anti-inflammatory activities of RAW264.7 mouse mononuclear macrophages induced by LPS were evaluated *in vitro*. **Results** Fourteen compounds were isolated and their structures were identified as 7 β -ethoxy-25,27-dihydro-3,6-didehydroisophysalin M (1), isophysalin B (2), 4,7-didehydroneophysalin B (3), physalin B (4), 25,27-dihydro-4,7-dedehydro-7-deoxyneophysalin A (5), physalin E (6), physalin L (7), physalin O (8), physalin D (9), ergosta-4,24(28)-diene-3-one (10), 24-ethylcholesta-4,24(28)-dien-3-one (11), sitosterone (12), gramisterol (13), citroflavin (14). In the experiment of anti-inflammatory activities evaluation, compounds 2—6, 8—9 had inhibitory effect on NO production. **Conclusion** Compounds 1 is a new compound named physalin M1. Compounds 10—12,

收稿日期: 2024-02-27

基金项目: “十四五”国家重点研发计划课题 (2022YFD1801103)

作者简介: 童正香 (1997—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为天然药物化学。E-mail: 2561348601@qq.com

*通信作者: 李蓉涛, 女, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为天然药物化学。E-mail: rongtaolikm@163.com

曾建国, 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为兽用中药资源与中兽药创新。E-mail: zengjianguo@hunau.edu.cn

14 were isolated from this plant for the first time. In addition, compound 6 had a significant inhibitory effect on NO, and the IC₅₀ of compound 6 was 15.07 $\mu\text{mol/L}$, compared with positive *L*-NMMA (IC₅₀ = 36.11 $\mu\text{mol/L}$), it had better anti-inflammatory activity.

Key words: *Physalis alkekengi* L. var. *franchetii* (Mast.) Makino; steroids; anti-inflammatory activity; physalin M1; physalin E; physalin O; citroflavin

锦灯笼是茄科植物酸浆 *Physalis alkekengi* L. var. *franchetii* (Mast.) Makino 的干燥宿萼或带果实的宿萼, 多年生草本植物。《中国药典》2020 年版中记载, 锦灯笼, 性苦, 寒, 归肺经, 具有清热解毒、利咽化痰、利尿通淋等功效, 可用于治疗咽痛暗哑、痰热咳嗽、小便不利、湿疹等^[1], 拥有较高药用价值, 也具有丰富的营养价值与观赏价值。锦灯笼中化学成分丰富, 含有甾体类、黄酮类、苯丙素类、生物碱类和萜类等^[2-3], 这些成分具有抗菌、抗炎、抗氧化、抗支原体、降血糖、抗肿瘤等现代药理活性^[3-7], 而甾体类成分是锦灯笼中主要的活性化合物。

为了更深入探究此类活性化合物, 本实验对锦灯笼 95%乙醇提取物进行了更为系统的化学成分研究, 通过理化性质、谱学数据并结合文献分析, 共鉴定了 14 个化合物, 分别为 7 β -ethoxy-25,27-dihydro-3,6-didehydroisophysalin M (1)、异酸浆苦素 B (isophysalin B, 2)、4,7-didehydroneophysalin B (3)、酸浆苦素 B (physalin B, 4)、25,27-dihydro-4,7-dedehydro-7-deoxyneophysalin A (5)、酸浆苦素 E (physalin E, 6)、酸浆苦素 L (physalin L, 7)、酸浆苦素 O (physalin O, 8)、酸浆苦素 D (physalin D, 9)、ergosta-4,24(28)-diene-3-one (10)、24-ethylcholesta-4,24(28)-dien-3-one (11)、sitosterone (12)、gramisterol (13)、柠黄醇 (citroflavin, 14), 其中化合物 1 为新化合物, 命名为酸浆苦素 M1; 化合物 10~12、14 均为首次从该属植物中分离得到的已知化合物。在抗炎活性评价实验中, 化合物 2~6、8~9 对 NO 生成具有抑制作用, 其中, 化合物 6 的半数抑制浓度 (median inhibition concentration, IC₅₀) 值为 15.07 $\mu\text{mol/L}$, 对 NO 生成有显著抑制作用, 具有较好的抗炎活性。以上研究为锦灯笼中甾体类化合物的进一步开发利用提供了理论依据。

1 仪器与材料

AM-400 型核磁共振波谱仪 (德国 Bruker 公司); Lambda 650 型傅里叶红外光谱分析仪 (澳大利亚 lambda 公司); Agilent 1290 超高效液相-质谱

联用仪 (美国 Agilent 公司); Agilent 1290 高效液相色谱仪 (美国 Agilent 公司); 色谱柱 Agilent TC-C₁₈ 柱, 250 mm $\times$ 4.6 mm; 250 mm $\times$ 9.4 mm, 5 μm (美国 Agilent 公司); 多功能酶标仪 (奥地利 Tecan Austria gmbh; 奥地利); CCK-8 试剂与 NO 检测试剂盒 (Beyotime 公司, 中国); 薄层色谱硅胶 G/GF₂₅₄ (青岛海洋化工厂); 凝胶 Sephadex LH-20 (美国 Pharmacia Biotech 公司, 美国); 乙醇、甲醇和二氯甲烷等溶剂均为分析纯 (上海国药集团化学试剂有限公司); NG-单甲基-L-精氨酸乙酸盐 (*L*-NMMA, 批号 S0011, 碧云天生物技术有限公司)。

锦灯笼原药材由山西农业大学提供, 经湖南农业大学中药资源开发系曾建国教授鉴定为锦灯笼 *P. alkekengi* L. var. *Franchetii* (Mast.) Makino 的干燥宿萼, 标本 (JDL-20221023) 现存于湖南省中兽药重点实验室。

2 方法

2.1 提取与分离

取锦灯笼干燥宿萼粉末 10 kg, 用 95%乙醇回流提取 2 次, 每次 2 h, 合并提取液, 减压浓缩得到浸膏 1.4 kg, 浸膏依次用石油醚-水、醋酸乙酯-水萃取 3 次, 减压回收得到石油醚相 558.9 g、醋酸乙酯相 133.6 g。将醋酸乙酯相经硅胶柱色谱, 以二氯甲烷:醋酸乙酯 (100:0~0:100) 为流动相进行梯度洗脱, 根据薄层色谱结果, 得到 9 个组分 EA1~EA9。EA2 经硅胶柱色谱, 以石油醚-醋酸乙酯 (3:1~1:1) 进行洗脱, 得到 2 个组分, 组分 20.4 mg 经硅胶、凝胶 Sephadex LH-20 柱色谱后, 得到化合物 1 (4.6 mg), 组分 264.9 mg 经硅胶柱色谱, 以二氯甲烷:醋酸乙酯 (10:1) 进行洗脱, 得到组分 99 mg 再经半制备 HPLC (甲醇-水 63:37, 3 mL/min, t_R =48 min) 得到化合物 2 (10.9 mg), EA3 经凝胶柱 Sephadex LH-20 (二氯甲烷-甲醇 1:1) 得到 7 个组分, EA3-4 采用硅胶柱色谱, 以二氯甲烷-醋酸乙酯 (70:1) 进行梯度洗脱, 得到组分 EA3-4-3, 再经硅胶柱色谱, 以二氯甲烷-醋酸乙酯 (5:1) 进行梯度洗脱, 得到的混合物采用半制备 HPLC (甲醇-水 45:55, 3 mL/min, t_R =22 min) 得到化合物 3

(5.4 mg), EA3-5 采用与 EA3-4 相同条件的硅胶柱色谱后,得到的混合物用甲醇重结晶得到化合物 4 (28.4 mg), EA4 经凝胶 Sephadex LH-20 (二氯甲烷-甲醇 1:1) 柱色谱后,以薄层色谱显示结果为标准,合并相似部分,得到 5 个组分,其中,EA4-2 采用硅胶柱色谱,以石油醚-醋酸乙酯 (1:1) 为洗脱条件,得到混合物用甲醇重结晶得到化合物 5 (28.1 mg), EA4-3 经硅胶柱色谱,以石油醚-醋酸乙酯 (1:1) 洗脱,得到组分 883.9 mg,再经凝胶柱 Sephadex LH-20 (甲醇) 分离纯化得到化合物 6 (115.5 mg), EA6 经硅胶 (二氯甲烷-甲醇 70:1)、凝胶柱色谱,分离纯化得到化合物 7 (12 mg)、8 (86.6 mg), EA9 经硅胶柱色谱,用二氯甲烷-醋酸乙酯 (3:1~0:1) 进行梯度洗脱,得到组分 346 mg,再经凝胶柱 Sephadex LH-20 (甲醇) 分离纯化得到化合物 9 (144.4 mg)。

将石油醚相经硅胶柱色谱,以石油醚-醋酸乙酯 (100:0~0:100) 为流动相进行梯度洗脱,根据薄层色谱结果,得到 8 个组分 P1~P8, P3 采用硅胶柱色谱 (石油醚-二氯甲烷 2:1、石油醚-醋酸乙酯 4:1), 得到 2 个组分, P3-1 经半制备 HPLC (甲醇-水 94:6, 3 mL/min, t_R =37、45、62 min) 得到化合物 10 (3.1 mg)、11 (12.6 mg)、12 (11.2 mg), P3-2 经半制备 HPLC (甲醇-水 99:1, 3 mL/min, t_R =13、15 min) 得到化合物 13 (3.3 mg)、14 (3.2 mg)。

2.2 抗炎活性测定

采用脂多糖 (lipopolysaccharide, LPS) 诱导的 RAW264.7 小鼠单核巨噬细胞体外炎症模型进行抗炎活性评价,实验采用 CCK-8 法筛查化合物对细胞活力的影响。

本实验采用 NO 生成抑制实验评价化合物的抗炎活性,该方法参照文献报道^[8]。将细胞接种至 96 孔板,加入 0.4 μ g/mL 的 LPS,在 37 $^{\circ}$ C、5% CO₂ 条件下培养 24 h,得到炎症模型,加入不同浓度的待测化合物培养 24 h,实验设置模型组加入等体积含 DMSO 和 LPS (0.4 g/mL) 的 DMEM 完全培养基,实验组在炎症模型中加入含有不同浓度单体化合物,对照组加入等体积含 DMSO 的 DMEM 完全培养基。在化合物处理 24 h 后收集细胞上清液,加入 Griess Reagent 试剂孵育 10 min (避光),利用酶标仪检测波长 540 nm 处的吸光度 (A) 值,计算 NO 生成抑制率。

抑制率=(模型组 A 值-实验组 A 值)/(模型组 A 值-对照组 A 值)

3 结果

3.1 结构鉴定

化合物 1: 黄色粉末, TLC 上 10% 浓硫酸乙醇溶液呈橙黄色, HR-ESI-MS 给出化合物的准分子离子峰 m/z : 555.223 5 $[M-H]^{-}$, 计算值为 555.223 6, 确定分子式为 C₃₀H₃₆O₁₀, 不饱和度为 13。 $[\alpha]_D^{25} + 42.63^{\circ}$ (c 0.30, MeOH); UV λ_{max}^{MeOH} (nm): 230 (3.25), 250 (3.20); IR ν_{max}^{KBr} (cm⁻¹): 3 423, 2 353, 1 713, 1 069。

¹H-NMR 谱 (表 1) 中提示有 5 个甲基信号 δ_H 1.22 (3H, s, H-19), 1.88 (3H, s, H-21), 1.32 (3H, d, J =7.3 Hz, H-27), 1.36 (3H, s, H-28) 与 1.16 (3H, t, J =7.0 Hz, H-30); 4 个连氧碳上的氢信号 δ_H 4.49 (1H, dd, J =5.7, 2.3 Hz, H-7), 4.62 (1H, d, J =3.5 Hz, H-22), 3.63 (1H, m, H-29), 3.55 (1H, dd, J =15.8, 7.0 Hz, H-29)]; 低场区显示有 2 对烯氢信号 [δ_H 5.82 (1H, ddd, J =9.8, 4.6, 3.2 Hz, H-3), 5.88 (1H, d, J =5.7 Hz, H-6), 6.10 (1H, m, H-4)]; ¹³C NMR 谱与 DEPT 谱中给出 30 个碳信号 (表 1), 包含 5 个甲基: δ_C 16.0 (C-19), 21.8 (C-21), 16.2 (C-27), 26.2 (C-28), 15.8 (C-30); 5 个亚甲基 δ_C 39.7 (C-2), 24.1 (C-11), 31.0 (C-12), 25.8 (C-23), 64.8 (C-29); 9 个次甲基 δ_C 125.8 (C-3), 128.4 (C-4), 125.4 (C-6), 70.3 (C-7), 44.5 (C-8), 29.3 (C-9), 54.2 (C-16), 79.0 (C-22), 43.0 (C-25); 11 个季碳 δ_C 208.1 (C-1), 144.2 (C-5), 56.8 (C-10), 82.3 (C-13), 101.6 (C-14), 213.9 (C-15), 80.1 (C-17), 171.5 (C-18), 82.5 (C-20), 35.6 (C-24), 177.0 (C-26)。其中, C-1 和 C-15 为 2 个酮羰基碳信号; C-26 和 C-18 为 2 个酯羰基碳信号; C-3、C-4、C-5 和 C-6 为 4 个烯烃碳; C-14、C-13 为连有-OH 的季碳; C-7、C-13、C-17、C-20、C-22、C-29 为 6 个连氧碳信号。

以上数据表明该化合物可能为酸浆苦素类化合物,与文献中 7 β -ethoxy-isophysalin C^[9] 谱图数据比较,发现化合物 1 的 C-27 位为甲基而不是文献化合物中末端双键。根据 HMBC 谱 (图 1) 中 H-27 与 C-24, C-25 和 C-27 的相关性以及 ¹H-¹H COSY 谱 (图 1) 中 H-27 与 H-25 的相关性可以证明上述结论。此外, ¹H-¹H COSY 谱中 H-2/H-3/H-4, H-6/H-7, H-8/H-9/H-11/H-12, H-22/H-23, H-29/H-30 的相关性确定了该化合物的平面结构。从 NOESY 谱 (图 2) 中,可以看出 H-7 与 H-8, H-19 有相关性, H-7, H-8 和 H-19 定为 α 构型, H-19 与 H-21, H-21 与 H-22、H-27 有 NOESY 相关性,因此 H-21、H-22 和 H-27 也为 α 构型; H-9 与 H-16, H-28, 14-OH 相关

表 1 化合物 1 的 ^1H -NMR 和 ^{13}C -NMR 谱数据 (400/100 MHz, CDCl_3)

Table 1 ^1H and ^{13}C -NMR data of compound 1 (400/100 MHz, CDCl_3)

碳位	δ_{C} (type)	δ_{H}
1	208.1, C	
2	39.7, CH_2	3.28 (1H, m), 2.81 (1H, dd, $J = 20.6, 3.2$ Hz)
3	125.8, CH	5.82 (1H, ddd, $J = 9.8, 4.6, 3.2$ Hz)
4	128.4, CH	6.10 (1H, m)
5	144.2, C	
6	125.4, CH	5.88 (1H, d, $J = 5.7$ Hz)
7	70.3, CH	4.49 (1H, dd, $J = 5.7, 2.3$ Hz)
8	44.5, CH	2.26 (1H, m)
9	29.3, CH	3.21 (1H, m)
10	56.8, C	
11	24.1, CH_2	1.25 (1H, s), 1.71 (1H, dd, $J = 16.3, 8.0$ Hz)
12	31.0, CH_2	2.67 (1H, ddd, $J = 16.0, 12.4, 8.0$ Hz), 1.63 (1H, m)
13	82.3, C	4.89 (1H, s, -OH)
14	101.6, C	3.79 (1H, s, -OH)
15	213.9, C	
16	54.2, CH	2.57 (1H, s)
17	80.1, C	
18	171.5, C	
19	16.0, CH_3	1.22 (3H, s)
20	82.5, C	
21	21.8, CH_3	1.88 (3H, s)
22	79.0, CH	4.62 (1H, d, $J = 3.5$ Hz)
23	25.8, CH_2	2.22 (1H, dd, $J = 13.7, 3.5$ Hz), 1.78 (1H, d, $J = 15.1$ Hz)
24	35.6, C	
25	43.0, CH	2.48 (1H, m)
26	177.0, C	
27	16.2, CH_3	1.32 (3H, d, $J = 7.3$ Hz)
28	26.2, CH_3	1.36 (3H, s)
29	64.8, CH_2	3.63 (1H, m), 3.55 (1H, dd, $J = 15.8, 7.0$ Hz)
30	15.8, CH_3	1.16 (3H, t, $J = 7.0$ Hz)

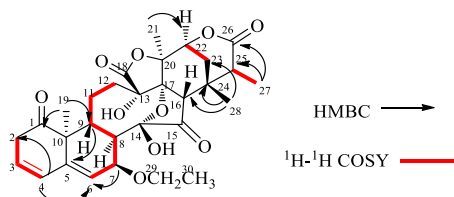


图 1 化合物 1 的主要的 HMBC 和 ^1H - ^1H COSY 相关信号

Fig. 1 Structure and key HMBC and ^1H - ^1H COSY correlations of compound 1

性表明 H-9, H-16 和 H-28, 14-OH 为 β 构型, 而 H-25/14-OH 在 NOESY 谱中相关性表明 H-25 也为 β 构型, 由此确定化合物 1 的相对构型为 7 β -ethoxy-25,27-dihydro-3,6-didehydroisophysalin M。该化合物命名为酸浆苦素 M1 (physalin M1)。

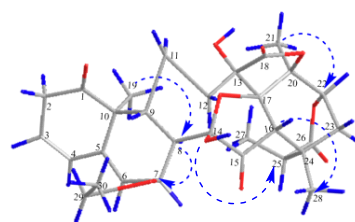


图 2 化合物 1 的主要 NOESY 相关信号

Fig. 2 Key NOESY correlations of compound 1

化合物 2: 白色粉末, 分子式为 $\text{C}_{28}\text{H}_{30}\text{O}_9$, HR-ESI-MS m/z : 509.181 5 $[\text{M}-\text{H}]^-$. ^1H -NMR (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.07 (1H, d, $J = 9.6$ Hz, H-4), 5.69 (1H, dd, $J = 5.6, 2.3$ Hz, H-6), 5.61 (1H, m, H-3), 4.57 (1H, d,

$J = 2.4$ Hz, H-22), 4.53 (1H, m, H-27a), 3.80 (1H, d, $J = 13.4$ Hz, H-27b), 3.32 (1H, d, $J = 19.8$ Hz, H-2a), 3.03 (1H, dd, $J = 10.8, 8.6$ Hz, H-9), 2.81 (1H, dd, $J = 19.8, 4.8$ Hz, H-2b), 2.48 (1H, m, H-25), 2.48 (1H, m, H-7a), 2.34 (1H, m, H-7b), 2.00 (3H, s, H-21), 1.35 (3H, s, H-28), 1.29 (3H, s, H-19); ^{13}C -NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 208.2 (C-1), 39.6 (C-2), 121.3 (C-3), 126.6 (C-4), 139.7 (C-5), 128.9 (C-6), 25.4 (C-7), 39.3 (C-8), 32.1 (C-9), 55.2 (C-10), 24.7 (C-11), 26.0 (C-12), 79.8 (C-13), 107.7 (C-14), 214.1 (C-15), 56.4 (C-16), 80.4 (C-17), 172.3 (C-18), 19.4 (C-19), 81.2 (C-20), 21.6 (C-21), 77.0 (C-22), 33.1 (C-23), 31.2 (C-24), 51.0 (C-25), 166.7 (C-26), 60.8 (C-27), 26.6 (C-28)。以上数据与文献基本一致^[10], 故鉴定化合物 **2** 为异酸浆苦素 B。

化合物 **3**: 黄色晶体 (甲醇), 分子式为 $\text{C}_{28}\text{H}_{28}\text{O}_9$, HR-ESI-MS m/z : 507.166 4 $[\text{M}-\text{H}]^-$ 。 ^1H -NMR (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.98 (1H, dd, $J = 9.7, 6.1$ Hz, H-3), 6.48 (1H, dd, $J = 10.2, 1.8$ Hz, H-6), 6.31 (1H, dd, $J = 10.2, 4.2$ Hz, H-7), 6.02 (1H, d, $J = 6.1$ Hz, H-4), 5.98 (1H, d, $J = 9.7$ Hz, H-2), 4.68 (1H, s, 13-OH), 4.59 (1H, dd, $J = 4.4, 1.7$ Hz, H-22), 4.52 (1H, dd, $J = 12.7, 3.1$ Hz, H-27b), 4.33 (1H, dd, $J = 12.7, 11.2$ Hz, H-27a), 2.87 (1H, dd, $J = 9.8, 2.7$ Hz, H-8), 2.83 (1H, s, H-16), 2.72 (1H, m, H-25), 2.56 (1H, m, H-11), 2.49 (1H, m, H-12), 2.16 (1H, m, H-12), 2.05 (1H, dd, $J = 15.0, 4.4$ Hz, H-23), 1.96 (1H, dd, $J = 14.9, 1.7$ Hz, H-9), 1.87 (1H, m, H-23), 1.80 (3H, s, H-21), 1.70 (1H, m, H-11), 1.48 (3H, s, H-28), 1.36 (3H, s, H-19); ^{13}C -NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 209.3 (C-1), 123.8 (C-2), 141.2 (C-3), 118.2 (C-4), 151.7 (C-5), 127.4 (C-6), 130.0 (C-7), 50.8 (C-8), 32.4 (C-9), 51.9 (C-10), 29.1 (C-11), 31.5 (C-12), 81.0 (C-13), 82.8 (C-14), 169.8 (C-15), 48.3 (C-16), 83.2 (C-17), 172.8 (C-18), 23.3 (C-19), 82.5 (C-20), 21.9 (C-21), 76.2 (C-22), 32.1 (C-23), 29.5 (C-24), 42.0 (C-25), 169.2 (C-26), 61.4 (C-27), 31.5 (C-28)。以上数据与文献报道基本一致^[11], 故鉴定化合物 **3** 为 4,7-didehydroneophysalin B。

化合物 **4**: 淡黄色针状结晶 (甲醇), 分子式为 $\text{C}_{28}\text{H}_{30}\text{O}_9$, HR-ESI-MS m/z : 533.177 9 $[\text{M}+\text{Na}]^+$ 。 ^1H -NMR (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.78 (1H, ddd, $J = 10.1, 4.6, 2.7$ Hz, H-3), 5.90 (1H, ddd, $J = 10.1, 3.2, 1.3$ Hz, H-2), 5.57 (1H, d, $J = 6.1$ Hz, H-6), 4.55 (1H, m, H-22), 4.52 (1H, dd, $J = 12.1, 3.3$ Hz, H-27), 3.77 (1H, dd, $J =$

13.4, 1.4 Hz, H-27), 3.30 (1H, dd, $J = 22.0, 2.9$ Hz, H-4), 2.96 (1H, m, H-9), 2.89 (1H, m, H-4), 2.44 (1H, d, $J = 3.4$ Hz, H-16), 2.39 (1H, dd, $J = 10.4, 6.4$ Hz, H-7), 2.34 (1H, d, $J = 5.9$ Hz, H-12), 2.24 (1H, s, H-11), 2.19 (1H, m, H-23), 2.14 (1H, dd, $J = 10.7, 3.4$ Hz, H-25), 2.09 (1H, m, H-7), 2.05 (1H, d, $J = 3.7$ Hz, H-8), 2.02 (1H, d, $J = 2.5$ Hz, H-23), 1.72 (3H, s, H-21), 1.55 (1H, d, $J = 11.3$ Hz, H-12), 1.26 (3H, s, H-28), 1.22 (3H, s, H-19), 1.19 (1H, s, H-11); ^{13}C -NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 205.8 (C-1), 127.4 (C-2), 146.3 (C-3), 33.1 (C-4), 134.1 (C-5), 124.6 (C-6), 24.9 (C-7), 40.1 (C-8), 33.3 (C-9), 52.8 (C-10), 24.3 (C-11), 25.9 (C-12), 79.7 (C-13), 107.6 (C-14), 208.2 (C-15), 56.4 (C-16), 81.1 (C-17), 172.4 (C-18), 17.9 (C-19), 80.4 (C-20), 21.6 (C-21), 77.0 (C-22), 32.8 (C-23), 31.2 (C-24), 51.0 (C-25), 166.8 (C-26), 60.8 (C-27), 26.6 (C-28)。以上数据与文献基本一致^[12], 故鉴定化合物 **4** 为酸浆苦素 B。

化合物 **5**: 黄色晶体 (甲醇), 分子式为 $\text{C}_{28}\text{H}_{30}\text{O}_9$, HR-ESI-MS m/z : 511.192 2 $[\text{M}+\text{H}]^+$ 。 ^1H -NMR (400 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 7.12 (1H, dd, $J = 9.6, 6.2$ Hz, H-3), 6.52 (1H, s, 13-OH), 6.48 (1H, d, $J = 9.7$ Hz, H-6), 6.17 (1H, s, 14-OH), 6.11 (1H, d, $J = 5.4$ Hz, H-7), 6.08 (1H, d, $J = 6.2$ Hz, H-4), 5.86 (1H, d, $J = 9.6$ Hz, H-2), 4.43 (1H, d, $J = 2.6$ Hz, H-22), 3.38 (1H, m, H-25), 2.99 (1H, s, H-16), 2.93 (1H, t, $J = 5.4$ Hz, H-8), 2.58 (1H, m, H-11a), 2.32 (1H, m, H-12), 2.23 (1H, m, H-12), 2.01 (1H, dd, $J = 15.1, 2.6$ Hz, H-23), 1.74 (1H, m, H-9), 1.65 (3H, s, H-21), 1.60 (1H, d, $J = 15.1$ Hz, H-23), 1.52 (1H, m, H-11b), 1.25 (3H, s, H-28), 1.16 (3H, d, $J = 7.4$ Hz, H-27), 1.13 (3H, s, H-19); ^{13}C -NMR (100 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 204.7 (C-1), 123.5 (C-2), 140.9 (C-3), 116.6 (C-4), 152.8 (C-5), 128.2 (C-6), 131.3 (C-7), 46.7 (C-8), 34.2 (C-9), 51.0 (C-10), 24.6 (C-11), 27.6 (C-12), 78.8 (C-13), 82.7 (C-14), 173.3 (C-15), 55.7 (C-16), 84.0 (C-17), 175.5 (C-18), 24.6 (C-19), 80.8 (C-20), 21.7 (C-21), 75.4 (C-22), 27.6 (C-23), 34.6 (C-24), 38.8 (C-25), 172.7 (C-26), 16.7 (C-27), 27.4 (C-28)。以上数据与文献报道基本一致^[13], 故鉴定化合物 **5** 为 25,27-dihydro-4,7-didehydro-7-deoxyneophysalin A。

化合物 **6**: 白色晶体 (甲醇), 分子式为 $\text{C}_{28}\text{H}_{32}\text{O}_{11}$, HR-ESI-MS m/z : 562.228 9 $[\text{M}+\text{NH}_4]^+$ 。 ^1H -NMR (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.72 (1H, ddd, $J = 10.2,$

5.0, 2.2 Hz, H-3), 5.94 (1H, dd, $J = 10.2, 2.8$ Hz, H-2), 4.56 (1H, t, $J = 2.9$ Hz, H-22), 4.51 (1H, dd, $J = 13.4, 4.6$ Hz, H-27a), 4.19 (1H, s, H-7), 4.11 (1H, d, $J = 3.0$ Hz, H-9), 3.75 (1H, dd, $J = 13.4, 1.3$ Hz, H-27b), 3.58 (1H, d, $J = 20.3$ Hz, H-4a), 3.29 (1H, d, $J = 2.7$ Hz, H-8), 2.66 (1H, d, $J = 3.8$ Hz, H-16), 2.55 (1H, dd, $J = 20.3, 5.0$ Hz, H-4a), 2.45 (1H, m, H-6a), 2.41 (1H, dd, $J = 10.3, 2.7$ Hz, H-6b), 2.34 (1H, dd, $J = 12.6, 2.5$ Hz, H-25), 2.20 (1H, s, H-11a), 2.10 (1H, m, H-12a), 2.05 (2H, dd, $J = 4.5, 3.0$ Hz, H-23), 2.00 (3H, s, H-21), 1.83 (1H, m, H-12b), 1.56 (1H, dd, $J = 17.0, 10.5$ Hz, H-11b), 1.36 (3H, s, H-28), 1.26 (3H, s, H-19); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 203.7 (C-1), 127.9 (C-2), 143.5 (C-3), 37.3 (C-4), 77.2 (C-5), 27.4 (C-6), 73.9 (C-7), 38.8 (C-8), 31.0 (C-9), 54.8 (C-10), 25.1 (C-11), 26.0 (C-12), 79.9 (C-13), 107.4 (C-14), 208.4 (C-15), 56.1 (C-16), 80.6 (C-17), 172.3 (C-18), 14.8 (C-19), 81.1 (C-20), 21.4 (C-21), 79.1 (C-22), 33.0 (C-23), 31.1 (C-24), 51.0 (C-25), 167.3 (C-26), 60.8 (C-27), 26.6 (C-28)。

以上数据与文献基本一致^[14], 故鉴定化合物 6 为酸浆苦素 E。

化合物 7: 白色粉末, 分子式为 $\text{C}_{28}\text{H}_{32}\text{O}_{10}$, HR-ESI-MS m/z : 527.191 9 $[\text{M}-\text{H}]^-$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.14 (1H, dd, $J = 9.9, 2.6$ Hz, H-4), 5.84 (1H, dd, $J = 9.9, 3.3$ Hz, H-3), 5.78 (1H, d, $J = 5.5$ Hz, H-6), 4.65 (1H, dd, $J = 5.5, 3.7$ Hz, H-7), 4.57 (1H, dd, $J = 4.6, 1.5$ Hz, H-22), 4.14 (1H, s, 13-OH), 3.35 (1H, d, $J = 9.5$ Hz, H-2), 3.14 (1H, dd, $J = 12.6, 7.6$ Hz, H-9), 2.81 (1H, m, H-2), 2.52 (1H, m, H-25), 2.52 (1H, m, H-16), 2.31 (1H, dd, $J = 12.6, 3.6$ Hz, H-8), 2.18 (1H, dd, $J = 15.1, 4.6$ Hz, H-23a), 1.91 (3H, s, H-21), 1.78 (1H, d, $J = 15.1$ Hz, H-23b), 1.70 (1H, dd, $J = 16.8, 7.7$ Hz, H-12a), 1.63 (1H, m, H-12b), 1.38 (3H, s, H-19), 1.31 (3H, d, $J = 7.5$ Hz, H-27), 1.27 (3H, s, H-28); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 210.5 (C-1), 41.7 (C-2), 125.5 (C-3), 128.4 (C-4), 143.4 (C-5), 126.7 (C-6), 63.1 (C-7), 46.0 (C-8), 28.2 (C-9), 56.4 (C-10), 24.7 (C-11), 29.4 (C-12), 83.0 (C-13), 102.0 (C-14), 212.9 (C-15), 54.5 (C-16), 82.8 (C-17), 174.6 (C-18), 21.2 (C-19), 79.9 (C-20), 26.3 (C-21), 77.9 (C-22), 26.8 (C-23), 35.3 (C-24), 39.7 (C-25), 172.6 (C-26), 16.9 (C-27), 16.9 (C-28)。

以上数据与文献基本一致^[15], 故鉴定化合物 7 为酸浆苦素 L。

化合物 8: 白色粉末, 分子式为 $\text{C}_{28}\text{H}_{32}\text{O}_{10}$, HR-ESI-MS m/z : 527.191 9 $[\text{M}-\text{H}]^-$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.81 (1H, ddd, $J = 10.0, 4.8, 2.6$ Hz, H-3), 5.93 (1H, ddd, $J = 10.0, 3.2, 1.2$ Hz, H-2), 5.80 (1H, dd, $J = 6.3, 2.2$ Hz, H-6), 4.81 (1H, s, H-7), 4.62 (1H, dd, $J = 4.8, 1.3$ Hz, H-22), 3.28 (1H, d, $J = 21.3$ Hz, H-4), 3.15 (1H, dd, $J = 12.4, 8.0$ Hz, H-9), 2.96 (1H, dd, $J = 21.4, 4.8$ Hz, H-4), 2.71 (1H, d, $J = 3.8$ Hz, H-12), 2.60 (1H, s, H-16), 2.26 (1H, m, H-25), 2.18 (1H, dd, $J = 12.4, 2.3$ Hz, H-8), 1.91 (3H, s, H-21), 1.81 (1H, d, $J = 15.2$ Hz, H-23), 1.38 (3H, s, H-28), 1.33 (3H, d, $J = 7.3$ Hz, H-27), 1.27 (1H, m, H-20), 1.18 (3H, s, H-19); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 202.4 (C-1), 127.8 (C-2), 145.1 (C-3), 32.7 (C-4), 140.9 (C-5), 125.7 (C-6), 63.3 (C-7), 46.0 (C-8), 29.1 (C-9), 54.2 (C-10), 24.0 (C-11), 30.5 (C-12), 80.0 (C-13), 101.9 (C-14), 213.0 (C-15), 54.2 (C-16), 82.7 (C-17), 171.7 (C-18), 15.2 (C-19), 82.7 (C-20), 21.5 (C-21), 78.7 (C-22), 25.7 (C-23), 35.6 (C-24), 42.8 (C-25), 176.5 (C-26), 16.3 (C-27), 26.3 (C-28)。以上数据与文献基本一致^[15], 故鉴定化合物 8 为酸浆苦素 O。

化合物 9: 白色晶体 (甲醇), 分子式为 $\text{C}_{28}\text{H}_{32}\text{O}_{11}$, HR-ESI-MS, m/z : 543.187 5 $[\text{M}-\text{H}]^-$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 6.63 (1H, ddd, $J = 10.1, 5.0, 2.2$ Hz, H-3), 5.81 (1H, s, 13-OH), 5.70 (1H, dd, $J = 10.1, 2.2$ Hz, H-2), 4.92 (1H, d, $J = 4.0$ Hz, 6-OH), 4.57 (1H, dd, $J = 3.5, 2.2$ Hz, H-22), 4.24 (1H, s, 5-OH), 4.23 (1H, d, $J = 7.7$ Hz, H-27a), 3.58 (1H, d, $J = 12.0$ Hz, H-27b), 3.49 (1H, d, $J = 3.5$ Hz, H-6), 3.13 (1H, m, H-4b), 3.10 (1H, m, H-9), 2.89 (1H, d, $J = 4.1$ Hz, H-25), 2.80 (1H, s, H-16), 2.20 (1H, td, $J = 10.9, 5.2$ Hz, H-8), 2.10 (1H, m, H-12a), 2.10 (1H, m, H-23), 1.99 (1H, m, H-4a), 1.91 (1H, m, H-23), 1.81 (3H, s, H-21), 1.45 (1H, dd, $J = 16.2, 9.8$ Hz, H-12b), 1.16 (3H, s, H-28), 1.11 (3H, s, H-19), 0.94 (1H, m, H-11b); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 204.3 (C-1), 127.2 (C-2), 142.9 (C-3), 35.2 (C-4), 76.4 (C-5), 72.6 (C-6), 26.7 (C-7), 38.3 (C-8), 29.9 (C-9), 53.4 (C-10), 24.5 (C-11), 25.8 (C-12), 78.6 (C-13), 106.9 (C-14), 209.9 (C-15), 53.9 (C-16), 80.5 (C-17), 171.8 (C-18), 13.3 (C-19), 80.7 (C-20), 21.7 (C-21), 76.4 (C-22), 31.3 (C-23), 30.5 (C-24), 49.4 (C-25), 167.3 (C-26), 60.5 (C-27), 24.7 (C-28)。以上数据与文献基本一致^[16-17], 故鉴定化合物

9 为酸浆苦素 D。

化合物 10: 白色粉末, 分子式为 $C_{28}H_{44}O$, HR-ESI-MS m/z : 397.346 0 $[M+H]^+$ 。 1H -NMR (400 MHz, $CDCl_3$) δ : 5.75 (1H, s, H-4), 4.74 (1H, s, H-28b), 4.68 (1H, s, H-28a), 1.20 (3H, s, H-19), 1.06 (3H, d, $J=2.4$ Hz, H-27), 1.04 (3H, d, $J=2.4$ Hz, H-26), 0.97 (3H, d, $J=6.5$ Hz, H-21), 0.74 (3H, s, H-18); ^{13}C -NMR (100 MHz, $CDCl_3$) δ : 35.8 (C-1), 34.1 (C-2), 199.8 (C-3), 123.8 (C-4), 171.8 (C-5), 33.1 (C-6), 32.1 (C-7), 35.7 (C-8), 53.9 (C-9), 38.7 (C-10), 21.1 (C-11), 39.7 (C-12), 42.5 (C-13), 56.0 (C-14), 24.3 (C-15), 28.3 (C-16), 56.1 (C-17), 12.1 (C-18), 17.5 (C-19), 35.8 (C-20), 18.7 (C-21), 34.7 (C-22), 31.1 (C-23), 156.9 (C-24), 33.9 (C-25), 22.0 (C-26), 22.1 (C-27), 106.1 (C-28)。以上数据与文献基本一致^[18], 故鉴定化合物 10 为 ergosta-4,24(28)-diene-3-one。

化合物 11: 白色粉末, 分子式为 $C_{29}H_{46}O$, HR-ESI-MS, m/z : 411.361 9 $[M+H]^+$ 。 1H -NMR (400 MHz, $CDCl_3$) δ : 5.74 (1H, s, H-4), 5.12 (1H, q, $J=6.8$ Hz, H-28), 2.28 (1H, m, H-25), 1.61 (3H, d, $J=6.8$ Hz, H-29), 1.20 (3H, s, H-19), 1.00 (3H, s, H-21), 0.98 (3H, d, $J=6.3$ Hz, H-26), 0.94 (3H, m, H-27), 0.73 (3H, s, H-18); ^{13}C -NMR (100 MHz, $CDCl_3$) δ : 35.8 (C-1), 34.1 (C-2), 199.8 (C-3), 123.8 (C-4), 171.8 (C-5), 33.1 (C-6), 32.1 (C-7), 35.7 (C-8), 53.9 (C-9), 38.7 (C-10), 21.1 (C-11), 39.7 (C-12), 42.5 (C-13), 56.1 (C-14), 24.3 (C-15), 28.3 (C-16), 56.0 (C-17), 12.1 (C-18), 17.5 (C-19), 36.2 (C-20), 18.8 (C-21), 36.0 (C-22), 28.0 (C-23), 145.9 (C-24), 28.7 (C-25), 21.1 (C-26), 21.2 (C-27), 116.6 (C-28), 12.9 (C-29)。以上数据与文献基本一致^[19-20], 故鉴定化合物 11 为 24-ethylcholesta-4,24(28)-dien-3-one。

化合物 12: 白色粉末, 分子式为: $C_{29}H_{48}O$, HR-ESI-MS, m/z : 413.378 1 $[M+H]^+$ 。 1H -NMR (400 MHz, $CDCl_3$) δ : 5.74 (1H, s, H-4), 1.20 (3H, s, H-19), 0.94 (3H, d, $J=6.5$ Hz, H-21), 0.87 (3H, d, $J=7.7$ Hz, H-29), 0.85 (3H, s, H-26), 0.83 (3H, d, $J=7.2$ Hz, H-27), 0.73 (3H, s, H-18); ^{13}C -NMR (100 MHz, $CDCl_3$) δ : 35.8 (C-1), 34.0 (C-2), 199.8 (C-3), 123.8 (C-4), 171.8 (C-5), 33.1 (C-6), 32.2 (C-7), 35.7 (C-8), 53.9 (C-9), 38.7 (C-10), 21.1 (C-11), 39.7 (C-12), 42.5 (C-13), 56.0 (C-14), 24.3 (C-15), 28.3 (C-16), 56.1 (C-17), 12.1 (C-18), 17.5 (C-19), 36.2 (C-20), 18.8 (C-21), 34.1 (C-22), 26.2 (C-23), 45.9 (C-24), 29.3 (C-25), 19.9 (C-26),

19.1 (C-27), 23.2 (C-28), 12.1 (C-29)。以上数据与文献基本一致^[21], 故鉴定化合物 12 为 sitosterone。

化合物 13: 白色粉末, 分子式为 $C_{29}H_{48}O$, HR-ESI-MS m/z : 413.377 9 $[M+H]^+$ 。 1H -NMR (400 MHz, $CDCl_3$) δ : 5.21 (1H, dd, $J=6.0, 2.2$ Hz, H-7), 4.74 (1H, s, H-28), 4.68 (1H, q, $J=1.5$ Hz, H-28), 3.15 (1H, td, $J=10.5, 4.4$ Hz, H-3), 2.25 (1H, m, H-25), 1.06 (3H, d, $J=2.1$ Hz, H-27), 1.04 (3H, d, $J=2.1$ Hz, H-26), 1.01 (3H, d, $J=6.3$ Hz, H-29), 0.98 (3H, d, $J=6.5$ Hz, H-21), 0.85 (3H, s, H-19), 0.56 (3H, s, H-18); ^{13}C -NMR (100 MHz, $CDCl_3$) δ : 37.1 (C-1), 31.2 (C-2), 76.4 (C-3), 40.4 (C-4), 46.8 (C-5), 26.8 (C-6), 117.6 (C-7), 139.2 (C-8), 49.8 (C-9), 35.0 (C-10), 21.5 (C-11), 39.7 (C-12), 43.5 (C-13), 55.1 (C-14), 23.0 (C-15), 28.1 (C-16), 56.1 (C-17), 12.0 (C-18), 14.3 (C-19), 36.3 (C-20), 18.9 (C-21), 34.8 (C-22), 31.1 (C-23), 157.0 (C-24), 33.9 (C-25), 22.0 (C-26), 22.1 (C-27), 106.1 (C-28), 15.3 (C-29)。以上数据与文献基本一致^[22-23], 故鉴定化合物 13 为 gramisterol。

化合物 14: 白色粉末, 分子式为 $C_{30}H_{50}O$, HR-ESI-MS, m/z : 427.392 7 $[M+H]^+$ 。 1H -NMR (400 MHz, $CDCl_3$) δ : 5.18 (1H, m, H-7), 5.12 (1H, m, H-28), 3.12 (1H, td, $J=10.5, 4.4$ Hz, H-3), 2.83 (1H, m, H-25), 1.59 (3H, d, $J=6.8$ Hz, H-29), 0.99 (6H, m, H-30, H-27), 0.97 (3H, s, H-26), 0.95 (3H, d, $J=6.4$ Hz, H-21), 0.83 (3H, s, H-19), 0.54 (3H, s, H-18); ^{13}C -NMR (100 MHz, $CDCl_3$) δ : 37.1 (C-1), 31.1 (C-2), 76.4 (C-3), 40.4 (C-4), 46.8 (C-5), 26.8 (C-6), 117.6 (C-7), 139.2 (C-8), 49.8 (C-9), 35.0 (C-10), 21.5 (C-11), 39.7 (C-12), 43.5 (C-13), 55.1 (C-14), 23.0 (C-15), 28.2 (C-16), 56.1 (C-17), 12.0 (C-18), 14.3 (C-19), 36.7 (C-20), 19.0 (C-21), 36.0 (C-22), 28.1 (C-23), 146.0 (C-24), 28.7 (C-25), 21.2 (C-26), 21.1 (C-27), 116.6 (C-28), 12.9 (C-29), 15.3 (C-30)。以上数据与文献基本一致^[24], 故鉴定化合物 14 为 柠檬醇。

3.2 抗炎活性评价

采用 LPS 诱导的 RAW264.7 小鼠单核巨噬细胞体外炎症模型。以 L-NMMA (总 NOS 抑制剂) 为阳性对照, 体外抗炎活性评价结果显示, 化合物 2~6、8~9 对 NO 生成具有抑制作用, 其中, 化合物 6 对 NO 具有显著抑制作用, IC_{50} 值为 $15.07 \mu\text{mol/L}$; 与阳性药 ($IC_{50}=36.11 \mu\text{mol/L}$) 相比, 具有较好的抗炎活性。

4 讨论

锦灯笼是一种历史悠久的药用植物,常用于呼吸系统疾病的治疗,其中,甾体类是锦灯笼中的主要活性成分,但目前对其的研究还不够完善。本研究通过对锦灯笼宿萼 95%乙醇提取物进行化学成分分离与鉴定,得到 14 个单体化合物,其中化合物 1 为新化合物,命名为酸浆苦素 M1,化合物 10~12、14 均为首次从该属植物中分离得到。另外,对分离得到化合物进行了简单的抗炎活性评价,其中,化合物 6 对 LPS 诱导的 NO 生成具有显著抑制作用,表明化合物 6 具有较好的抗炎活性,建议进一步研究抗支原体^[6]、抗菌^[25]及抗肿瘤^[26]等活性,可为探索 and 开发该中药材提供参考价值。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2020: 376.
- [2] 黄豪, 邵青森, 朱泽林, 等. 锦灯笼化学成分及生物活性研究进展 [J]. 宜春学院学报, 2023, 45(6): 22-35.
- [3] Liu Y R, Wang X, Li C X, *et al.* Research progress on the chemical components and pharmacological effects of *Physalis alkekengi* L. var. *franchetii* (Mast.) Makino [J]. *Heliyon*, 2023, 9(12): e20030.
- [4] Pinto N B, Morais T C, Carvalho K M B, *et al.* Topical anti-inflammatory potential of physalin E from *Physalis angulata* on experimental dermatitis in mice [J]. *Phytomedicine*, 2010, 17(10): 740-743.
- [5] 王旭, 刘意如, 张文君, 等. 锦灯笼活性成分的现代药理学研究进展 [J]. 中医药学报, 2023, 51(8): 110-115.
- [6] 钟秋. 酸浆苦素提取物抗支原体肺炎的作用及机制研究 [D]. 太谷: 山西农业大学, 2021.
- [7] 姚苗苗. 锦灯笼醇提物的生物活性研究 [D]. 太谷: 山西农业大学, 2017.
- [8] 孙佳旻. 锦灯笼化学成分及抗炎、抗氧化活性研究 [D]. 济南: 山东中医药大学, 2021.
- [9] Sun J L, Jiang Y J, Cheng L. Two new physalin derivatives from *Physalis alkekengi* L. var. *franchetii* (Mast.) Makino [J]. *Nat Prod Res*, 2021, 35(2): 203-206.
- [10] 黄豪. 锦灯笼化学成分及生物活性研究 [D]. 宜春: 宜春学院, 2023.
- [11] 胡慧心. 锦灯笼化学成分及生物活性研究 [D]. 济南: 山东大学, 2020.
- [12] 杨丽婷, 李博术, 张寒翠, 等. 苦蕒化学成分及抗炎活性研究 [J]. 化学试剂, 2023, 45(7): 94-99.
- [13] 张楠, 储小琴, 蒋建勤. 锦灯笼醋酸乙酯部位化学成分的研究 [J]. 中草药, 2015, 46(8): 1120-1124.
- [14] 夏天乙, 钟仁兴, 丁子禾, 等. 锦灯笼中酸浆苦素类成分的分离与鉴定 [J]. 广东药科大学学报, 2020, 36(6): 761-764.
- [15] 吕慧. 锦灯笼化学成分与生物活性研究 [D]. 济南: 山东中医药大学, 2019.
- [16] 林峰, 王金辉. 锦灯笼中酸浆苦素类化学成分的研究 [J]. 现代药物与临床, 2011, 26(6): 469-472.
- [17] Kawai M S, Yamamoto T, Makino B, *et al.* The structure of physalin T from *Physalis alkekengi* var. *franchetii* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2001, 3(3): 199-205.
- [18] 孙珍, 李泠鸽, 阮珍珍, 等. 小薊中甾体类化合物的分离及结构鉴定 [J]. 食品科学, 2012, 33(19): 124-127.
- [19] 王思玉, 向俊, 汪玉梅, 等. 海藻羊栖菜全草化学成分研究 [J]. 中草药, 2019, 50(23): 5670-5676.
- [20] Sheu J H, Wang G H, Sung P J, *et al.* New cytotoxic oxygenated fucosterols from the brown alga *Turbinaria conoides* [J]. *J Nat Prod*, 1999, 62(2): 224-227.
- [21] 甘秀海, 梁志远, 姜金仲. 冷水花抗菌活性成分研究 [J]. 中国药学杂志, 2014, 49(23): 2069-2072.
- [22] Suttarporn P, Chumpolsri W, Mahatheeranont S, *et al.* Structures of phytosterols and triterpenoids with potential anti-cancer activity in bran of black non-glutinous rice [J]. *Nutrients*, 2015, 7(3): 1672-1687.
- [23] 李兵, 李俊, 廖广凤, 等. 壮药盒果藤化学成分的研究 [J]. 中药材, 2022, 45(3): 594-600.
- [24] Wu Z B, Zheng M M, Qin S R, *et al.* Chemical constituents from the aerial parts of *Sambucus adnata* Wall. and their chemotaxonomic significance [J]. *Biochem Syst Ecol*, 2023, 107: 104616.
- [25] 杨燕军, 沙聪威, 聂阳, 等. 酸浆苦素 B、E 抗炎、抗菌作用实验研究 [J]. 今日药学, 2015, 25(3): 167-168.
- [26] Wang A Q, Wang S P, Zhou F Y, *et al.* Physalin B induces cell cycle arrest and triggers apoptosis in breast cancer cells through modulating p53-dependent apoptotic pathway [J]. *Biomed Pharmacother*, 2018, 101: 334-341.

[责任编辑 王文倩]