

• 化学成分 •

苦蕒中 1 个新的甾体类化合物及其抗炎活性

何 月, 黄杰林, 沈惠玲, 徐丽丽*, 尹俊林*

云南民族大学 化学与环境学院/民族医药学院 民族药资源化学国家民委-教育部重点实验室 云南省手性功能物质研究与应用重点实验室, 云南 昆明 650500

摘要: 目的 研究苦蕒 *Physalis angulata* 全株的化学成分及其抗炎活性。方法 综合运用多种色谱技术进行化合物的分离纯化, 结合核磁共振、质谱及紫外光谱等波谱学方法鉴定其结构; 采用 SRB 法评价化合物对小鼠巨噬细胞 RAW264.7 的细胞毒性, 同时通过 Griess 法测定其体外抗炎活性。结果 从苦蕒全株的甲醇提取物中分离得到 5 个化合物, 分别鉴定为 6-5 β ,6 β :14 α ,17:14 β ,26-三环氧-13 α ,15 β -二羟基-1-酮-11,15-环-13,14-开环麦角甾烷-2-烯-18,26-内酯 (1)、酸浆苦素 B (2)、酸浆苦素 F (3)、酸浆苦素 XI (4)、烟曲霉三唑酯 A (5)。化合物 2~5 具有抑制 RAW264.7 细胞 NO 生成的活性, 半数抑制浓度 (median inhibition concentration, IC₅₀) 值为 (1.97 $\pm$ 0.12) ~ (6.73 $\pm$ 0.71) μ mol/L。结论 化合物 1 为新化合物, 命名为 5,6-环氧酸浆苦素 IX; 化合物 4、5 具有显著的抗炎活性。

关键词: 酸浆属; 苦蕒; 甾体; 5,6-环氧酸浆苦素 IX; 酸浆苦素 B; 酸浆苦素 XI; 烟曲霉三唑酯 A; 抗炎活性

中图分类号: R284.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2026)18-7226-07

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.18.012

A new steroid from *Physalis angulata* and its anti-inflammatory activity

HE Yue, HUANG Jieli, SHEN Huiling, XU Lili, YIN Junlin

Yunnan Key Laboratory of Chiral Functional Substance Research and Application, Key Laboratory of Chemistry in Ethnic Medicinal Resources, State Ethnic Affairs Commission & Ministry of Education, School of Chemistry and Environment/
School of Ethnic Medicine, Yunnan Minzu University, Kunming 650500, China

Abstract: Objective To investigate the chemical constituents from the whole plant of *Physalis angulata* and their anti-inflammatory activities. **Methods** Various chromatographic techniques were employed for the isolation and purification of compounds, and their structures were elucidated by spectroscopic methods including NMR, MS, and UV. The cytotoxicity against mouse macrophage RAW264.7 cells was evaluated using the SRB assay, while the *in vitro* anti-inflammatory activity was determined via the Griess assay. **Results** Five compounds were isolated from the methanol extract of the whole plant of *P. angulata* and identified as 6-5 β ,6 β :14 α ,17:14 β ,26-triepoxy-13 α ,15 β -dihydroxy-1-keto-11,15-cyclo-13,14-secoergostan-2-en-18,26-olide (1), physalin B (2), physalin F (3), physalin XI (4), and aspergillus triazolate A (5). Compounds 2~5 exhibited inhibitory effects on NO production in RAW264.7 cells, with IC₅₀ values ranging from (1.97 $\pm$ 0.12) to (6.73 $\pm$ 0.71) μ mol/L. **Conclusion** Compound 1 is a new compound, named 5,6-epoxyphysalin IX. Compounds 4 and 5 showed significant anti-inflammatory activities.

Key words: *Physalis* L.; *Physalis angulata* L.; steroids; 5,6-epoxyphysalin IX; physalin B; physalin XI; aspergillus triazolate A; anti-inflammatory activity

茄科 (Solanaceae) 酸浆属 *Physalis* L. 植物资源丰富, 全世界约有 120 种, 均为 1 年生或多年生草本植物^[1-2]。中国有 6 种, 主要分布于华东、华南、西南及华中地区, 其中苦蕒在全国大部分省区均有

分布, 常见于田间、路旁及山坡荒地^[3]。该属植物药用历史悠久, 其全草、根或果实作为传统中药或民族药物被多部古代医籍收载, 如《神农本草经》《本草纲目》《滇南本草》^[4]。目前已从酸浆属中分

收稿日期: 2026-07-08

基金项目: 国家自然科学基金项目 (21768005); 国家自然科学基金项目 (82660967)

作者简介: 何 月, 女, 硕士研究生, 主要从事天然药物化学及其生物活性研究。E-mail: 1679224399@qq.com

*通信作者: 尹俊林, 男, 博士, 副教授, 主要从事天然药物化学及其生物活性研究。Tel: (0871)65946920 E-mail: yinjunlin@mail.kib.ac.cn
徐丽丽, 女, 博士, 讲师, 主要从事天然药物化学及其生物活性研究。Tel: (0871)65946920 E-mail: xulili19900605@sina.com

离鉴定 150 余种化学结构, 其中, 甾体类化合物是从苦蕒中分离得到数量最多且活性最为显著的一类成分, 主要包括酸浆苦素类、新酸浆苦素类及醉茄内酯类。现代药理学研究表明, 酸浆苦素类、醉茄内酯类、黄酮类及苯丙素类化合物是苦蕒中重要的活性成分, 具有抗炎、抗肿瘤、免疫调节、抗菌、抗氧化、抗疟及神经保护等多种生物活性^[5-14]。

苦蕒 *Physalis angulata* L. 作为民间常用草药, 全草入药, 具有清热解毒、利尿消肿、化痰止咳之功效, 常用于治疗感冒发热、咽喉肿痛、咳嗽痰多、湿热黄疸、小便不利及疮痈肿毒等症^[15]。然而, 目前关于苦蕒的药效物质基础和药理作用机制的研究仍有待深入。已有研究从苦蕒乙醇提取物中分离得到多种结构类型的次生代谢产物, 其中以醉茄内

酯类化合物最为突出^[16-17]。本研究从苦蕒全草的醋酸乙酯萃取部位中分离得到 5 个化合物, 分别鉴定为 6-5 β ,6 β :14 α ,17:14 β ,26-三环氧-13 α ,15 β -二羟基-1-酮-11,15-环-13,14-开环麦角甾烷-2-烯-18,26-内酯 (6-5 β ,6 β :14 α ,17:14 β ,26-triepoxy-13 α ,15 β -dihydroxy-1-keto-11,15-cyclo-13,14-secoergostan-2-en-18,26-olide, **1**)、酸浆苦素 B (physalin B, **2**)、酸浆苦素 F (physalin F, **3**)、酸浆苦素 XI (physalin XI, **4**)、烟曲霉三唑酯 A (aspergillus triazolate A, **5**), 结构见图 1。化合物 **1** 为新化合物, 命名为 5,6-环氧酸浆苦素 IX, 化合物 **1** 的结构通过单晶 X-射线衍射分析得以确认。对分离得到的化合物进行脂多糖 (lipopolysaccharide, LPS) 诱导的 RAW264.7 细胞 NO 抑制活性的筛选, 结果显示化合物 **4**、**5** 具有显著的抗炎活性。

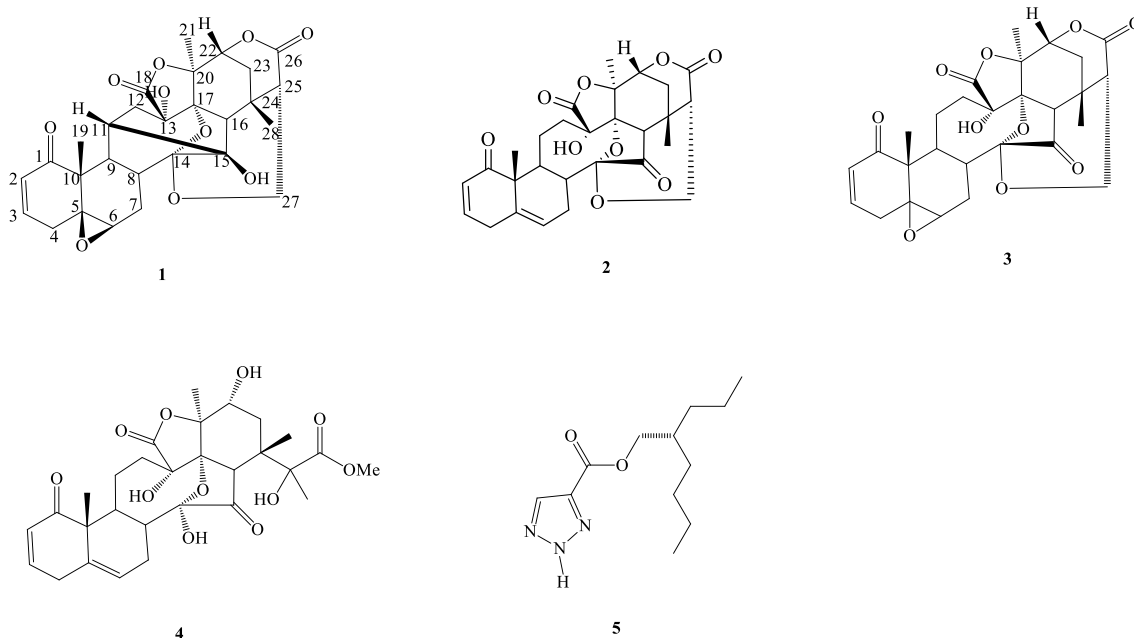


图 1 化合物 1~5 的化学结构

Fig. 1 Chemical structures of compounds 1—5

1 仪器与材料

BS124S 型万分之一电子天平 (德国 Sartorius 公司); EYELAN-1300 型旋转蒸发仪; CA-1111 型低温冷却循环泵 (上海爱朗仪器有限公司); DRX-400 型核磁共振仪 (美国 Agilent 公司); Agilent 1260 Infinity 高效液相色谱仪 (美国 Agilent 公司); Agilent ZORBAX SB-C₁₈ 色谱柱 (250 mm×10.0 mm, 5 μ m, 美国 Agilent 公司); 醋酸乙酯、石油醚、二氯甲烷、甲醇、正丁醇 (分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 色谱级甲醇、乙腈 (色谱纯, 国药集团化学试剂有限公司); MCI-gel 填料 (CHP20P 75~150 μ m,

三菱化学); 葡聚糖凝胶填料 (Sephadex LH-20, GE Healthcare); ODS 反相硅胶 (20~45 μ m, 日本富士硅化学有限公司); 柱色谱硅胶填料 (60~100、100~300、300~400 目, 青岛海洋化工有限公司); 薄层色谱硅胶板 (GF₂₅₄, 青岛海洋化工有限公司); 小鼠巨噬细胞系 RAW264.7 (北纳创联生物技术有限公司); 脂多糖 (lipopolysaccharide, LPS, L2630-10 mg, 德国默克公司); 干扰素 γ (Interferon-gamma, INF- γ , 北京义翘神州科技有限公司); S-甲基异硫脲硫酸盐 (M108041-25 g, 上海阿拉丁生化科技有限公司)。

苦蕒全株于 2021 年 9 月 20 日采集于广东省清远市连州市龙坪镇朝天大东山村,经贵州中医药大学韩春艳研究员鉴定为苦蕒 *P. angulata* L., 样品标本(20210920)保存在云南民族大学民族医药资源化学国家民委-教育部重点实验室。

2 方法

2.1 提取与分离

将 9.8 kg 干燥的苦蕒全株粉碎,80 °C 下用 95% 甲醇浸泡提取 3 次(每次浸提 4 h),每次 100 L。减压浓缩甲醇浸取液得 1.2 kg 浸膏,将浸膏用少量的温水悬浮后,依次用石油醚、醋酸乙酯以及正丁醇先后进行萃取,分别萃取 3 次。将醋酸乙酯浸膏(117 g)经硅胶柱色谱,依次采用石油醚-醋酸乙酯(100:1、50:1、25:1、10:1、5:1、1:1)和二氯甲烷-甲醇(10:1、5:1)进行梯度洗脱,得到 8 个部分 Fr. 1~8。

Fr. 6 部分(70 g)经 MCI 柱分离,甲醇-水(5:5、7:3、9:1)梯度洗脱,得到 5 个组分(Fr. 6A~6E)。组分 Fr. 6B(20 g)经正相硅胶柱梯度洗脱(二氯甲烷-甲醇 50:1→1:1)后得到 5 个组分(Fr. 6B1~6B5)。组分 Fr. 6B1(12 g)经 ODS 硅胶柱梯度洗脱(甲醇-水 1:9→1:0)得到 4 个子组分(Fr. 6B1A~6B1D),其中 Fr. 6B1A(211.7 mg)依次采用 Sephadex LH-20 凝胶柱滤过(二氯甲烷-甲醇 1:1)、高效液相制备色谱(甲醇-水 7:3→8:2,体积流量 1 mL/min)和制备薄层色谱分离(二氯甲烷-甲醇 10:1 或三氯甲烷-丙酮 10:1→2:1)进行纯化,得到化合物 2(30 mg)和 5(8 mg)。

将 Fr. 6C(38 g)经正相硅胶柱梯度洗脱(二氯甲烷-甲醇 50:1→1:1),得到 5 个组分(Fr. 6C1~6C5)。组分 Fr. 6C1(16.7 g)经 ODS 硅胶柱梯度洗脱(甲醇-水 1:9→1:0),得到 8 个子组分(Fr. 6C1A~6C1H),其中 Fr. 6C1A(311 mg)依次经 Sephadex LH-20 凝胶柱滤过(二氯甲烷-甲醇 1:1)、高效液相制备色谱(甲醇-水 7:3→8:2,体积流量 1 mL/min)和制备薄层色谱分离(二氯甲烷-甲醇 10:1)纯化,得到化合物 1(36 mg,合并其他部分共 0.8 g)和 3(12 mg)。Fr. 6C4(2.8 g)经 ODS 硅胶柱,以甲醇-水(1:9→1:0)梯度洗脱,得到 4 个组分(Fr. 6C4A~6C4D),其中 Fr. 6C4B(163.2 mg)经高效液相色谱制备(甲醇-水 7:3→8:2,体积流量 1 mL/min)分离纯化,得到化合物 4(2 mg)。

2.2 细胞毒性

采用磺酰罗丹明 B(sulforhodamine B, SRB)法^[18]检测化合物的细胞毒性。将 RAW264.7 细胞培养于含 10%胎牛血清的 DMEM 中(37 °C、5% CO₂)。取对数生长期细胞接种 96 孔板,设空白组及实验组,培养 24 h 后,空白组加入二甲基亚砜(DMSO),实验组加入梯度浓度(1、10、50、100、200 μmol/L)受试化合物,每组 3 复孔,继续培养 24 h。加入 50% TCA 固定 1 h,弃液,洗板、晾干;加入 0.1% SRB 染色,洗板、晾干;加入 10 mmol/L Tris 溶解,于 515 nm 测定吸光度(*A*)值,计算细胞生长抑制率。

$$\text{细胞生长抑制率} = (A_1 - A_2) / A_1$$

*A*₁ 为空白组 *A* 值; *A*₂ 为实验组 *A* 值

2.3 抗炎实验

将 Raw264.7 细胞接种于 24 孔板,分别设定空白组、模型组和实验组。空白组只加细胞(与模型组对照,检测炎症模型是否成功);模型组只加 1 μg/mL 的 LPS 和 20 ng/mL 的 IFN-γ,不加药;实验组则加入不同浓度(1、10、50、100、200 μmol/L)的样品预处理 2 h,再依次加入 LPS、IFN-γ 继续培养 24 h,每个样品设置 2 个复孔。然后取上清液分别加入 Griess 试剂,在 540 nm 波长下检测其 *A* 值,并计算样品对 NO 产生的抑制作用,*S*-甲基异硫脲硫酸盐作为阳性药^[19]。

$$\text{NO 抑制率} = (A_2 - A_1) / A_2$$

*A*₁ 为实验组 *A* 值; *A*₂ 为模型组 *A* 值

3 结果

3.1 结构鉴定

化合物 1: 无色针状结晶(甲醇)。[α]_D²⁴ -84.24 (*c* 0.165, 二氯甲烷), UV λ_{max}^{MeOH} (nm): 222 (3.55); IR ν_{max}^{KBr} (cm⁻¹): 3 427, 2 946, 1 715, 1 646, 1 383, 1 253, 1 016; HR-ESI-MS *m/z* [*M*+*H*]⁺ 527.191 6(计算值 C₂₈H₃₁O₁₀, *m/z* 527.191 2),结合 ¹H-NMR 和 ¹³C-NMR 数据(表 1),确定其分子式为 C₂₈H₃₀O₁₀,不饱和度为 14。IR 显示特征吸收峰: 3 427 cm⁻¹(羟基)、1 715 cm⁻¹(羰基)和 1 646 cm⁻¹(烯基)。

化合物 1 的 ¹H-NMR (400 MHz, DMSO-*d*₆) 谱显示存在 3 个甲基信号 δ_H 1.57 (3H, s, 21-CH₃), 1.30 (3H, s, 28-CH₃), 1.10 (3H, s, 19-CH₃); 4 个连氧碳上的质子信号 δ_H 4.66 (1H, dd, *J* = 11.9, 1.7 Hz, H-27α), 4.37 (1H, dd, *J* = 3.6, 2.2 Hz, H-22), 4.02 (1H, dd, *J* = 12.0, 4.1 Hz, H-27β), 3.18 (1H, d, *J* = 4.4 Hz, H-6); 2

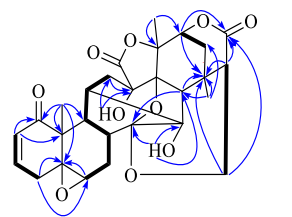
表 1 化合物 1 的 ^1H -NMR (400 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) 与 ^{13}C -NMR (100 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) 数据Table 1 ^1H -NMR (400 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) and ^{13}C -NMR (100 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) data of compound 1

碳位	δ_{H}	δ_{C}
1		201.5
2	6.03 (1H, dd, $J = 10.1, 3.0$ Hz)	129.3
3	6.99 (1H, ddd, $J = 9.7, 6.9, 2.2$ Hz)	145.5
4	2.75 (1H, dt, $J = 17.7, 2.7$ Hz) 1.87 (1H, d, $J = 17.7, 3.3$ Hz)	31.2
5		62.7
6	3.18 (1H, d, $J = 4.4$ Hz)	63.7
7	1.70 (1H, m), 1.94 (1H, m)	25.5
8	1.98 (1H, m)	38.8
9	1.97 (1H, m)	45.4
10		47.9
11	2.32 (1H, m)	45.5
12	1.86 (1H, m), 2.78 (1H, m)	31.2
13		75.4
14		111.9
15		85.7
16	1.81 (1H, s)	49.4
17		82.0
18		173.7
19	1.10 (3H, s)	12.1
20		82.0
21	1.56 (3H, s)	20.3
22	4.37 (1H, dd, $J = 3.6, 2.2$ Hz)	75.5
23	1.85 (1H, m), 1.75 (1H, m)	34.6
24		31.1
25	2.68 (1H, dd, $J = 4.3, 1.6$ Hz)	50.0
26		168.6
27	4.02 (1H, dd, $J = 12.0, 4.1$ Hz) 4.65 (1H, dd, $J = 12.0, 1.7$ Hz)	60.0
28	1.30 (3H, s)	28.2
OH-13	6.24 (1H, s)	
OH-15	5.73 (1H, s)	

个烯氢信号 δ_{H} 6.99 (1H, ddd, $J = 9.7, 6.9, 2.2$ Hz, H-3), 6.03 (1H, dd, $J = 10.1, 3.0$ Hz, H-2); 2 个羟基质子信号 δ_{H} 6.24 (1H, s, 13-OH) 及 5.73 (1H, s, 15-OH)。 ^{13}C -NMR (100 MHz, CD_3OD) 结合 DEPT135 和 HSQC 谱图数据显示化合物 1 有 28 个碳信号, 包括 3 个甲基、4 个亚甲基 [1 个连氧 δ 60.0 (C-27)], 11 个次甲基 [2 个连氧 δ 75.5 (C-22), 63.7 (C-6)], 11 个季碳 [5 个连氧 δ 111.9 (C-14), 82.0 (C-17), 82.0 (C-20), 75.4 (C-13), 62.7 (C-5)] 和 3 个羰基

[δ_{C} 201.5 (C-1), 173.7 (C-18), 168.8 (C-26)]。综合分析表明, 化合物 1 为醉茄内酯衍生物。其 1D NMR 数据与 physalin R 高度相似^[20], 差别在于缺少 2 个烯烃的信号, 并在较高场区出现环氧碳信号。HMBC 相关信号 (Me-19 与 C-1、C-10、C-5、C-6; H-4 与 C-5、C-6; H-6 与 C-5), 结合 ^1H - ^1H COSY 谱中 H-2/H-3、H-6/H₂-7/H-8/H-9/H₂-10/H₂-11 的信号相关, 证实了是 C-5 与 C-6 之间形成了环氧环 (图 2)。

化合物 1 的相对构型通过 ROESY 相关信号确定 (图 3)。Me-19/H-4、Me-19/H-8、Me-19/H-11、H-8/H-25、H-27 β /Me-28 之间的信号表明这些质子具有相同的空间取向, 确定 H-4、H-8、H-25、Me-19 及 Me-28 均为 β 构型。该相对构型经单晶 X 射线衍射分析进一步验证 (CCDC: 2578614)。由于 Flack 参数 [0.25 (7)] 不可靠, 本工作暂未确定化合物 1 的绝对构型。综上, 化合物 1 被鉴定为 6-5 β , 6 β : 14 α , 17: 14 β , 26-三环氧-13 α , 15 β -二羟基-1-酮-11, 15-环-13, 14-开环麦角甾烷-2-烯-18, 26-内酯, 并命名为 5, 6-环氧酸浆苦素 IX。



^1H - ^1H COSY — HMBC

图 2 化合物 1 关键 ^1H - ^1H COSY、HMBC 相关
Fig. 2 Key ^1H - ^1H COSY and HMBC correlations of compound 1

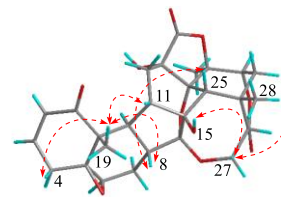


图 3 化合物 1 的 ROESY 关键信号
Fig. 3 ROESY key signals of compound 1

单晶数据如下: $M = 580.57$, $a = 11.547\ 3(9)$ Å ($1\ \text{\AA} = 0.1\ \text{nm}$), $b = 14.2323(12)$ Å, $c = 16.308\ 6(14)$ Å, $\alpha = 90^\circ$, $\beta = 96.742(3)^\circ$, $\gamma = 90^\circ$, $V = 2\ 661.7(4)$ Å³, $T = 150(2)$ K, 空间群 P1211, $Z = 4$, $\mu(\text{Cu K}\alpha) = 0.976\ \text{mm}^{-1}$ 。共收集 31 625 个衍射点, 其中独立衍射点 9 355 个 ($R_{\text{int}} = 0.063\ 9$)。最终 R_1 值为 0.056 8 [$I > 2\sigma(I)$], wR_2 值为 0.151 0 [$I > 2\sigma(I)$]。基于全部

数据的 $R_1 = 0.057\ 4$, $wR_2 = 0.152\ 1$ 。对 F2 的拟合优度为 1.039。Flack 参数=0.25 (7)。化合物 **1** 的 X-射线单晶衍射分析结构见图 4。

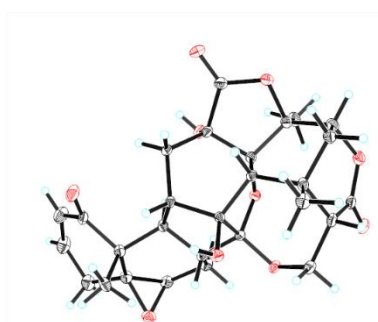


图 4 化合物 **1** 的单晶图

Fig. 4 Single crystal diagram of compound **1**

化合物 **2**: 白色针状晶体 (甲醇), ESI-MS m/z : 533.3 $[M+Na]^+$, 1H -NMR (400 MHz, $CDCl_3$) δ : 6.79 (1H, ddd, $J=10.1, 4.7, 2.7$ Hz, H-3), 6.30 (1H, s, OH-13), 5.85 (1H, dd, $J=10.0, 2.4$ Hz, H-2), 5.62 (1H, d, $J=5.8$ Hz, H-6), 4.57 (1H, m, H-22), 4.25 (1H, dd, $J=13.3, 4.3$ Hz, H-27 α), 3.61 (1H, d, $J=13.2$ Hz, H-27 β), 3.17 (2H, d, $J=6.0$ Hz, H-4), 2.88 (1H, d, $J=4.4$ Hz, H-25), 2.87 (1H, s, H-16), 2.16 (1H, m, H-12 α), 1.79 (3H, s, H-21), 1.16 (3H, s, CH₃-28), 1.09 (3H, s, CH₃-19); ^{13}C -NMR (100 MHz, $CDCl_3$) δ : 208.1 (C-5), 205.7 (C-1), 172.3 (C-18), 166.7 (C-26), 146.1 (C-5), 133.9 (C-3), 127.3 (C-2), 124.5 (C-6), 107.5 (C-14), 81.0 (C-20), 80.2 (C-17), 79.6 (C-13), 76.7 (C-22), 60.6 (C-27), 56.4 (C-16), 52.7 (C-10), 50.9 (C-25), 39.9 (C-8), 33.2 (C-9), 33.0 (C-24), 32.6 (C-23), 31.1 (C-4), 26.5 (C-7), 25.8 (C-12), 24.8 (C-11), 24.2 (C-19), 21.4 (C-28), 17.8 (C-21)。以上波谱数据与文献报道基本一致^[21], 故确定化合物 **2** 为酸浆苦素 B。

化合物 **3**: 白色不定型粉末, ESI-MS m/z 549.2 $[M+Na]^+$ 。 1H -NMR (400 MHz, $CDCl_3$) δ : 6.87 (1H, ddd, $J=10.2, 5.3, 2.8$ Hz, H-3), 6.01 (1H, ddd, $J=10.1, 3.2, 1.2$ Hz, H-2), 5.74 (1H, s, OH-13), 4.55 (1H, m, H-22), 4.51 (1H, dd, $J=13.5, 5.8$ Hz, H-27 α), 3.75 (1H, dd, $J=13.5, 1.4$ Hz, H-27 β), 3.27 (1H, d, $J=3.2$ Hz, H-6), 3.00 (1H, dt, $J=28.8, 3.0$ Hz, H-4 β), 2.91 (1H, s, H-16), 2.64 (1H, d, $J=3.6$ Hz, H-25), 2.59 (1H, m, H-8), 2.44 (1H, d, $J=4.2$ Hz, H-23 β), 2.16 (1H, m, H-23 α), 1.98 (1H, m, H-4 α), 1.96 (3H, s, CH₃-19), 1.82 (1H, dd, $J=14.4, 15.9$ Hz, H-12 β), 1.32 (3H, s, CH₃-28), 1.26 (3H, s, CH₃-21), 1.21 (1H, m, H-11 β); ^{13}C -

NMR (100 MHz, $CDCl_3$) δ : 207.5 (C-15), 205.9 (C-1), 172.1 (C-18), 166.6 (C-26), 146.3 (C-3), 107.0 (C-14), 80.9 (C-20), 80.0 (C-17), 79.4 (C-13), 76.9 (C-5), 64.8 (C-22), 61.7 (C-6), 60.6 (C-27), 56.2 (C-16), 50.8 (C-10), 50.0 (C-25), 37.4 (C-8), 34.2 (C-24), 33.3 (C-3), 32.9 (C-23), 31.0 (C-9), 26.5 (C-12), 25.6 (C-7), 24.8 (C-11), 23.5 (C-28), 21.4 (C-21), 15.5 (C-19)。以上波谱数据与文献报道基本一致^[22], 确定化合物 **3** 为酸浆苦素 F。

化合物 **4**: 白色不定型粉末, ESI-MS m/z 583.3 $[M+Na]^+$, 1H -NMR (400 MHz, MeOD) δ : 6.89 (1H, ddd, $J=10.1, 4.9, 2.6$ Hz, H-3), 5.86 (1H, ddd, $J=10.0, 3.2, 1.3$ Hz, H-7), 5.67 (1H, dt, $J=6.2, 2.2$ Hz, H-2), 4.61 (1H, m, H-22), 4.24 (1H, t, $J=13.4$ Hz, H-6), 4.07 (1H, dd, $J=13.2, 2.7$ Hz, H-27), 3.01 (1H, s, H-16), 2.95~2.92 (1H, m, H-25), 2.48 (1H, m, H-11), 2.14 (1H, m, H-9), 1.72 (3H, s, H-21), 1.34 (1H, s, H-28), 1.01 (3H, s, H-19); ^{13}C -NMR (100 MHz, MeOD) δ : 209.9 (C-15), 204.3 (C-1), 176.5 (C-26), 174.0 (C-27), 147.9 (C-3), 136.1 (C-26), 128.0 (C-6), 124.3 (C-2), 106.0 (C-14), 92.7 (C-13), 92.0 (C-20), 79.9 (C-17), 72.4 (C-22), 52.8 (C-10), 50.9 (C-16), 44.3 (C-20), 34.2 (C-24), 32.6 (C-4), 31.6 (C-12), 29.8 (C-23), 28.3 (C-11), 23.4 (C-21), 19.4 (C-18), 18.1 (C-19)。以上波谱数据与文献报道基本一致^[23], 确定化合物 **4** 为酸浆苦素 XI。

化合物 **5**: 淡黄色油状液体, ESI-MS m/z 240.1 $[M+H]^+$, 1H -NMR (400 MHz, $CDCl_3$) δ : 8.03 (1H, s, H-5), 7.19 (1H, s, H-2), 3.42 (2H, m, H-1'), 1.66 (1H, d, $J=6.4$ Hz, H-1), 1.41 (1H, d, $J=1.8$ Hz, H-2'), 1.40-1.37 (2H, m, H-2''), 1.36-1.30 (2H, m, H-5'), 1.18 (4H, s, H-3'), 0.90 (2H, s, H-4'), 0.88 (3H, s, H-3''), 0.84 (3H, s, H-6'); ^{13}C -NMR (100 MHz, $CDCl_3$) δ : 165.8 (C-6), 134.1 (C-4), 129.4 (C-5), 67.6 (C-1'), 38.8 (C-2'), 30.4 (C-3'), 29.6 (C-1''), 28.9 (C-4'), 23.9 (C-5'), 22.8 (C-2''), 13.9 (C-6'), 11.0 (C-3'')。以上波谱数据与文献报道基本一致^[24], 确定化合物 **5** 为烟曲霉三唑酯 A。

3.2 细胞毒和抗炎活性

对化合物 **1**~**5** 进行体外抗炎活性筛选。结果显示,除化合物 **1** 外,其余化合物均能有效抑制 LPS 和 IFN- γ 诱导的 RAW264.7 细胞中 NO 的生成。在相同实验条件下同步检测了上述化合物的细胞毒

性。根据半数细胞毒性浓度 (half-maximal cytotoxic concentration, CC_{50}) 和半数抑制浓度 (half-maximal inhibitory concentration, IC_{50}) 计算出各化合物的选择指数 (selectivity index, $SI=CC_{50}/IC_{50}$)。结果显示 (表 2), 除化合物 **1** 外, 其余化合物的 SI 值均大于 1, 表明这些化合物具有不同程度的抗炎效果。在 10.00~200.00 $\mu\text{mol/L}$ 测试浓度范围内, 化合物 **4** 和 **5** 的 SI 分别为 23.62 和 >29.72, 显示出抗炎活性及较低的细胞毒性。

表 2 化合物 2~5 抗炎活性测试结果
Table 2 Anti-inflammatory activity test results of compounds 2—5

化合物	$IC_{50}/(\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$	$CC_{50}/(\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$	SI
1	>200	>200	
2	2.88 ± 0.12	23.77 ± 2.10	8.25
3	1.97 ± 0.12	3.76 ± 0.18	1.91
4	2.21 ± 0.27	52.21 ± 8.32	23.62
5	6.73 ± 0.71	>200	>29.72
S-甲基异 硫脲	13.68 ± 0.42	>200	>14.62

4 讨论

本研究从苦藨全草的甲醇提取物中分离得到了 4 个甾体类化合物和 1 个三氮唑类化合物。其中, 化合物 **1** 为新化合物, 化合物 **5** 为首次从茄科分离得到。通过综合运用多种色谱分离技术和波谱学方法, 结合单晶 X-射线衍射分析, 首次确定了化合物 **1** 的结构为具有 C-5/C-6 环氧结构的醉茄内酯衍生物。

本研究对分离得到的 5 个单体化合物进行了体外抗炎活性评价。结果表明, 化合物 **2~5** 对 LPS 诱导的 RAW264.7 巨噬细胞 NO 生成具有不同程度的抑制作用, 化合物 **4** 的抗炎活性为本研究首次报道。化合物 **5** 的 IC_{50} 值为 $(6.73\pm 0.71)\mu\text{mol/L}$, CC_{50} 值大于 200 $\mu\text{mol/L}$, 展现出良好的安全性, 为苦藨的资源利用和产品开发提供了一定的基础。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Novitasari A, Rohmawaty E, Rosdianto A. *Physalis angulata* Linn. as a medicinal plant (Review) [J]. *Biomed Rep*, 2024, 20(3): 47.
- [2] Ramakrishna Pillai J, Wali A F, Menezes G A, et al. Chemical composition analysis, cytotoxic, antimicrobial and antioxidant activities of *Physalis angulata* L.: A comparative study of leaves and fruit [J]. *Molecules*, 2022, 27(5): 1480.
- [3] 杨丽婷, 李博术, 张寒翠, 等. 苦藨化学成分及抗炎活性研究 [J]. *化学试剂*, 2023, 45(7): 94-99.
- [4] 方雷, 展晓日, 俞春娜, 等. 苦藨化学成分及药理作用研究进展 [J]. *杭州师范大学学报: 自然科学版*, 2016, 15(6): 613-616.
- [5] Wu J P, Zhang T, Yu M, et al. Anti-inflammatory withanolides from *Physalis minima* [J]. *ACS Omega*, 2020, 5(21): 12148-12153.
- [6] Mayorga H, Knapp H, Winterhalter P, et al. Glycosidically bound flavor compounds of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) [J]. *J Agric Food Chem*, 2001, 49(4): 1904-1908.
- [7] 孙成鹏. 苦藨的化学成分及其抗肿瘤和抗炎活性研究 [D]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2016.
- [8] Soares M B P, Brustolim D, Santos L A, et al. Physalins B, F and G, seco-steroids purified from *Physalis angulata* L., inhibit lymphocyte function and allogeneic transplant rejection [J]. *Int Immunopharmacol*, 2006, 6(3): 408-414.
- [9] Soares M B P, Bellintani M C, Ribeiro I M, et al. Inhibition of macrophage activation and lipopolysaccharide-induced death by seco-steroids purified from *Physalis angulata* L. [J]. *Eur J Pharmacol*, 2003, 459(1): 107-112.
- [10] Le Tuan Anh H, Le Ba V, Do T T, et al. Bioactive compounds from *Physalis angulata* and their anti-inflammatory and cytotoxic activities [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2021, 23(8): 809-817.
- [11] Zhang J H, Xu X, Zhao Y, et al. Target separation and potential anticancer activity of withanolide-based glucose transporter protein 1 inhibitors from *Physalis angulata* var. *villosa* [J]. *J Nat Prod*, 2024, 87(1): 2-13.
- [12] 钱亚芳, 杨波, 冯迪, 等. “靶点+活性”快速发现苦藨中靶向 Hsp90 抗胰腺癌有效成分的研究 [J]. *药学学报*, 2019, 54(3): 475-481.
- [13] Sun L J, Zhou L, Chen M C, et al. Amelioration of systemic lupus erythematosus by withangulatin A in MRL/lpr mice [J]. *J Cell Biochem*, 2011, 112(9): 2376-2382.
- [14] Meira C S, Guimarães E T, Bastos T M, et al. Physalins B and F, seco-steroids isolated from *Physalis angulata* L., strongly inhibit proliferation, ultrastructure and infectivity of *Trypanosoma cruzi* [J]. *Parasitology*, 2013, 140(14): 1811-1821.
- [15] 赵国平. 中药大辞典 [M]. 2 版. 上海: 上海科学技术出版社, 2006: 836.
- [16] Yu T J, Cheng Y B, Lin L C, et al. *Physalis peruviana*-derived physapruin a (PHA) inhibits breast cancer cell proliferation and induces oxidative-stress-mediated apoptosis and DNA damage [J]. *Antioxidants*, 2021, 10(3):

- 393.
- [17] Viecei P S, Juiz P J L, Lauria P S S, *et al.* *Physalis angulata* reduces the progression of chronic experimental periodontitis by immunomodulatory mechanisms [J]. *J Ethnopharmacol*, 2021, 273: 113986.
- [18] Bauer J A, Sysel A M, Heston A J, *et al.* Standardized sulforhodamine b colorimetric cell proliferation assay for anticancer activity screening in educational and research laboratories [J]. *MethodsX*, 2025, 15: 103469.
- [19] 邓茂鑫, 张洪川, 马开悦, 等. 双参的化学成分及抗炎活性研究 [J]. 中草药, 2026, 57(8): 2989-2999.
- [20] Sun C P, Qiu C Y, Zhao F, *et al.* Physalins V-IX, 16, 24-cyclo-13, 14-seco withanolides from *Physalis angulata* and their antiproliferative and anti-inflammatory activities [J]. *Sci Rep*, 2017, 7: 4057.
- [21] 许棚, 王冰, 周翎, 等. 酸浆化学成分的研究 [J]. 中草药, 2009, 40(2): 175-178.
- [22] Fang L Q, Chai H B, Castillo J J, *et al.* Cytotoxic constituents of *Brachistus stramoniifolius* [J]. *Phytother Res*, 2003, 17(5): 520-523.
- [23] Boonsombat J, Chawengrum P, Mahidol C, *et al.* A new 22, 26-seco physalin steroid from *Physalis angulata* [J]. *Nat Prod Res*, 2020, 34(8): 1097-1104.
- [24] 陈彦君, 祝丽君, 于红梅, 等. 霸王鞭内生真菌烟曲霉中 1 个新的生物碱类化合物 [J]. 中草药, 2019, 50(22): 5400-5403.

[责任编辑 王文倩]