

## 西南凤尾蕨中一个新的倍半萜及其抗癌活性研究

任世杰<sup>1#</sup>, 魏宏珂<sup>1#</sup>, 成欣欣<sup>1</sup>, 王嘉琪<sup>2</sup>, 乔晓婷<sup>2</sup>, 王晓敏<sup>2</sup>, 吕子玉<sup>1</sup>, 曹 朵<sup>1\*</sup>

(1. 延安大学生命科学学院, 陕西省黄土高原资源植物研究与利用省市共建重点实验室, 陕西 延安 716000; 2. 延安大学医学院, 陕西 延安 716000)

**摘要:** 采用MCI树脂、葡聚糖凝胶 Sephadex LH 20、Flash C18制备色谱和半制备液相制备色谱等方法, 对西南凤尾蕨根部甲醇提取物进行较为系统的分离纯化, 通过质谱、红外光谱和核磁共振等方法, 对分离到的化合物进行结构鉴定。从西南凤尾蕨中分离鉴定了5个倍半萜类化合物, 分别为6,7-四氢吡喃环-(2*S*,3*S*)-蕨素 C-3-*O*- $\beta$ -D-(6'-acetyl)-葡萄糖苷 (**1**)、(2*S*,3*S*)-蕨素 C-3-*O*- $\beta$ -D葡萄糖苷 (**2**)、(2*S*)-蕨素 A (**3**)、(2*S*)-13-羟基蕨素 A (**4**) 和 (2*R*,3*S*)-2-羟基蕨素 C (**5**)。其中, 化合物**1**为新的三环倍半萜, 化合物**3**~**5**首次从西南凤尾蕨中分离。体外生物活性实验表明, 化合物**1**能够抑制4T1和EMT6细胞增殖, 具有显著抗三阴性乳腺癌生物活性。

**关键词:** 西南凤尾蕨; 化学成分; 倍半萜; 活性氧; 三阴性乳腺癌

中图分类号: R284 文献标识码: A 文章编号: 0513-4870(2025)05-1485-05

## A new sesquiterpenes from *Pteris wallichiana* and its anticancer activity

REN Shi-jie<sup>1#</sup>, WEI Hong-ke<sup>1#</sup>, CHENG Xin-xin<sup>1</sup>, WANG Jia-qi<sup>2</sup>, QIAO Xiao-ting<sup>2</sup>,  
WANG Xiao-min<sup>2</sup>, LÜ Zi-yu<sup>1</sup>, CAO Duo<sup>1\*</sup>

(1. Shaanxi Key Laboratory of Research and Utilization of Resource Plants on the Loess Plateau, College of Life Sciences, Yan'an University, Yan'an 716000, China; 2. Medical School of Yan'an University, Yan'an 716000, China)

**Abstract:** The methanol extract of *Pteris wallichiana* was separated and purified by MCI gel, sephadex LH 20, flash C18 and silica gel column chromatography combined with semi-pre HPLC. The chemical structures of the isolated compounds were identified by MS, IR, NMR, etc. Five sesquiterpene compounds were isolated from *Pteris wallichiana* and identified as 6,7-tetrahydrofuran-(2*S*,3*S*)-pterosin C-3-*O*- $\beta$ -D-(6'-acetyl)-Glu (**1**), (2*S*,3*S*)-pterosin C-3-*O*- $\beta$ -D-Glu (**2**), (2*S*)-pterosin A (**3**) and (2*S*)-13-hydroxyl-pterosin A (**4**), (2*R*,3*S*)-2-hydroxyl-pterosin C (**5**). Compound **1** is a new sesquiterpene, compounds **3**–**5** were isolated for the first time. *In vitro* bioactivity assay showed that compound **1** was able to inhibit the proliferation of 4T1 and EMT6 cells, and possessed significant anti-triple-negative breast cancer bioactivity.

**Key words:** *Pteris wallichiana*; chemical composition; sesquiterpene; reactive oxygen species; triple negative breast cancer

西南凤尾蕨 (*Pteris wallichiana* J. Agardh) 为凤尾

蕨科 (Pteridaceae)、凤尾蕨属 (*Pteris*) 多年生三叉系中大型蕨类植物。生长于海拔 800~2 400 米林下沟谷, 在中国台湾、海南、云南、四川、西藏等地分布, 在日本、菲律宾、印度等国家也有分布<sup>[1]</sup>。其性凉、微苦、味涩。常以全草、根茎、叶入药, 具有清热止血、解毒、消肿等功效<sup>[2,3]</sup>。《滇药录》中记载: “其叶治小儿高热惊风, 根

收稿日期: 2024-12-03; 修回日期: 2025-02-14.

基金项目: 陕西省自然科学基金 (2024JC-YBQN-0920); 陕西省科协技术学会青年人才托举计划项目 (20220321).

\*共同第一作者.

\*通讯作者 E-mail: duocao@yau.edu.cn

DOI: 10.16438/j.0513-4870.2024-1190

治疗肝气郁结,腹部包块,产后少腹痛,恶露不尽,胃脘胀满<sup>[4]</sup>。现代研究表明,西南凤尾蕨含有黄酮类、萜类化合物、甾醇类等物质,具有降血糖、降血脂、抗炎、免疫调节等生物活性<sup>[5-8]</sup>。前期预实验发现西南凤尾蕨甲醇提取物具有显著抑制乳腺癌细胞增殖的作用。三阴性乳腺癌作为乳腺癌的一种,其患病率为10%~30%,死亡率较高,临床治疗以化疗为主,现有药物效果均不理想且存在严重耐药现象<sup>[9,10]</sup>。本课题在活性追踪下,对西南凤尾蕨根部甲醇提取物进行分离、纯化和结构鉴定,并通过体外细胞实验评价单体物质对癌细胞增殖的抑制作用。

## 结果与讨论

化合物**1**: 白色粉末,熔点为215.1 °C,可溶于甲醇、氯仿和丙酮等有机溶剂。根据<sup>1</sup>H NMR和<sup>13</sup>C NMR以及高分辨HRESI-MS  $m/z$  459.261 3 [M+Na]<sup>+</sup> (calcd. for C<sub>22</sub>H<sub>28</sub>O<sub>9</sub>, 459.260 4),可知其分子式为C<sub>22</sub>H<sub>28</sub>O<sub>9</sub>,不饱和度为9。从IR光谱中可以看到羰基碳(1 700 cm<sup>-1</sup>)以及苯环(1 630, 1 465 cm<sup>-1</sup>)特征峰。<sup>1</sup>H NMR谱显示在 $\delta_{\text{H}}$  2.44 (3H, s, Me-11)处有一个甲基质子单峰信号, $\delta_{\text{H}}$  1.26 (3H, d,  $J = 7.80$  Hz)为一个甲基质子信号双峰信号(Me-10),在 $\delta_{\text{H}}$  3.16 (2H, s, H-15)处有一个亚甲基单峰信号,还可观察到端基质子 $\delta_{\text{H}}$  4.50 (1H, d,  $J = 8.0$  Hz)与 $\delta_{\text{C}}$  106.4、77.4、74.1相关,表明化合物**1**结构中存在 $\beta$ -吡喃葡萄糖单元,在HMBC谱中可观察到端基质子与 $\delta_{\text{C}}$  83.1 (C-3)相关、 $\delta_{\text{H}}$  4.73 (1H, d,  $J = 3.68$  Hz, H-3)处质子与 $\delta_{\text{C}}$  106.4 (C-1')相关、 $\delta_{\text{H}}$  2.0 (3H, s, H-1'')和 $\delta_{\text{H}}$  3.49 (1H, dt,  $J = 12.2, 6.0$  Hz, H-6')均与羰基碳 $\delta_{\text{C}}$  170.8相关,表明化合物**1**的C-3位连接6'-acetyl- $\beta$ -吡喃葡萄糖单元。此外,<sup>13</sup>C NMR和DEPT谱还显示14个碳原子核磁共振信号,其中包括1个羰基信号峰( $\delta_{\text{C}}$  205.7)、五取代苯环信号峰 [ $\delta_{\text{C}}$  126.2 (C-4), 144.7 (C-5), 136.4 (C-6), 139.6 (C-7), 131.4 (C-8), 151.4 (C-9)],1个sp<sup>3</sup>次甲基信号峰( $\delta_{\text{C}}$  52.0, C-2),4个sp<sup>3</sup>亚甲基信号峰( $\delta_{\text{C}}$  32.2, 63.1, 62.5和65.7)和2个甲基信号峰( $\delta_{\text{C}}$  13.8和21.2)。紫外吸收在215、260和300 nm处,红外吸收在1 700、1 600 cm<sup>-1</sup>处显示了萜素类化合物的特有吸收峰<sup>[11]</sup>,通过对化合物**1**的核磁共振图谱解析,紫外和红外吸收和文献对比,推测化合物**1**的基本骨架是含14或15个碳原子的倍半萜类化合物。同时化合物**1**的<sup>1</sup>H NMR和<sup>13</sup>C NMR谱数据与pterisine C-3-*O*- $\beta$ -葡萄糖苷相似<sup>[12]</sup>,表明化合物**1**也是1-萜满酮葡萄糖苷。然而,与pterisine C-3-*O*- $\beta$ -葡萄糖苷不同的是,化合物**1**的<sup>13</sup>C NMR谱中多1个羰基碳信号峰、1个甲基和1个亚甲基信号峰,化学位移分别为 $\delta_{\text{C}}$

170.8, 21.2和65.7,少一个甲基信号峰( $\delta_{\text{C}}$  24.1),在HSQC谱中显示 $\delta_{\text{H}}$  3.16 (2H, s, H-15)与 $\delta_{\text{C}}$  65.7相关、 $\delta_{\text{H}}$  2.0 (3H, s)与 $\delta_{\text{C}}$  21.2相关, HMBC谱中显示 $\delta_{\text{H}}$  3.16 (2H, s, H-15)与 $\delta_{\text{C}}$  139.6 (C-7)相关,结合分子量分析,C-7、C-8和C-15位化学位移值向低场移动以及不饱和度计算,推测化合物**1**的C-6位与C-7位取代基形成一个含氧六元环。对化合物**1**进行酸水解产生的糖元经气相色谱分析,证实为D型葡萄糖。<sup>1</sup>H-<sup>1</sup>H COSY谱中可观察到 $\delta_{\text{H}}$  2.64 (1H, d,  $J = 3.8$  Hz)与 $\delta_{\text{H}}$  4.67 (1H, d,  $J = 3.8$  Hz)相关,在NOESY谱中不能观察到二者相关,表明H-2与H-3在异侧,检测化合物**1**的母核的比旋光度为 $\alpha_{\text{D}}^{20} +52$  ( $c$  0.5, MeOH),与(2*S*,3*S*)-pterisine C一致<sup>[13]</sup>。化合物**1**的核磁共振数据如表1所示,结构如图1所示。经Scifinder数据库检索,化合物**1**为一个新的三元环1H-萜满酮倍半萜类化合物,命名为6,7-四氢吡喃环-(2*S*,3*S*)-pterisin C-3-*O*- $\beta$ -D-(6'-acetyl)-葡萄糖苷。

体外细胞实验检测化合物**1**~**5**对EMT6、4T1、U87、U251、TE10和ECA109细胞株增殖的影响,结果显示化合物**1**能够显著诱导三阴性乳腺癌细胞EMT6和4T1的增殖,IC<sub>50</sub>值分别为8.79和8.61  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (表2)。

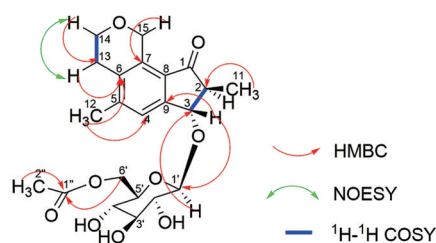


Figure 1 Structure of compound **1** and its key <sup>1</sup>H-<sup>1</sup>H COSY, HMBC correlations

## 讨论

本研究在前期研究基础上,综合应用分离纯化方法对西南凤尾蕨根部甲醇提取物中化学成分进行较为系统的挖掘,从中分离鉴定了5个倍半萜类化合物,其中化合物**1**为新的三环1-萜满酮倍半萜,化合物**3**~**5**首次从西南凤尾蕨中分离得到。基于前期研究和文献报道,本研究对分离得到的化合物进行了体外抗癌生物活性评价,结果表明化合物**1**和**2**对U87、U251、EMT6、4T1细胞的增殖具有显著抑制作用。此外,化合物**1**能够诱导EMT6、4T1细胞凋亡(IC<sub>50</sub> < 10  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )。总之,本研究的开展,不仅丰富了西南凤尾蕨化学成分,还为后续1-萜满酮倍半萜类化合物的抗癌生物活性研究奠定了基础。

**Table 1**  $^1\text{H}$  NMR (800 MHz) and  $^{13}\text{C}$  NMR (200 MHz) data of compound **1** in  $\text{DMSO}-d_6$ 

No.	$\delta_{\text{C}}$	$\delta_{\text{H}}$ ( $J$ in Hz)	HMBC
1	205.7	—	H-2
2	52.0	2.64 (1H, d, $J = 3.8$ Hz)	H-3, C-1, 3, 11
3	83.1	4.73 (1H, d, $J = 3.8$ Hz)	H-2, C-2, 9
4	126.2	7.50 (1H, s)	—
5	144.7	—	H-12
6	136.4	—	—
7	139.6	—	H-15
8	131.4	—	—
9	151.4	—	H-3
10	—	—	—
11	13.8	1.26 (3H, d, $J = 7.8$ Hz)	C-2, H-2
12	21.2	2.44 (3H, s)	C-5
13	30.1	3.02 (2H, t, $J = 8.0$ Hz)	C-6, 14, H-14
14	63.1	4.31 (2H, s)	C-13, H-13
15	65.7	3.16 (2H, s)	C-7
1'	106.4	4.50 (1H, d, $J = 8.0$ Hz)	C-3, H-2', C-2'
2'	74.1	3.01 (1H, m)	C-3'
3'	77.2	3.20 (1H, m)	C-2', 4'
4'	70.5	3.09 (1H, m)	C-3', 5'
5'	77.4	3.21 (1H, m)	C-4', 6'
6'	63.1	3.49 (1H, dt, $J = 12.2, 6.0$ Hz), 3.72 (1H, ddd, $J = 12.2, 5.2, 2.2$ Hz)	C-5', 1''
1''	170.8	—	C-6', 2'', H-2''
2''	21.2	2.0 (3H, s)	C-1''

**Table 2** Screening results for antitumor activity of pterosins **1-5**

Compound	$\text{IC}_{50}/\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$					
	4T1	EMT6	U87	U251	TE10	ECA109
<b>1</b>	8.61	8.79	18.34	21.01	>50	>50
<b>2</b>	33.65	29.54	>50	37.78	>50	>50
<b>3</b>	>50	>50	>50	>50	>50	>50
<b>4</b>	>50	>50	>50	>50	>50	>50
<b>5</b>	>50	>50	39.01	36.98	>50	>50

## 实验部分

西南凤尾蕨 (*Pteris wallichiana*) 采于云南大理, 经西北大学郭斌教授鉴定为西南凤尾蕨全草, 样本编号 2023-23-7, 保存于延安大学生命科学学院特立楼 317 室。

实验所用到的主要仪器设备有: Agilent Series 1100 SL 液质联用仪高分辨 ESI, 美国 Agilent 公司; Bruker Avance 500 和 AV800 型 1D 和 2D 核磁共振仪, 德国 Bruker 公司; Teledyne Isco Combiflash Rf200 Flash 分离纯化制备色谱仪器, 佰赫科学仪器上海有限公司; NP7000 和 NU3000 半制备液相色谱仪, 江苏汉邦科技股份有限公司; C18 色谱柱 (250 mm  $\times$  4.6 mm, 5  $\mu\text{m}$ ), 日本 YMC Co., Ltd. 公司; SpectraMax Plus384 光吸收酶标仪, 上海美谷分子仪器有限公司; 奥林巴斯 IX51 荧光倒置显微镜, 基恩士 (中国) 有限公司; HF90 二氧化碳培养箱, 上海力申科学仪器有限公司; ZF-7 紫外分析仪, 上海嘉鹏科技有限公司; DHG-9070A 电热恒温鼓风干燥箱, 上海齐欣科学仪器有限公司; 玻璃层析柱 (100 mm  $\times$  600 mm, 80 mm  $\times$  500 mm, 60 mm  $\times$  600 mm,

30 mm  $\times$  600 mm), 江苏盐城新明特玻璃仪器有限公司; 硅胶 (100~200、200~300、300~400 目正相硅胶填料) 和 GF254 薄层硅胶分析板 (10 cm  $\times$  10 cm), 青岛海湾精细化工有限公司; 葡聚糖凝胶 Sephadex LH-20 (500 g, 分离范围 100~4 000), 上海源叶生物科技有限公司; Flash C18 反相硅胶 (40~60  $\mu\text{m}$ , 1 000 g), 上海技舟化工科技有限公司; MCI 树脂 (型号 MCI Gel-CHP 20-P, 粒径 75~150  $\mu\text{m}$ ), 日本三菱公司; 乙醇、甲醇、石油醚、乙酸乙酯、二氯甲烷、二甲基亚砜 (分析纯, 500 mL), 天津市致远化学试剂有限公司。

### 1 提取与分离

西南凤尾蕨干燥根部 30 kg, 甲醇加热回流提取 3 次, 回收溶剂后合并滤液得甲醇提取浸膏 9 kg, 纯净水分散浸膏后依次用石油醚、二氯甲烷和乙酸乙酯萃取, 得石油醚萃取部位 340 g、二氯甲烷萃取部位 890 g、乙酸乙酯萃取部位 2 kg。其中, 乙酸乙酯萃取部位用甲醇溶解后, 按照重量比 1:1.5 加 100~200 目硅胶进行拌样, 通过正相硅胶柱层析, 洗脱液为二氯甲烷: 甲醇 = 100:0~0:100, 薄层板 (TLC) 检测合并相同组分, 获得 8 个组分 Fr. EA-1~8。对 Fr. EA-3 (310 g) 进行硅胶柱层析 (200~300 目硅胶, 二氯甲烷: 乙酸乙酯 = 15:1~1:1) 薄层色谱检测合并后得 7 个组分 (Fr. EA-3-1~Fr. EA-3-7), Fr. EA-5 (550 g) 也进行硅胶柱层析 (200~300 目硅胶, 二氯甲烷: 甲醇 = 30:1~5:1), TLC 检测合并得 6 个组分 (Fr. EA-5-1~Fr. EA-5-6)。

Fr. EA-3-3 (102 g) 经 MCI 树脂柱层析 (甲醇-水 = 30%~100%), 得 Fr. EA-3-3-1~Fr. EA-3-3-6, Fr. EA-3-3-4 (33.5 g) 经 Flash C18 柱层析, 30%~100% 甲醇洗脱, 得 Fr. EA-3-3-4-1~Fr. EA-3-3-4-6。其中 Fr. EA-3-3-4-2 (60.3 mg) 再经半制备液相色谱 (pre-HPLC) 制备, 85.0% 甲醇等度洗脱, 得化合物 **1** (8.3 mg,  $t_R = 18$  min) 和化合物 **2** (14.6 mg,  $t_R = 23$  min)。

Fr. EA-5-4 (230.8 g) 经葡聚糖凝胶 Sephadex LH 20 (甲醇洗脱) 柱色谱, 得 Fr. EA-5-4-1~Fr. EA-5-4-5, Fr. EA-5-4-3 (66.3 g) 经 Flash C18 柱色谱, 30%~100% 甲醇洗脱, 得 Fr. EA-5-4-3-1~Fr. EA-5-4-3-5, 其中 Fr. EA-5-4-3-3 (74.2 mg) 再经 pre-HPLC 制备, 93.0% 甲醇等度洗脱, 得化合物 **3** (12.4 mg,  $t_R = 17$  min)、化合物 **4** (11.6 mg,  $t_R = 27$  min)、化合物 **5** (7.9 mg,  $t_R = 24$  min)。

## 2 结构鉴定

化合物 **1** 为白色粉末 (MeOH), 熔点为 215.1 °C, 可溶于甲醇、氯仿和丙酮等溶剂, 分子式为  $C_{22}H_{28}O_9$ ,  $\alpha_D^{20} +52$  ( $c$  0.5, MeOH); UV (CH<sub>3</sub>OH)  $\lambda_{max}$  (log  $\epsilon$ ): 220 (4.0), 在 215、260 和 300 nm 处有最大吸收, 为蒽素倍半萜类物质的紫外特征吸收; IR  $\nu_{max}$  1 700、1 630、1 465  $cm^{-1}$ , 提示分子中含有羰基和苯环; <sup>1</sup>H NMR (800 MHz, DMSO- $d_6$ ) 和 <sup>13</sup>C NMR (200 MHz, DMSO- $d_6$ ) 数据见表 1。

## 3 化合物 1 中葡萄糖水解

对化合物 **1** 中糖组分的水解和检测按照文献<sup>[14]</sup>中记载的方法进行, 即将化合物 **1** (2.0 mg) 在 3.0 mL 的盐酸二氧六环 (1:1,  $V/V$ ) 中加热回流 2 h, 旋转蒸发器回收溶剂后用 100  $\mu$ L 无水吡啶溶解, 再加 200  $\mu$ L (0.1 mol·L<sup>-1</sup>) 的半胱氨酸甲酯盐酸盐, 混合物在 60 °C 下加热 1 h, 再加入 3.0 mL 的三甲基硅化试剂六甲基二硅氮烷-三甲基氯硅烷-吡啶 (HMDS-TMCS, 2:1:10,  $V/V$ ), 在 60 °C 条件下继续加热 30 min, 反应完全后, 混合物用 2 mL 环己烷萃取, 萃取物进行 GC-MS 分析以鉴定糖的构型。对照品单糖 ( $\beta$ -D-葡萄糖、 $\beta$ -L-葡萄糖、 $\alpha$ -D-葡萄糖、 $\alpha$ -L-葡萄糖, 纯度均 > 95%) 购买自百灵威, 对照品也采用上述方法处理后用环己烷萃取, 进行 GC-MS 分析, 测试结果作为对照。

## 4 抗癌生物活性

EMT6、4T1、U87、U251、TE10 和 ECA109 细胞株均来自中国人民解放军空军军医大学基础医学院捐赠。

细胞培养 将细胞在含有 10% 胎牛血清、1% 青-链霉素的 DMEM/1640 完全培养基中, 在 37 °C、5% CO<sub>2</sub> 培养条件下培养。待细胞长满培养皿底部 80% 时进行传代和处理。将长满培养皿底的细胞培养基弃去, 后用 PBS 缓冲液冲洗一次, 加入含 EDTA、酚红的胰蛋白酶 1~2 mL 进行消化约 2~3 min, 在显微镜下可以看

到贴壁细胞全部悬浮后, 加入对应体积的 DMEM/1640 完全培养基停止消化, 然后将其转移到离心管中进行离心。离心结束后弃掉上清, 加入新的 DMEM/1640 完全培养基重悬细胞, 最后转移到新的培养皿完成传代。

CCK-8 测定 将处于对数生长期的细胞, 以每孔约  $3 \times 10^3$  个细胞接种到 96 孔板中 (每组 3 个复孔), 并置于 37 °C、5% CO<sub>2</sub> 的培养箱中培养 24 h, 然后用不同浓度的化合物处理 (0、1.0、2.0、4.0、8.0、16.0、32.0、64.0  $\mu$ mol·L<sup>-1</sup>), 培养 24 h 后避光向每孔加 10  $\mu$ L CCK-8 溶液, 继续孵育 60 min。用酶标仪在 450 nm 处测定吸光度值 (OD), 计算出不同浓度下细胞的存活率, 绘制浓度-效应曲线, 并计算半抑制浓度 (IC<sub>50</sub>)。细胞存活率 (%) =  $(OD_{\text{实验组}} - OD_{\text{空白组}}) / (OD_{\text{对照组}} - OD_{\text{空白组}}) \times 100\%$ ; 细胞抑制率 (%) =  $(OD_{\text{对照组}} - OD_{\text{实验组}}) / (OD_{\text{对照组}} - OD_{\text{空白组}}) \times 100\%$ 。

统计学分析 本文实验数据采用 GraphPad Prism 9 软件进行统计分析, 组间差异分析采用非配对 Student's  $t$  检验比较, 数据采用平均值  $\bar{x} \pm s$  表示<sup>[15]</sup>。

作者贡献: 任世杰和魏宏珂为本文共同第一作者, 负责化合物的分离、鉴定和文章撰写; 成欣欣、王晓敏和吕子玉对提取分离和结构鉴定提供了一定帮助; 王嘉琪和乔晓婷负责细胞相关实验、数据分析及作图; 曹朵负责实验的设计、稿件修改、对实验中遇到的问题给予指导等工作。

利益冲突: 所有作者均声明不存在利益冲突。

## References

- [1] Editorial Board of Flora of China. Flora of China (中国植物志) [M]. Beijing: Science Press, 1993.
- [2] Chinese Materia Medica Editorial Committee of the State Administration of Traditional Chinese Medicine. Chinese Herbal Medicine (中华本草) [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1999.
- [3] Xu H, Zhao NW, Du J, et al. Research progress on the chemical constituents and pharmacological activities of *Pteris* species from Guizhou [J]. J Med Pharm Chin Minor (中国民族医药杂志), 2012, 18: 63-65.
- [4] Jia MR, Li XW. Essential Chinese Ethnic Medicine (中国民族药志要) [M]. Beijing: The Medicine Science and Technology Press of China, 2005.
- [5] Wang RT, Wan Z, Gao F, et al. Chemical constituents of *Pteris wallichiana* J. Agardh (Pteridaceae) [J]. Biochem Syst Ecol, 2017, 71: 225-229.
- [6] Tao J, Huang Z, Wang Y, et al. Ethanolic extract from *Pteris wallichiana* alleviates DSS-induced intestinal inflammation and intestinal barrier dysfunction by inhibiting the TLR4/NF- $\kappa$ B pathway and regulating tight junction proteins [J]. Molecules, 2022, 27: 3093.
- [7] Wij M, Rangaswami S. Indanone derivatives from *Pteris walli-*

- chiana* [J]. *Indian J Chem*, 1977, 15: 16-17.
- [8] Wang RT. Study on the Chemical Components of *Pteris wallichiana* and *Russula aruea* (西南凤尾蕨和橙黄红菇的化学成分研究) [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2017.
- [9] Liu SJ. The Role and Mechanism of Tumor Associated Macrophages in Inducing Chemotherapy Resistance of Three Negative Breast Cancer Cells (肿瘤相关巨噬细胞诱导三阴乳腺癌细胞化疗耐药的作用及机制研究) [D]. Hohhot: Inner Mongolia Medical University, 2023.
- [10] Zhang WJ, Zeng H, Wang Q, et al. Progress in salvage treatment of advanced triple negative breast cancer [J]. *Mod Oncol Med* (现代肿瘤医学), 2017, 25: 3544-3547.
- [11] Luo X, Li C, Luo P, et al. Pterisin sesquiterpenoids from *Pteris cretica* as hypolipidemic agents via activating liver X receptors [J]. *J Nat Prod*, 2016, 79: 3014-3021.
- [12] Takao M, Haruka M, Nobutoshi T, et al. Chemical and chemotaxonomical studies on filices. LV. Studies on the constituents of several species of *Pteris* [J]. *Yakugaku Zasshi*, 1985, 105: 640-648.
- [13] Masamichi F, Kunitoshi Y, Shinsaku N, et al. Carbon-13 nuclear magnetic resonance spectra of pterisin sesquiterpenes and related indan-1-one derivatives [J]. *Chem Pharm Bull*, 1983, 31: 3113-3128.
- [14] Cao D, Han C, Gao W, et al. Research on chemical constituents from branches and twigs with leaves of *Viscum coloratum* [J]. *Chin Tradit Herb Drugs* (中草药), 2016, 47: 4313-4317.
- [15] Qiao XT, Chen XX, Wang D, et al. A new alkaloid from *Huperzia serrata* and its biological activity [J]. *Acta Pharm Sin* (药学报), 2024, 59: 3342-3346.