井栏边草中萜类成分

彭财英, 潘小军, 刘建群, 黄慧莲*, 舒积成*

(江西中医药大学, 现代中药制剂教育部重点实验, 江西 南昌 330004)

摘要: 利用硅胶柱色谱、凝胶柱色谱和半制备液相色谱等多种方法, 对井栏边草乙醇提取物进行分离与纯化。结合分离单体化合物的理化性质, 通过MS、NMR和CD等波谱数据鉴定其结构。从井栏边草乙酸乙酯部位中分离得到18个萜类化合物, 包括14个1*H*-茚-1-酮母核的倍半萜 (**1**～**14**) 和4个四甲基环已烯骨架的降萜 (**15**～**18**), 分别鉴定为 (2*S*,3*S*)-2,5,7-三甲基-3-羟基-6-羧基-1-茚-1-酮 (井栏边草酸A, **1**)、(2*S*,3*S*)-2,7-二甲基-5,6-二羟甲基-茚-1-酮 (井栏边草醇A) (**2**)、脱氢蕨素B (**3**)、6-(1,2-二羟乙基)-2,5,7-三甲基-茚-1-酮 (**4**)、蕨素D (**5**)、(3*R*)-蕨素W (**6**)、蕨素D 3-*O*-*β*-*D*-葡萄糖苷 (**7**)、(3*R*)-蕨苷W (**8**)、(3*R*)-蕨苷D (**9**)、14-乙酰基-蕨素A (**10**)、蕨素A (**11**)、11-乙酰基-蕨素A (**12**)、蕨素A2 (**13**)、(2*S*,3*S*)-蕨素C 3-*O*-*β*-*D*-葡萄糖苷 (**14**)、dearabinosyl pneumonanthoside (**15**)、蚱蜢酮 (**16**)、吐叶醇 (**17**)、长寿花糖甙I (**18**)。化合物**1**和**2**为新化合物, **3**、**4**、**10**～**13**、**16**和**18**均为首次从该植物中分离得到。活性筛选结果表明, 新化合物**1**和**2**显示出抗炎活性, 能够抑制一氧化氮 (NO) 生成, IC_{50}值为36.7和61.2 μmol·L^{-1}。

关键词: 井栏边草; 化学成分; 井栏边草酸A; 井栏边草醇A; 抗炎活性

中图分类号: R284 **文献标识码**: A **文章编号**: 0513-4870(2026)08-3129-08

Terpenoids isolated from *Pteris multifida* Poir.

PENG Cai-ying, PAN Xiao-jun, LIU Jian-qun, HUANG Hui-lian*, SHU Ji-cheng*

(*Key Laboratory of Modern Preparation of TCM, Misnistry of Education, Jiangxi University of Chinese Medicine, Nanchang 330004, China*)

Abstract: The ethanol extract of *Pteris multifida* was isolated and purified using various column chromatographic methods, including silica gel, Sephdex LH-20 and semi-preparative HPLC. Based on the physicochemical properties of the isolated compounds, their structures were elucidated by spectroscopic data such as MS, NMR, and CD. From the ethyl acetate fraction of *P. multifida*, 18 terpenoids were isolated, including 14 sesquiterpenoids possessing a 1*H*-inden-1-one nucleus (**1**－**14**) and four nortriterpenoids with a megastigmane skeleton (**15**－**18**). They were identified as (2*S*,3*S*)-2,5,7-trimethyl-3-hydroxyl-6-carboxyl-indan-1-one (ptemulic A) (**1**), (2*S*,3*S*)-2,7-dimethyl-5,6-dihydroxymethyl-indan-1-one (ptemulinol A) (**2**), dehydropterosin B (**3**), 6-(1,2-dihydroxyethyl)-2,5,7-trimethyl-indan-1-one (**4**), pterosin D (**5**), (3*R*)-pterosin (**6**), pterosin D 3-*O*-*β*-*D*-glucopyranoside (**7**), (3*R*)-pteroside W (**8**), (3*R*)-pteroside D (**9**), 14-acetyl-pterosin A (**10**), pterosin A (**11**), 11-acetyl-pterosin A (**12**), pterosin A2 (**13**), (2*S*,3*S*)-pterosin C 3-*O*-*β*-*D*-glucopyranoside (**14**), dearabinosyl pneumonanthoside (**15**), grasshopper ketone (**16**), vomifoliol (**17**), roseoside I (**18**). Compounds **1** and **2** were new compounds, while compounds **3**, **4**, **10**−**13**, **16** and **18** were isolated from this plant for the first time. New compounds **1** and **2** showed anti-inflammatory activity by inhibiting the production of nitric oxide (NO), with IC_{50} values of 36.7 and 61.2 μmol·L^{-1}, respectively.

Key words: *Pteris multifida*; chemical constituent; ptemulic A; ptemulinol A; anti-inflammatory activity

收稿日期: 2026-04-23; 修回日期: 2026-06-02.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (82160660); 江西中医药大学“1050”工程人才项目 (5142001004) 与创新团队 (CXTD22015).

*通讯作者 Tel: 86-791-87118658, E-mail: huilianh@163.com; shujc210@jxutcm.edu.cn

DOI: 10.16438/j.0513-4870.2026-0467

井栏边草 (*Pteris multifida* Poir.) 为凤尾蕨科 Pteridaceae 凤尾蕨属 (*Pteris*) 植物, 又名凤尾草、凤尾蕨、五叶灵芝等[1], 广泛分布于我国各省区。始载于《本草拾遗》, 药用历史悠久, 具有清热利湿、解毒、凉血、收敛、止血和止痢等功效[2]。现代研究表明, 井栏边草中含有倍半萜 (俗称蕨素)、二萜、黄酮、苯丙素等主要类型的次生代谢产物[3], 其提取物及主要成分具有抗肿瘤、抗菌、抗氧化和抗炎等多种药理作用[4-8]。课题组近年来一直致力于蕨类植物的化学物质基础研究[9-14], 本文报道从井栏边草中分离鉴定出 18 个萜类成分 (图 1), 包括 2 个新倍半萜成分—井栏边草酸 A (**1**) 和井栏边草醇 A (**2**), 以及 16 个已知萜类化合物: 脱氢蕨素 B (**3**)、6-(1,2-二羟乙基)-2,5,7-三甲基-茚-1-酮 (**4**)、蕨素 D (**5**)、(3*R*)-蕨素 W (**6**)、蕨素 D 3-*O*-*β*-*D*-葡萄糖苷 (**7**)、(3*R*)-蕨苷 W (**8**)、(3*R*)-蕨苷 D (**9**)、14-乙酰基-蕨素 A (**10**)、蕨素 A (**11**)、11-乙酰基-蕨素 A (**12**)、蕨素 A2 (**13**)、(2*S*,3*S*)-蕨素 C 3-*O*-*β*-*D*-葡萄糖苷 (**14**)、dearabinosyl pneumonanthoside (**15**)、蚱蜢酮 (**16**)、吐叶醇 (**17**)、长寿花糖甙 I (**18**)。同时, 本研究通过 NO 生成抑制实验评价了分离新化合物的抗炎活性, 结果显示化合物 **1** 和 **2** 均具有一定的抗炎活性, IC_{50} 值为 36.7 和 61.2 μmol·L^{-1}。

结果与讨论

1 结构鉴定

化合物 **1** 浅黄色油物 (甲醇)。高分辨质谱 (HR-ESI-MS) 给出准离子峰 $[M-H]^-$ *m*/*z* 233.082 2 (计算值 233.081 9), 由此得出分子式为 $C_{13}H_{14}O_4$, 不饱和度为 7。UV 显示 1*H*-茚-1-酮母核的倍半萜特征吸收 (218, 260, 300 nm)[15]。在 ^{1}H NMR 中 (表 1), 可见一个芳香质子信号 [δ_H 7.32 (1H, s)], 三个甲基信号 [δ_H 2.60 (3H, s), 2.45 (3H, s), 1.29 (3H, d, *J* = 7.7 Hz)], 以及两个次甲基质子信号 [δ_H 4.69 (1H, d, *J* = 3.8 Hz), 2.43 (1H, m)]。^{13}C NMR (表 1) 结合 HSQC 谱显示该化合物共有 13 个碳, 包括 8 个 sp^2 杂化碳 [其中 1 个酮羰基碳 (δ_C 207.6), 1 个羧基碳 (δ_C 177.6), 以及 6 个芳香碳 (δ_C 124.9、131.6、133.0、142.0、146.0 和 154.8)], 3 个甲基碳 (δ_C 13.3、15.5 和 20.7), 以及 2 个 sp^3 杂化次甲基碳 (δ_C 54.6 和 76.2)。上述波谱特征提示, 化合物 **1** 与已知化合物 (2*S*,3*S*)-pterosin C 的 NMR 数据高度相似[12]。进一步对比两者的 NMR 数据发现, 主要区别在于: (2*S*,3*S*)-pterosin C 中连接在 C-6 位上的羟乙基消失, 而在化合物 **1** 中出现了一个羧基 (δ_C 177.6), 表明化合物 **1** 为 C_{13} 骨架的 1*H*-茚-1-酮倍半萜。高分辨质谱结果也支持这一推论。HMBC 谱 (图 2) 进一步确认了化合物 **1** 的平面结构: H-10 [δ_H 1.29 (3H, d, *J* =1.29 Hz)] 分别与 C-1 (δ_C 207.6)、C-2 (δ_C 54.6) 和 C-3 (δ_C 76.2) 相关; H-2 [δ_H 2.43 (1H, m)] 分别与 C-1 (δ_C 207.6)、C-3 (δ_C 76.2)、C-8 (δ_C 133.0) 和 C-9 (δ_C 154.8) 相关; H-3 [δ_H 4.69 (1H, d, *J* = 3.8 Hz)] 分别与 C-1 (δ_C 207.6)、C-2 (δ_C 54.6)、C-4 (δ_C 124.9)、C-8 (δ_C 133.0)、C-9 (δ_C 154.8) 和 C-10 (δ_C 13.2) 相关; H-4 [δ_H 7.32 (1H, s)] 分别与 C-3 (δ_C 76.2)、C-5 (δ_C 142.0)、C-6 (δ_C 131.6)、C-8 (δ_C 133.0)、C-9 (δ_C 154.8) 和 C-12 (δ_C 20.7) 相关; H-12 [δ_H 2.45 (3H, s)] 分别与 C-4 (δ_C 124.9)、C-5 (δ_C 142.0) 和 C-6 (δ_C 131.6) 相关; H-15 [δ_H 2.60 (3H, s)] 分别与 C-6 (δ_C 131.6)、C-7 (δ_C 146.0) 和 C-8 (δ_C 133.0) 相关。化合物 **1** 的立体构型 (2*S*,3*S*) 通过 NOESY 谱 (图 3)、CD 谱 (图 4)、C-2 与 C-3 的化学位移以及 H-3 的 $^3J_{2,3}$ 偶合常数综合确定: 在 NOESY 谱中, H-10 与 H-3 存在相关信号, 提示 C-2 位甲基与 C-3 位氢位于同一侧; CD 谱在 326 nm 处显示正 Cotton 效应, 表明 C-3 为 *S* 构型[16,17]; 结合 NOESY 结果, 可确定 C-2 也为 *S* 构型。此外, C-2 和 C-3 的化学位移分别为 54.6 和 76.2 ppm, H-3 的 $^3J_{2,3}$ 值为 3.8 Hz, 这些数据与 2*S*,3*S*-pterosin C 相符, 而与 2*R*,3*S*-pterosin C 有明显差异, 进一步验证 C-2 为 *S* [17,18]。综上所述, 化合物 **1** 被鉴定为 (2*S*,3*S*)-2,5,7-trimethyl-3-hydroxy-6-carboxylindan-1-one,

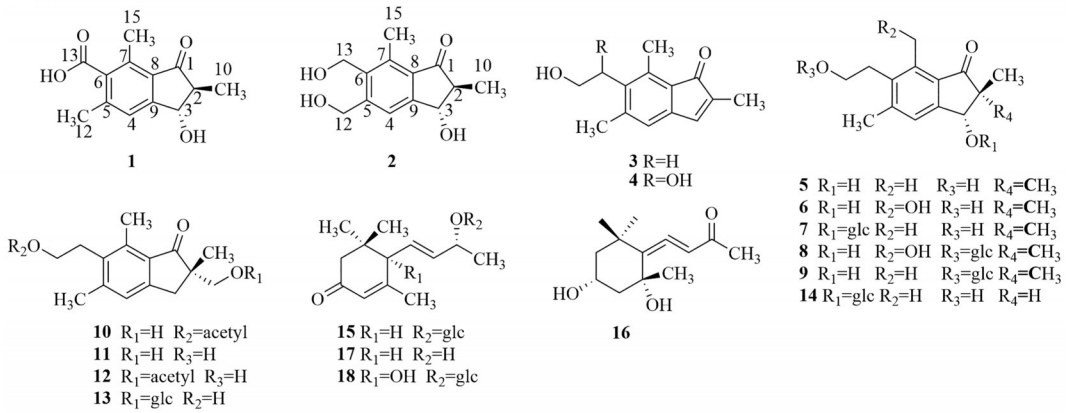


Figure 1 The structures of compounds **1**−**18**

命名为井栏边草酸A。

化合物**2** 淡黄色油状物 (甲醇)。HR-ESI-MS 显示准分子离子峰 *m/z* 237.111 9 $[M+H]^+$, 得出分子式为 $C_{13}H_{16}O_4$, 不饱和度6。UV 显示在215、260、300 nm 处具有蒽素类倍半萜成分特征吸收[15]。^{1}H NMR (表1) 显示: 一个芳香质子 [δ_H 7.69 (1H, s)], 两个甲基信号 [δ_H 2.72 (3H, s), 1.31 (3H, d, *J* = 7.3 Hz)], 两个亚甲基信号 [δ_H 4.86 (2H, s), 4.75 (2H,s)], 以及两个次甲基信号 [δ_H 4.74 (1H, d, *J* = 3.6 Hz), 2.48 (1H, dq, *J* = 3.6, 7.3 Hz)]。结合HSQC谱, ^{13}C NMR (表1) 显示13个碳信号, 包括: 1个酮羰基碳信号 (δ_C 207.2), 6个 sp^2 杂化碳 (δ_C 155.8, 149.0, 138.6, 138.5, 133.1, 122.7), 2个亚甲基 (δ_C 63.0, 57.0), 2个甲基 (δ_C 13.3, 12.9), 以及2个次甲基碳 (δ_C 54.6, 75.7)。上述信息与已知化合物 (2*S*,3*S*)-蒽素T非常相似[12]。主要区别在于, 化合物**2**缺少一个亚甲基碳 (即蒽素T的C-13), 表明该化合物为C_{13}骨架的1H-茚-1-酮倍半萜。HMBC谱 (图2) 进一步证实这一推论: H-13 (δ_H 4.75) 分别与C-5 (δ_C 149.0)、C-6 (δ_C 138.6) 和C-7 (δ_C 138.5) 存在相关信号, 表明该羟甲基连接在C-6位。高分辨质谱结果亦支持上述结论。通过NOESY (图3)、CD谱 (图4)、H-3的 $^3J_{2,3}$ 值及C-2与C-3的化学位移值的综合分析, 确定化合物2的立体构型为2*S*,3*S*。在NOESY谱中, H-10与H-3之间存在相关信号, 表明C-2位上的甲基与C-3位上的氢位于同一侧; CD谱在328 nm处显示正Cotton效应, 指示C-3为*S*构型[16,17]; 结合NOESY结果, 可推断C-2为*S*构型。此外, C-2和C-3的化学位移以及H-3的 $^3J_{2,3}$ 值与 (2*S*,3*S*) 构型相近, 而与 (2*R*,3*S*) 构型明显不同, 从而进一步确认了C-2为*S*构型[17,18]。基于上述分析, 化合物**2**的结构被鉴定为 (2*S*, 3*S*) -2, 7-dimethyl-5, 6-dihydroxymethylindan-1-one, 命名为井栏边草醇A。

Table 1 ^{1}H NMR (600 MHz, MeOH-d_4) and ^{13}C NMR (150 MHz, MeOH-d_4) spectral data of compounds **1** and **2**

No.	1		2	
	δ_H	δ_C	δ_H	δ_C
1	–	207.6	–	207.2
2	2.43 (m)	54.6	2.48 (dq, *J* = 3.6, 7.3, Hz)	54.6
3	4.69 (d, *J* = 3.8, Hz)	76.2	4.74 (d, *J* = 3.6 Hz)	75.7
4	7.32 (s)	124.9	7.69 (s)	122.7
5	–	142.0	–	149.0
6	–	131.6	–	138.6
7	–	146.0	–	138.5
8	–	133.0	–	133.1
9	–	154.8	–	155.8
10	1.29 (d, *J* = 7.7 Hz)	13.3	1.31 (d, *J* = 7.3 Hz)	12.9
11	–	–	–	-
12	2.45 (s)	20.7	4.86 (s)	63.0
13	–	177.6	4.75 (s)	-
14	–	–	–	57.0
15	2.60 (s)	15.5	2.72 (s)	13.3

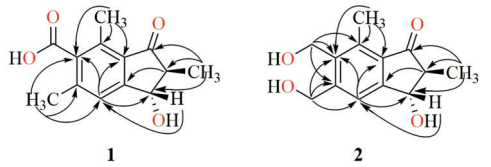


Figure 2 The key HMBC of compounds **1** and **2**

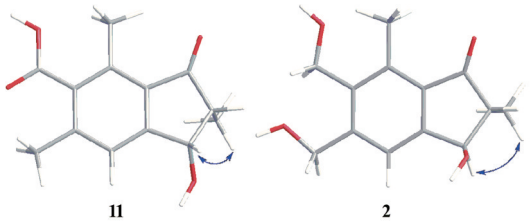


Figure 3 The key NOESY of compounds **1** and **2**

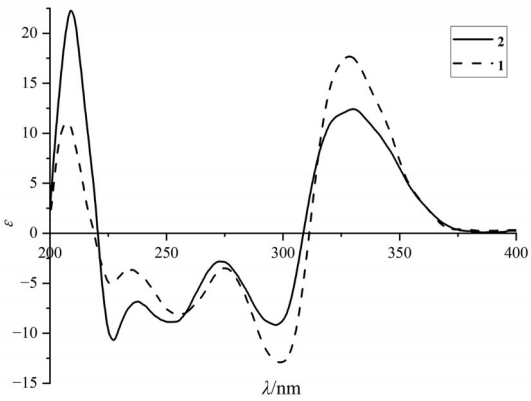


Figure 4 The ECD spectra of compounds **1** and **2**

2 抗炎活性

新化合物**1**和**2**通过体外抑制NO生成实验评估其抗炎活性。为排除细胞毒性对实验结果的干扰, 首先MTT法检测100 μmol·L^{-1}浓度下细胞存活率, 结果显示, 化合物**1**和**2**在此浓度下未表现出明显的细胞毒性。活性评价结果表明, 化合物**1**和**2**抑制NO生成的半数抑制浓度 (IC_{50}) 分别为36.7和61.2 μmol·L^{-1}, 阳性药 *N*-monomethyl-larginine, IC_{50} 值为11.7 μmol·L^{-1}, 提示化合物**1**和**2**具有一定的抗炎活性。

实验部分

Agilent1260高效液相色谱仪 (美国安捷伦公司); LC-100型制备液相色谱仪 (上海伍丰科学仪器有限公司); YMC C18半制备型色谱柱 (250 mm× 10 mm, 5 μm, 日本YMC公司); Sephadex LH-20凝胶 (美国法玛西亚公司); 国产三菱化学吸附树脂凝胶 (75～150 μm; 南京元宝丰制药技术有限公司); 薄层色谱硅胶GF254和柱色谱硅胶 (200～300目, 青岛海洋化工有限公司); ZF-20D型暗箱式紫外分析仪 (上海宝山顾村电光仪器

厂); BS224S型电子天平 (北京赛多利斯仪器系统有限公司); AVANCE III HD 600 MHz型核磁共振波谱仪 (瑞士布鲁克公司); EASY-Nlc1000 LTQ-Orbitrap Elite线性离子阱−串联静电场轨道阱高分辨质谱仪 (美国赛默飞世尔公司); 岛津UV-2550紫外可见分光光度计 (日本岛津公司); J-1500圆二色光谱仪CD (日本JASCO公司)。试剂均为分析纯或色谱纯 (西陇科学股份有限公司); 水为双蒸水。

井栏边草 (*Pteris multifida* Poir.) 全草2021年5月购于中国江西省樟树市, 经江西中医药大学付小梅教授鉴定。凭证标本 (编号PM20210501) 已存放在江西中医药大学中药现代制剂重点实验室。

1 提取与分离

将井栏边草自然阴干全草 (10 kg) 粗粉后, 采用8倍体积80%乙醇回流提取2次, 每次1 h。合并提取液, 减压浓缩, 得到总浸膏1 520.8 g。将上述浸膏加入适量水捏溶制成悬浮液, 依次用石油醚 (PE)、乙酸乙酯 (EA) 进行萃取。合并所有EA萃取液, 减压回收溶剂, 得EA萃取部位791.6 g。

取EA部位 (约790 g) 经MCI柱层析 (5.0 kg, 75～150 μm) 分离, 以乙醇−水 (4∶6～1∶0) 梯度洗脱, 得4个组分Fr.E1～E4。取Fr.E2 (153 g) 进一步进行硅胶柱层析, 以二氯甲烷−甲醇 (30∶1～3∶1) 梯度洗脱, 薄层色谱 (TLC) 检测并合并相似流分, 共获得50个亚组分Fr.E2.1～50。其中, Fr.E2.10 (2.6 g) 经Sephadex LH-20柱色谱 (二氯甲烷−甲醇, 1∶1) 分离, TLC检测后合并得到28个流分Fr.E2.10.1～28。Fr.E2.10.7 (218 mg) 经半制备HPLC (甲醇−水, 65∶35) 分离, 得到化合物**3** (8.1 mg, t_R = 15.4 min)、化合物**11** (7.9 mg, t_R = 19.7 min) 和化合物**13** (11.5 mg, t_R = 10.2 min)。Fr.E2.10.15 (176 mg) 经半制备HPLC (甲醇−水, 64∶36) 分离, 得到化合物**1** (6.6 mg, t_R = 13.9 min) 和化合物**2** (12.3 mg, t_R = 24.8 min)。Fr.E2.10.21 (204 mg) 经半制备HPLC (甲醇−水, 64∶36) 分离, 得到化合物**4** (5.4 mg, t_R = 20.3 min)、化合物**5** (9.2 mg, t_R = 16.4 min) 和**6** (7.0 mg, t_R = 9.5 min)。

Fr.E2.16 (3.3 g) 经Sephadex LH-20柱色谱 (二氯甲烷−甲醇, 1∶1) 分离, TLC检测合并得32个流分Fr.E2.16.1～32。Fr.E2.16.6 (105 mg) 经半制备HPLC (甲醇−水, 60∶40) 分离, 得化合物**16** (5.8 mg, t_R = 14.3 min) 和化合物**17** (7.7 mg, t_R = 20.9 min)。Fr.E2.16.11 (217 mg) 经半制备HPLC (甲醇−水, 58∶42) 分离, 得化合物**12** (4.3 mg, t_R = 25.7 min) 和**10** (7.7 mg, t_R = 13.4 min)。Fr.E2.16.20 (185 mg) 经半制备HPLC (甲醇−水, 56∶44) 分离, 得化合物**7** (6.4 mg, t_R = 18.1 min)、**8** (13.2 mg, t_R = 11.2 min) 和化合物**15** (5.2 mg, t_R = 26.5 min)。Fr.E2.16.29 (101 mg) 经半制备HPLC (甲醇−水, 55∶45) 分离, 得化合物**9** (4.5 mg, t_R = 13.5 min)、化合物**14** (17.5 mg, t_R = 20.4 min) 和化合物**18** (3.9 mg, t_R = 28.0 min)。

2 结构鉴定

化合物**1** 浅黄色粉末 (甲醇), $[\alpha]_D^{20}$ 19.8 (*c* 0.11, MeOH); UV (MeOH, HPLC-DAD) λ_{max}: 218, 260, 300 nm; HR-ESI-MS $[M-H]^-$ *m*/*z*: 233.082 2 (Calcd. 233.081 9), 分子式$C_{13}H_{13}O_4$。^{1}H NMR (600 MHz, MeOH-d_4) 和^{13}C NMR (150 MHz, MeOH-d_4) 数据见表1。

化合物**2** 淡黄色油状物 (甲醇), $[\alpha]_D^{20}$ 12.6 (*c* 0.16, MeOH); UV (MeOH, HPLC-DAD) λ_{max}: 215, 260, 300 nm; HR-ESI-MS $[M+H]^+$ *m*/*z*: 237.111 9 (Calcd. 237.112 1), 分子式$C_{13}H_{17}O_4$。^{1}H NMR (600 MHz, MeOH-d_4) 和^{13}C NMR (150 MHz, MeOH-d_4) 数据见表1。

化合物**3** 淡黄色粉末 (甲醇), ESI-MS *m*/*z*: 217.1 $[M+H]^+$, 分子式$C_{14}H_{16}O_2$。^{1}H NMR (600 MHz, MeOH-d_4) δ_H: 7.07 (1H, d, *J* = 1.9 Hz, H-3), 6.66 (1H, s, H-4), 3.57 (1H, t, *J* = 7.8 Hz, H-14), 2.87 (1H, t, *J* = 7.8 Hz, H-13), 2.49 (3H, s, H-15), 2.30 (3H, s, H-12), 1.77 (3H, d, *J* = 1.9 Hz, H-10); ^{13}C NMR (150 MHz, MeOH-d_4) δ_C: 201.5 (C-1), 123.1 (C-2), 143.3 (C-3), 126.7 (C-4), 143.9 (C-5), 137.3 (C-6), 138.2 (C-7), 136.9 (C-8), 144.9 (C-9), 9.9 (C-10), 20.8 (C-12), 32.9 (C-13), 61.7 (C-14), 13.2 (C-15)。对照文献[19], 鉴定化合物**3**为脱氢蕨素B。

化合物**4** 淡黄色粉末 (甲醇), ESI-MS *m*/*z*: 233.1 $[M+H]^+$, 分子式$C_{14}H_{16}O_3$。^{1}H NMR (600 MHz, MeOH-d_4) δ_H: 7.11 (1H, d, *J* = 1.8 Hz, H-3), 6.69 (1H, s, H-4), 5.20 (1H, dd, *J* = 5.0, 8.5 Hz, H-13), 3.92 (1H, dd, *J* = 8.5, 11.5 Hz, H-14a), 3.62 (1H, dd, *J* = 5.0, 11.5 Hz, H-14b), 2.61 (3H, s, H-15), 2.44 (3H, s, H-12), 1.81 (3H, d, *J* = 1.8 Hz, H-10); ^{13}C NMR (150 MHz, MeOH-d_4) δ_C: 201.3 (C-1), 124.2 (C-2), 142.9 (C-3), 127.0 (C-4), 144.5 (C-5), 137.6 (C-6), 139.4 (C-7), 137.6 (C-8), 145.8 (C-9), 10.0 (C-10), 21.7 (C-12), 72.6 (C-13), 65.6 (C-14), 14.2 (C-15)。对照文献[20], 鉴定化合物**4**为6-(1,2-二羟乙基)-2,5,7-三甲基-1-茚-1-酮。

化合物**5** 淡黄色粉末 (甲醇), ESI-MS *m*/*z*: 249.1 $[M+H]^+$, 分子式$C_{15}H_{20}O_3$。^{1}H NMR (600 MHz, MeOH-d_4) δ_H: 7.34 (1H, s, H-4), 4.73 (1H, s, H-3), 3.60 (2H, t, *J* = 7.7 Hz, H-14), 3.00 (2H, t, *J* = 7.7 Hz, H-13), 2.63 (3H, s, H-15), 2.47 (3H, s, H-12), 1.16 (3H, s, H-11), 1.02 (3H, s, H-10); ^{13}C NMR (150 MHz, MeOH-d_4) δ_C: 211.6 (C-1), 52.4 (C-2), 77.6 (C-3), 126.2 (C-4), 146.3

(C-5), 138.38 (C-6), 138.41 (C-7), 131.2 (C-8), 153.8 (C-9), 23.5 (C-10), 20.7 (C-11), 21.4 (C-12), 33.1 (C-13), 61.6 (C-14), 14.1 (C-15)。对照文献[15], 鉴定化合物**5**为蕨素D。

化合物**6** 淡黄色粉末 (甲醇), ESI-MS *m*/*z*: 265.1 $[M+H]^+$, 分子式$C_{15}H_{20}O_4$。^{1}H NMR (600 MHz, MeOH-d_4) δ_H: 7.41 (1H, s, H-4), 4.97 (1H, d, *J* = 11.9 Hz, H-15a), 4.92 (1H, d, *J* = 11.9 Hz, H-15b), 4.69 (1H, s, H-3), 3.60 (2H, t, *J* = 7.5 Hz, H-14), 3.01 (2H, t, *J* = 7.5 Hz, H-13), 2.41 (3H, s, H-12), 1.17 (3H, s, H-11), 0.96 (3H, s, H-10); ^{13}C NMR (150 MHz, MeOH-d_4) δ_C: 211.6 (C-1), 52.7 (C-2), 77.6 (C-3), 128.3 (C-4), 147.2 (C-5), 139.1 (C-6), 139.9 (C-7), 131.5 (C-8), 154.2 (C-9), 23.3 (C-10), 20.8 (C-11), 21.4 (C-12), 32.7 (C-13), 62.5 (C-14), 57.1 (C-15)。对照文献[21], 鉴定化合物**6**为 (3*R*)-蕨素W。

化合物**7** 淡黄色粉末 (甲醇), ESI-MS *m*/*z*: 411.19 $[M+H]^+$, 分子式$C_{21}H_{30}O_8$。^{1}H NMR (600 MHz, MeOH-d_4) δ_H: 7.44 (1H, s, H-4), 4.75 (1H, s, H-3), 4.48 (1H, d, *J* = 7.8 Hz, H-1′), 3.85 (1H, like d, *J* =11.3 Hz, H-6′a), 3.65 (1H, dd, *J* = 4.9, 11.3 Hz, H-6′b), 3.53 (2H, t, *J* = 7.6 Hz, H-14), 3.19～3.34 (4H, m, H-2′,3′,4′,5′), 2.91 (2H, t, *J* = 7.6 Hz, H-13), 2.54 (3H, s, H-15), 2.39 (3H, s, H-12), 1.19 (3H, s, H-11), 0.99 (3H, s, H-10); ^{13}C NMR (150 MHz, MeOH-d_4) δ_C: 211.4 (C-1), 52.6 (C-2), 86.2 (C-3), 126.8 (C-4), 146.1 (C-5), 138.3 (C-6), 138.6 (C-7), 131.0 (C-8), 151.9 (C-9), 22.9 (C-10), 22.0 (C-11), 21.4 (C-12), 33.1 (C-13), 62.8 (C-14), 14.1 (C-15), 105.6 (C-1′), 75.3 (C-2′), 78.0 (C-3′), 71.7 (C-4′), 78.3 (C-5′), 62.8 (C-6′)。对照文献[15], 鉴定化合物**7**为蕨素D 3-*O*-*β*-*D*-葡萄糖苷。

化合物**8** 白色粉末 (甲醇), ESI-MS *m*/*z*: 427.20 $[M+H]^+$, 分子式$C_{21}H_{30}O_9$。^{1}H NMR (600 MHz, MeOH-d_4) δ_H: 7.52 (1H, s, H-4), 5.09 (1H, d, *J* = 12.0 Hz, H-15a), 5.03 (1H, d, *J* = 12.0 Hz, H-15b), 4.81 (1H, s, H-3), 4.28 (1H, d, *J* = 7.8 Hz, H-1′), 4.05 (1H, m, H-14a), 3.88 (1H, like d, *J* =12.0 Hz, H-6′a), 3.66 (1H, dd, *J* = 5.0, 12.0 Hz, H-6′b), 3.70 (1H, m, H-14b), 3.22～3.37 (4H, m, H-2′,3′,4′,5′), 3.20 (2H, m, H-13), 2.54 (3H, s, H-12), 1.24 (3H, s, H-11), 1.08 (3H, s, H-10); ^{13}C NMR (150 MHz, MeOH-d_4) δ_C: 211.9 (C-1), 52.8 (C-2), 77.6 (C-3), 128.2 (C-4), 147.4 (C-5), 138.6 (C-6), 140.1 (C-7), 131.7 (C-8), 154.5 (C-9), 23.2 (C-10), 21.5 (C-11), 20.9 (C-12), 30.0 (C-13), 62.7 (C-14), 57.8 (C-15), 104.5 (C-1′), 71.6 (C-2′), 77.9 (C-3′), 70.2 (C-4′), 78.0 (C-5′), 62.7 (C-6′)。对照文献[22], 鉴定化合物**8**为 (3*R*)-蕨苷W。

化合物**9** 白色无定形粉末 (甲醇), ESI-MS *m*/*z*: 411.19 $[M+H]^+$, 分子式$C_{21}H_{30}O_8$。^{1}H NMR (600 MHz, MeOH-d_4) δ_H: 7.12 (1H, s, H-4), 4.87 (1H, s, H-3), 4.31 (1H, d, *J* = 7.8 Hz, H-1′), 4.13 (1H, m, H-14a), 3.91 (1H, dd, *J* = 5.0, 12.1 Hz, H-6′a), 3.84 (1H, dd, *J* = 1.9, 12.1 Hz, H-6′b), 3.66 (1H, m, H-14b), 3.25～3.34 (4H, m, H-2′,3′,4′,5′), 3.18 (1H, m, H-13a), 3.09 (1H, m, H-13b), 2.65 (3H, s, H-15), 1.15 (6H, s, H-10,11); ^{13}C NMR (150 MHz, MeOH-d_4) δ_C: 214.5 (C-1), 51.4 (C-2), 75.1 (C-3), 127.0 (C-4), 146.5 (C-5), 136.4 (C-6), 139.3 (C-7), 131.8 (C-8), 153.1 (C-9), 25.8 (C-10), 25.8 (C-11), 21.4 (C-12), 30.1 (C-13), 63.9 (C-14), 13.9 (C-15), 104.4 (C-1′), 71.6 (C-2′), 78.0 (C-3′), 69.2 (C-4′), 79.2 (C-5′), 62.7 (C-6′)。对照文献[23], 鉴定化合物**9**为 (3*R*)-蕨苷D。

化合物**10** 淡黄色无定形粉末 (甲醇), ESI-MS *m*/*z*: 291.16 $[M+H]^+$, 分子式$C_{17}H_{22}O_4$。^{1}H NMR (600 MHz, MeOH-d_4) δ_H: 7.21 (1H, s, H-4), 4.17 (2H, d, *J* = 7.6 Hz, H-14), 3.72 (1H, d, *J* = 10.5 Hz, H-11a), 3.47 (1H, d, *J* = 10.5 Hz, H-11b), 3.26 (1H, d, *J* = 16.9 Hz, H-3a), 3.10 (2H, t, *J* = 7.6 Hz, H-13), 2.75 (1H, d, *J* = 16.9 Hz, H-3b), 2.68 (3H, s, H-15), 2.47 (3H, s, H-12), 2.04 (3H, s, H-2′), 1.10 (3H, s, H-10); ^{13}C NMR (150 MHz, MeOH-d_4) δ_C: 212.8 (C-1), 52.6 (C-2), 37.5 (C-3), 127.1 (C-4), 146.3 (C-5), 135.4 (C-6), 139.0 (C-7), 130.8 (C-8), 154.4 (C-9), 21.3 (C-10), 68.2 (C-11), 21.3 (C-12), 28.7 (C-13), 63.9 (C-14), 13.9 (C-15), 172.8 (C-1′), 20.8 (C-2′)。对照文献[24], 鉴定化合物**10**为14-乙酰基-蕨素A。

化合物**11** 白色无定形粉末 (甲醇), ESI-MS *m*/*z*: 249.15 $[M+H]^+$, 分子式$C_{15}H_{20}O_3$。^{1}H NMR (600 MHz, MeOH-d_4) δ_H: 7.18 (1H, s, H-4), 3.72 (1H, d, *J* = 10.6 Hz, H-11a), 3.63 (2H, t, *J* = 7.7 Hz, H-14), 3.47 (1H, d, *J* = 10.6 Hz, H-11b), 3.25 (1H, d, *J* = 17.0 Hz, H-3a), 3.01 (2H, t, *J* = 7.7 Hz, H-13), 2.73 (1H, d, *J* = 17.0 Hz, H-3b), 2.67 (3H, s, H-15), 2.46 (3H, s, H-12), 1.11 (3H, s, H-10); ^{13}C NMR (150 MHz, MeOH-d_4) δ_C: 212.9 (C-1), 52.6 (C-2), 37.5 (C-3), 126.9 (C-4), 146.2 (C-5), 136.3 (C-6), 138.8 (C-7), 133.1 (C-8), 154.0 (C-9), 21.3 (C-10), 68.3 (C-11), 21.2 (C-12), 32.9 (C-13), 61.7 (C-14), 13.9 (C-15)。对照文献[25], 鉴定化合物**11**为蕨素A。

化合物**12** 浅黄色无定形粉末 (甲醇), ESI-MS *m*/*z*: 291.15 $[M+H]^+$, 分子式$C_{17}H_{22}O_4$。^{1}H NMR (600 MHz, MeOH-d_4) δ_H: 7.20 (1H, s, H-4), 4.18 (1H, d, *J* = 10.7 Hz, H-11a), 4.13 (1H, d, *J* = 10.7 Hz, H-11b), 3.64 (2H, t, *J* = 7.6 Hz, H-14), 3.16 (1H, d, *J* = 16.8 Hz, H-3a),

3.02 (2H, t, *J* = 7.6 Hz, H-13), 2.82 (1H, d, *J* = 16.8 Hz, H-3b), 2.66 (3H, s, H-15), 2.47 (3H, s, H-12), 1.90 (3H, s, H-2′), 1.17 (3H, s, H-10); ^{13}C NMR (150 MHz, MeOH-d_4) δ_C: 210.7 (C-1), 50.2 (C-2), 37.7 (C-3), 127.0 (C-4), 146.6 (C-5), 136.8 (C-6), 139.0 (C-7), 132.4 (C-8), 153.2 (C-9), 21.6 (C-10), 69.6 (C-11), 21.3 (C-12), 32.9 (C-13), 61.7 (C-14), 13.9 (C-15), 172.5 (C-1′), 20.4 (C-2′)。对照文献[26], 鉴定化合物**12**为11-乙酰基-蕨素A。

化合物**13** 浅黄色无定形粉末 (甲醇), ESI-MS *m*/*z*: 411.19 $[M+H]^+$, 分子式$C_{21}H_{30}O_8$。^{1}H NMR (600 MHz, MeOH-d_4) δ_H: 7.07 (1H, s, H-4), 4.11 (1H, d, *J* = 7.9 Hz, H-1′), 4.03 (1H, d, *J* = 9.4 Hz, H-11a), 3.68 (1H, dd, *J* = 1.6, 12.1 Hz, H-glc-6a), 3.51 (3H, m, H-glc-6b, H-14), 3.38 (1H, d, *J* = 9.4 Hz, H-11b), 3.33 (1H, d, *J* = 17.0 Hz, H-3a), 2.93～3.22 (4H, m, H-glc-2, 3, 4, 5), 2.89 (2H, t, *J* = 7.7 Hz, H-13), 2.62 (1H, d, *J* = 17.0 Hz, H-3b), 2.55 (3H, s, H-15), 2.35 (3H, s, H-12), 1.04 (3H, s, H-10); ^{13}C NMR (150 MHz, MeOH-d_4) δ_C: 212.4 (C-1), 51.4 (C-2), 37.5 (C-3), 127.1 (C-4), 146.4 (C-5), 136.4 (C-6), 138.9 (C-7), 132.6 (C-8), 154.1 (C-9), 22.0 (C-10), 75.0 (C-11), 21.3 (C-12), 32.9 (C-13), 61.7 (C-14), 13.9 (C-15), 104.7 (C-1′), 74.9 (C-2′), 77.8 (C-3′), 71.5 (C-4′), 78.1 (C-5′), 62.7 (C-6′)。对照文献[24], 鉴定化合物**13**为蕨素A2。

化合物**14** 白色无定形粉末 (甲醇), ESI-MS *m*/*z*: 397.18 $[M+H]^+$, 分子式$C_{20}H_{28}O_8$。^{1}H NMR (600 MHz, MeOH-d_4) δ_H: 7.56 (1H, s, H-4), 4.79 (1H, d, *J* = 4.0 Hz, H-3), 4.63 (1H, d, *J* = 7.9 Hz, H-1′), 3.93 (1H, d, *J* = 12.1 Hz, H-6′a), 3.75 (1H, dd, *J* = 3.8, 12.1 Hz, H-6′b), 3.63 (2H, t, *J* = 7.9 Hz, H-14), 3.26～3.47 (4H, m, H-2′, 3′,4′,5′), 3.02 (2H, t, *J* = 7.9 Hz, H-13), 2.76 (1H, m, H-2), 2.66 (3H, s, H-15), 2.49 (3H, s, H-12), 1.35 (3H, s, H-10); ^{13}C NMR (150 MHz, MeOH-d_4) δ_C: 208.3 (C-1), 53.0 (C-2), 84.9 (C-3), 126.9 (C-4), 146.2 (C-5), 137.8 (C-6), 138.7 (C-7), 132.5 (C-8), 152.1 (C-9), 14.0 (C-10), 21.3 (C-12), 33.1 (C-13), 61.6 (C-14), 14.0 (C-15), 105.5 (C-1′), 75.3 (C-2′), 78.0 (C-3′), 71.4 (C-4′), 78.1 (C-5′), 62.6 (C-6′)。对照文献[12], 鉴定化合物**14**为 (2*S*, 3*S*)-蕨素C 3-*O*-*β*-*D*-葡萄糖苷。

化合物**15** 浅黄色粉末 (甲醇), ESI-MS *m*/*z*: 371.21 $[M+H]^+$, 分子式$C_{19}H_{30}O_7$。^{1}H NMR (600 MHz, MeOH-d_4) δ_H: 5.90 (1H, s, H-4), 5.78 (1H, dd, *J* = 6.5, 15.4 Hz, H-8), 5.65 (1H, dd, *J* = 9.3, 15.4 Hz, H-7), 4.38 (1H, m, H-9), 4.36 (1H, d, *J* = 7.9 Hz, H-1′), 3.83 (1H, dd, *J* = 2.4, 12.0 Hz, H-6′a), 3.68 (3H, dd, *J* = 5.4, 12.0 Hz, H-6′b), 3.17～3.37 (4H, m, H-2′,3′,4′,5′), 2.69 (1H, d, *J* = 9.3 Hz, H-6), 2.44 (1H, d, *J* = 16.7 Hz, H-2a), 2.06 (1H, d, *J* = 16.7 Hz, H-2b), 1.98 (3H, s, H-13), 1.32 (3H, d, *J* = 6.4 Hz, H-10), 1.05 (3H, s, H-11), 0.99 (3H, s, H-12); ^{13}C NMR (150 MHz, MeOH-d_4) δ_C: 37.2 (C-1), 48.6 (C-2), 202.1 (C-3), 126.1 (C-4), 166.0 (C-5), 56.8 (C-6), 128.9 (C-7), 138.4 (C-8), 76.9 (C-9), 21.1 (C-10), 27.4 (C-11), 28.0 (C-12), 23.9 (C-13), 102.5 (C-1′), 75.3 (C-2′), 78.0 (C-3′), 71.5 (C-4′), 78.1 (C-5′), 62.6 (C-6′)。对照文献[27], 鉴定化合物**15**为dearabinosyl pneumonanthoside。

化合物**16** 浅黄色粉末 (甲醇), ESI-MS *m*/*z*: 225.15 $[M+H]^+$, 分子式$C_{13}H_{20}O_3$。^{1}H NMR (600 MHz, MeOH-d_4) δ_H: 5.85 (1H, s, H-8), 4.23 (1H, m, H-3), 2.22 (1H, m, H-4a), 2.21 (3H, s, H-10), 1.95 (1H, m, H-2a), 1.43 (1H, m, H-2b), 1.39 (6H, s, H-12,13), 1.36 (1H, m, H-4b), 1.17 (3H, s, H-11); ^{13}C NMR (150 MHz, MeOH-d_4) δ_C: 37.0 (C-1), 50.0 (C-2), 64.4 (C-3), 49.7 (C-4), 72.4 (C-5), 120.0 (C-6), 211.5 (C-7), 101.1 (C-8), 200.8 (C-9), 26.5 (C-10), 29.3 (C-11), 32.3 (C-12), 30.8 (C-13)。对照文献[28], 鉴定化合物**16**为蚱蜢酮。

化合物**17** 浅黄色粉末 (甲醇), ESI-MS *m*/*z*: 225.15 $[M+H]^+$, 分子式$C_{13}H_{20}O_3$。^{1}H NMR (600 MHz, MeOH-d_4) δ_H: 5.88 (m, 1H, H-4), 5.80 (d, *J* = 4.8 Hz, 1H, H-8), 5.79 (s, 1H, H-7), 4.32 (qd, *J* = 6.4, 4.8 Hz, 1H, H-9), 2.48 (d, *J* = 16.9 Hz, 1H, H-2a), 2.16 (d, *J* = 16.9 Hz, 1H, H-2b), 1.91 (d, *J* = 1.4 Hz, 3H, H-13), 1.24 (d, *J* = 6.5 Hz, 3H, H-10), 1.04 (s, 3H, H-11), 1.02 (s, 3H, H-12)。^{13}C NMR (150 MHz, MeOH-d_4) δ_C: 42.4 (C-1), 50.7 (C-2), 201.2 (C-3), 127.1 (C-4), 136.9 (C-7), 130.0 (C-8), 68.6 (C-9), 24.5 (C-10), 23.4 (C-11), 23.8 (C-12), 19.6 (C-13)。对照文献[29], 鉴定化合物**17**为吐叶醇。

化合物**18** 白色固体 (甲醇), ESI-MS *m*/*z*: 387.20 $[M+H]^+$, 分子式为$C_{19}H_{30}O_8$。^{1}H NMR (600 MHz, MeOH-d_4) δ_H: 5.87 (1H, m, H-4), 5.86 (2H, d, *J* = 4.3 Hz, H-7, 8), 4.46 (1H, m, H-9), 4.34 (1H, d, *J* = 7.8 Hz, H-1′), 3.85 (1H, dd, *J* = 11.8, 2.1 Hz, H-6′a), 3.63 (1H, dd, *J* = 11.7, 5.4 Hz, H-6′b), 3.29～3.22 (3H, m, H-3′,4′,5′), 3.17 (1H, dd, *J* = 9.2, 7.8 Hz, H-2′), 2.52 (1H, d, *J* = 16.9 Hz, H-2a), 2.15 (1H, d, *J* = 17.0 Hz, H-2b), 1.92 (3H, d, *J* = 1.4 Hz, H-13), 1.29 (3H, d, *J* = 6.4 Hz, H-10), 1.04 (3H, s, H-12), 1.03 (s, 3H, H-11)。^{13}C NMR (150 MHz, MeOH-d_4) δ_C: 42.4 (C-1), 50.7 (C-2), 201.2 (C-3), 127.2 (C-4), 167.2 (C-5), 80.0 (C-6), 131.5 (C-7),

135.3 (C-8), 77.3 (C-9), 21.2 (C-10), 23.4 (C-11), 24.7 (C-12), 19.6 (C-13), 102.7 (C-1′), 75.2 (C-2′), 78.0 (C-3′), 71.6 (C-4′), 78.1 (C-5′), 62.8 (C-6′)。对照文献[30], 确定化合物**18**为长寿花糖甙I。

3 抗炎活性实验

参照文献[31]方法, 以小鼠巨噬细胞RAW264.7为模型, 通过检测NO生成量评价新化合物**1**和**2**的抗炎活性。简要实验步骤如下: 用含10%胎牛血清的培养液配制浓度约2×10^5个/100 μL的单个小鼠巨噬细胞悬液, 取100 μL置于96孔板。预孵育24 h后, 每孔分别加入最高浓度为100 μmol·L^{-1}的受试化合物 (梯度稀释为50、25、12.5和6.25 μmol·L^{-1}) 以及1 μg·mL^{-1}的LPS。37 ℃培养18 h后, 取100 μL经LPS或受试化合物处理后的细胞上清液 (每组设3个复孔), 加入100 μL Griess试剂A和B, 继续孵育5 min。在570 nm波长处测定吸光度 (*A*) 值, 并以浓度为横坐标 (*X*), NO抑制率为纵坐标 (*Y*) 绘制曲线, 计算化合物的IC_{50}值。

作者贡献: 彭财英负责提取、分离及初稿撰写; 潘小军负责抗炎生物活性测定相关实验; 刘建群参与样品的提取、负责核磁谱图分析及数据归属; 黄慧莲为本文的共同通讯作者, 负责数据分析、参与实验设计和稿件修改; 舒积成为本文通讯作者, 负责实验设计, 提供本文思路, 结构鉴定, 文章修改与定稿。

利益冲突: 本文不存在任何利益冲突。

References

[1] Ou L. Progress in study of Huguenot fern herb of Chinese herb [J]. Guiding J Tradit Chin Med Pharm (中医药导报), 2008, 4: 92-93.

[2] Chinese Flora Commission. Flora of China (中国植物志) [M]. Vol 3. Beijing: Science Press, 1990: 41.

[3] Gao YP, Wu Q, Zhang YM, et al. Research progress on chemical compositions and pharmacological activities of *Pteris multifida* [J]. J Anhui Agric Sci (安徽农业科学), 2017, 45: 126-130.

[4] Harinantenaina L, Matsunami K, Otsuka H. Chemical and biological active constituents of *Pteris multifida* [J]. J Nat Med, 2008, 62: 452-455.

[5] Son HL. *In vitro* antioxidant and anticancer properties of active compounds from methanolic extract of *Pteris multifida* Poir. leaves [J]. Eur J Med Plants, 2014, 4: 292-302.

[6] Kim JW, Seo JY, Oh WK, et al. Anti-neuroinflammatory *ent*-kaurane diterpenoids from *Pteris multifida* roots [J]. Molecules, 2017, 22: 27.

[7] Yin M, Chang C, Su C, et al. *Pteris multifida*, Cortex phellodendri, and probiotics attenuated inflammatory status and immunity in mice with a *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium* infection [J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2018, 82: 836-847.

[8] Wang Z, Wang L, Qian J, et al. Tracking antibacterial components of *Pteris multifda* Poir and its antibacterial mechanism [J]. J Med Plants Res, 2022, 16: 188-195.

[9] Lu W, Wang S, Xiong Y, et al. Three new flavonoid glycosides isolated from *Pteridum aquilinum* [J]. Nat Prod Res, 2025, 39: 2489-2497.

[10] Xiong Y, Yan Y, Xie A, et al. Two new illudalne sesquiterpenoids from *Pteris semipinnata* [J]. Chem Nat Compd, 2024, 60: 454-458.

[11] Peng C, Lu J, Liu J, et al. Three novel pterosin dimers from *Pteris obtusiloba* [J]. Fitoterapia, 2020, 146: 104713.

[12] Lu J, Peng CY, Pan LL, et al. Isolation and identification of chemical constituents of C14 pterosins from *Pteris cretica* [J]. Chin Tradit Herb Drugs (中草药), 2020, 51: 925-931.

[13] Lu J, Peng C, Cheng S, et al. Four new pterosins from *Pteris cretica* and their cytotoxic activities [J]. Molecules, 2019, 24: 2767.

[14] Shu J, Liu J, Zhong Y, et al. Two new pterosins sesuqiterpenes from *Pteris multifida* Poir [J]. Phytochem Lett, 2012, 5: 276-279.

[15] Kuraishi T, Murakami T, Taniguchi T, et al. Chemical and chemotaxonomical studies of ferns. LIV. Pterosin derivatives of the genus *Microlepia* (Pteridaceae) [J]. Chem Pharm Bull, 1985, 33: 2305-2312.

[16] Kuroyanagi M, Fukuoka M, Yoshihira K, et al. Circular dichroism and conformations of pterosins, 1-indanone derivatives from Bracken [J]. Chem Pharm Bull, 1979, 27: 731-741.

[17] Uddin SJ, Jason TLH, Beattie KD, et al. (2*S*, 3*S*) -Sulfated pterosin C, a cytotoxic sesquiterpene from the Bangladeshi mangrove fern *Acrostichum aureum* [J]. J Nat Prod, 2011, 74: 2010-2013.

[18] Peng CY, Lei ZQ, Lu J, et al. Research progress on the structure and NMR spectral characteristics of natural pterosins [J]. Chin Tradit Pat Med (中成药), 2022, 44: 3608-3613.

[19] Ouyang DW, Ni X, Xu HY, et al. Pterosins from *Pteris multifida* [J]. Planta Med, 2010, 76: 1896-1900.

[20] Murakami T, Tanaka N, Chen CM. Weitere inhaltsstoffe aus *Pteris oshimensis Hieron* [J]. Chem Pharm Bull, 1975, 23: 1890-1892.

[21] Kim JW, Kim HP, Sung SH. Cytotoxic pterosins from *Pteris multifida* roots against HCT-116 human colon cancer cells [J]. Bioorg Med Chem Lett, 2017, 27: 3144-3147.

[22] Murakami T, Taguchi S, Nomura Y, et al. Chemical and chemotaxonomic studies on the genus *Pteris* and related genera (Pteridaceae). XII. Additional indan-1-one derivatives of the genus *Pteris* [J]. Chem Pharm Bull, 1976, 24: 1961-1964.

[23] Mohammad RH, Nur-E-Alam M, Lahmann M, et al. Isolation and characterisation of 13 pterosins and pterosides from bracken (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) rhizome [J]. Phytochemistry, 2016, 128: 82-94.

[24] Castillo UF, Wilkins AL, Lauren DR, et al. Pteroside A2-a new

illudane-type sesquiterpene glucoside from *Pteridium caudatum* L. Maxon, and the spectrometric characterization of caudatodienone [J]. J Agric Food Chem, 2003, 51: 2559-2564.

[25] Nord CL, Menkis A, Broberg A. Cytotoxic illudalane sesquiterpenes from the wood-decay fungus *Granulobasidium vellereum* (Ellis & Cragin) Jülich [J]. Molecules, 2014, 19: 14195-14203.

[26] Fukuoka M, Kuroyanagi M, Yoshihira K, et al. Chemical and toxicological studies on bracken fern, *Pteridium aquilinum* var. *latiusculum* II. Structures of pterosins, sesquiterpenes having 1-indanone skeleton [J]. Chem Pharm Bull, 1978, 26: 2365-2385.

[27] Champavier Y, Comte G, Vercauteren J, et al. Norterpenoid and sesquiterpenoid glucosides from *Juniperus phoenicea* and *Galega officinalis* [J]. Phytochemistry, 1999, 50: 1219-1223.

[28] Han ZT, Guo M, Yuan YY, et al. Study on the anti-inflammatory activity of five carotene degradation productsin *Undaria pinnatifida* [J]. Chin J Mar Drugs (中国海洋药物), 2025, 44: 22-30.

[29] Yang JQ, He WJ, Tan NH, et al. Chemical constituents of *Pedicularis cephalantha* Franch and *P. siphonantha* Don [J]. Nat Prod Res Dev (天然产物研究与开发), 2009, 21: 600-603.

[30] Otsuka H, Yao M, Kamada K, et al. Alangionosides G−M: Glycosides of megastigmane derivatives from the leaves of *Alangium premnifolium* [J]. Chem Pharm Bull, 1995, 43: 754-759.

[31] Huang WM, Ying P, Xu WJ, et al. Eleven new neolignans from *Magnolia officinalis* var. *biloba* in Lishui and their anti-inflammatory activities [J]. Acta Pharm Sin (药学学报), 2026, 61: 1327-1335.