

## 鬼箭羽化学成分研究

王奕航<sup>1</sup>, 杜雨璇<sup>2</sup>, 郭鑫鑫<sup>2</sup>, 张效威<sup>1</sup>, 薛贵民<sup>2\*</sup>, 王 潘<sup>1</sup>, 徐江雁<sup>1\*</sup>

1. 河南中医药大学中医药科学院, 河南 郑州 450046

2. 河南中医药大学药学院, 河南 郑州 450046

**摘要:** 目的 研究鬼箭羽(卫矛 *Euonymus alatus* 带栓翅的枝条)的化学成分。方法 采用正反相硅胶、Sephadex LH-20 和高效液相等色谱等方法进行分离纯化, 并运用 NMR、MS、X-Ray 等技术鉴定所得化合物的结构, 采用 CCK-8 法评价化合物改善足细胞损伤作用。结果 从鬼箭羽 95%乙醇提取物的二氯甲烷部位中分离纯化得到 6 个化合物, 分别鉴定为 3 $\beta$ -hydroxy-24-norhopa-4(23) (1)、乙酰乌索酸 (2)、齐墩果酮酸 (3)、foliasalaci A4 (4)、白桦脂酮酸 (5)、乌苏酸内酯 (6)。且化合物 1 对糖基化终末产物 (advanced glycation end products, AGEs) 诱导的 MPC5 细胞损伤有明显的改善作用。结论 化合物 1 为新化合物, 命名为 2,4-降白桦脂醇; 其余化合物则均为首次从该植物及该属植物中分离得到。化合物 1 显示出抗足细胞损伤作用, 且具有浓度相关性。

**关键词:** 鬼箭羽; 三萜化合物; 白桦脂醇; 足细胞; MPC5 细胞; 2,4-降白桦脂醇; 乙酰乌索酸; 白桦脂酮酸

中图分类号: R284.1 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2026)07-2463-06

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.07.003

## Chemical composition of *Euonymus alatus*

WANG Yihang<sup>1</sup>, DU Yuxuan<sup>2</sup>, GUO Xinxin<sup>2</sup>, ZHANG Xiaowei<sup>1</sup>, XUE Guimin<sup>2</sup>, WANG Pan<sup>1</sup>, XU Jiangyan<sup>1</sup>

1. School of Chinese Medicine, Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, China

2. School of Pharmacy, Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, China

**Abstract Objective** To investigate the chemical constituents of *Euonymus alatus*. **Methods** Separation and purification were performed using normal- and reversed-phase silica gel, Sephadex LH-20, and high-performance liquid chromatography. The structures of the obtained compounds were identified using NMR, MS, and X-Ray techniques. The protective effect of the compound against podocyte injury was evaluated using the CCK-8 assay. **Results** Six compounds were isolated and purified from the dichloromethane fraction of the 95% ethanol extract of *E. alatus*, namely 3 $\beta$ -hydroxy-24-norhopa-4(23) (1), acetyl ursolic acid (2), betulinic acid (3), foliasalaci A4 (4), betulonic acid (5), and ursolic acid lactone (6). Moreover, compound 1 has a significant protective effect against MPC5 cell damage induced by advanced glycation end-products (AGEs). **Conclusion** Compound 1 is a new compound, named 2,4-dehydrowhite birch resinol. All the other compounds were isolated from this plant and plants of the same genus. Compound 1 exhibits anti-podocyte injury activity in a concentration-dependent manner.

**Key words:** *Epimedium alatus* (Thunb.) Siebold; triterpenoid; betulin; podocytes; MPC5 cells; 2,4-dehydrowhite birch resinol; acetyl ursolic acid; betulonic acid

鬼箭羽是卫矛科卫矛属植物卫矛 *Euonymus alatus* (Thunb.) Siebold 的具翅状物的枝条或翅状附属物,《神农本草经》位中品,称之“卫矛”,性味苦,寒,入肝、脾经<sup>[1]</sup>,具有活血通络、破血消癥、

解毒杀虫之功效,可破陈瘀败血、散血中癥瘕<sup>[2]</sup>。鬼箭羽中化学成分丰富多样,包括萜类、黄酮类、木脂素类等结构类型,具有改善肾脏疾病、降血糖、抗病毒、抗肿瘤、保肝、抗炎、抗氧化等多种药理

收稿日期: 2025-12-06

基金项目: 国家重点研发计划资助项目 (2020YFE0201800); 国家自然科学基金面上项目 (82474495); 河南省高校科技创新人才 (24HASTIT072)

作者简介: 王奕航, 硕士研究生, 研究方向为天然产物分离。E-mail: 2330937453@qq.com

\*通信作者: 薛贵民, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为中药药效物质基础。E-mail: xueguimin123@126.com

徐江雁, 教授, 博士生导师, 研究方向为中医医史文献。E-mail: xujianyan2008@163.com

作用<sup>[3]</sup>。目前,鬼箭羽改善血糖及其并发症的研究基本以鬼箭羽粗提物为主,对其化学成分研究少之甚少,其发挥药效的物质基础尚不明确,为了更好地阐明其化学成分组成和药理药效基础,本实验对鬼箭羽化学成分进行了相关研究。采用正相硅胶柱色谱、ODS反相柱色谱、凝胶柱色谱以及高效液相制备等色谱学方法对鬼箭羽进行分离纯化以获得单体化合物,并运用NMR、UV、XRD、MS波谱学技术,对分离得到的化合物进行结构鉴定,得到了6个化合物,其分别鉴定为3 $\beta$ -hydroxy-24-norhopa-4(23) (**1**)、乙酰乌索酸(acetyl ursolic acid, **2**)、齐墩果酮酸(betulinic acid, **3**)、foliosalaci A4 (**4**)、白桦脂酮酸(betulonic acid, **5**)、乌苏酸内酯(ursolic acid lactone, **6**)。其中,化合物**1**为新的倍半萜类化合物,命名为2,4-降白桦脂醇;化合物**2**~**6**为首次从该植物中分离得到。通过CCK-8法对化合物**1**进行糖尿病肾病(diabetic kidney disease, DKD)活性评价,旨在探究鬼箭羽中能够发挥潜在抗DKD作用的单体活性成分。

## 1 仪器与材料

### 1.1 试剂与仪器

ODS分析柱(250 mm $\times$ 4.6 mm, 5  $\mu$ m, 日本YMC公司); ODS制备柱(250 mm $\times$ 10 mm, 5  $\mu$ m, 日本YMC公司); 反相柱色谱填料(50  $\mu$ m, 日本YMC公司); 正相柱色谱填料(中国青岛海洋化工公司); Sephadex LH-20 (GlpBio-GE公司, 美国); TCL薄层板-HSGF<sub>254</sub>(烟台江友硅胶公司); 工业级乙醇(新乡市三伟消毒制剂有限公司); 分析纯甲醇、二氯甲烷、四氢呋喃、石油醚、醋酸乙酯试剂(中国天津富宇精细化工有限公司); 色谱级甲醇、色谱级乙腈(安徽天地高纯有限公司); 色谱级四氢呋喃(天津市康科德科技有限公司); 冰醋酸(上海麦克林生化科技有限公司); Agilent 1260系列分析及半制备液相(美国安捷伦公司); AVANCE III 500M NMR型核磁共振波谱仪(德国布鲁克公司); R-100型旋转蒸发仪(瑞士BUCHI有限公司); Evolution-201型紫外可见分光光度计(赛默飞世尔科技有限公司, 美国); DLSB-5L/20型低温冷却液循环泵(河南予华仪器有限公司); MPC 5100型高精度数字旋光仪(安东帕公司, 奥地利); EClassical-P3700型半制备液相色谱(大连依利特分析仪器有限公司); AL204型万分之一天平(梅特勒-托利多公司, 瑞士); XtaLAB Synergy型单晶衍射仪(北

京理化赛思科技有限公司); AB SCIEX三重TOF 5600系统型质谱仪(美国AB SCIEX公司); Series II Water Jackxet型CO<sub>2</sub>细胞培养箱(美国Thermo Fisher Scientific公司); SpectraMax iD5多功能酶标仪(美国美谷分子仪器有限公司); Eclipset S100型倒置显微镜(日本Nikon公司); 低糖DMEM培养基(美国Sigma公司, 美国); DMEM/F-12培养基(美国Sigma公司); F-12培养基1640基础培养基(美国Gibco公司); 胎牛血清(苏州依科赛生物科技股份有限公司); 96孔板、培养皿(美国NEST有限公司);  $\gamma$ -干扰素(美国Pepro Tech公司); 糖基化终末期产物-牛血清蛋白(英国Abcam公司); DMSO(美国Sigma公司); PBS缓冲液(武汉Servicebio有限公司); CCK-8试剂(上海翊圣生物科技有限公司); 青链霉素混合液(上海拜力生物科技有限公司)。

### 1.2 药材与细胞

本实验药材于2021年采购于亳州寿安堂药业有限公司,经河南中医药大学谢治深教授鉴定,确定其为卫矛科卫矛属植物卫矛的具翅状物的枝条或翅状附属物鬼箭羽*E. alatus* (Thunb.) Siebold。样品标本(GJY2021)存放在河南中医药大学中药药效物质基础实验室BN725。

小鼠肾足细胞MPC-5受赠于河南中医药大学BN719药理室。

## 2 提取、分离与纯化

取干燥的中药材鬼箭羽10 kg, 95%乙醇(5 L)室温浸提3次(依次为7、5、3 d),提取液滤过合并后,减压浓缩得到鬼箭羽粗提物243.8 g,用适量蒸馏水混悬,依次用石油醚、二氯甲烷和醋酸乙酯萃取3次(3.6 L/次),减压浓缩得二氯甲烷部位133.4 g。

二氯甲烷萃取物通过正相硅胶柱色谱(二氯甲烷-甲醇100:0~5:1),利用薄层色谱法(TLC)分成7流分(D1~D7),其中D2采用正相硅胶柱色谱(石油醚-醋酸乙酯100:0~1:1)依据TLC将其分为11个部分(D2.1~D2.11),D2.10通过ODS反相柱色谱得到9个流分(D2.10.1~D2.10.9)。D2.10.5经过半制备液相色谱(乙腈-酸水89:11)得到化合物**1**(10.3 mg,  $t_R=17.5$  min)。D2.7经过ODS、重结晶、凝胶、半制备(甲醇-酸水93:7)得到化合物**2**(8.0 mg)、**5**(7.4 mg,  $t_R=38$  min)。D2.9(1 g)通过ODS反相柱色谱洗脱得到6个部

分 (D2.9.1~D2.9.6), 选取 D2.9.6 通过半制备高效液相色谱 (甲醇-酸水 96:4), 得到化合物 **3** (11.0 mg,  $t_R=30$  min)、**4** (311 mg,  $t_R=35$  min)。D2.10 通过 ODS 反相柱色谱得到 9 个流分 (D2.10.1~D2.10.9), D2.10.5 经过半制备效液相色谱 (乙腈-酸水 89:11) 得到化合物 **6** (9.6 mg,  $t_R=19$  min)。

### 3 结果

#### 3.1 结构鉴定

化合物 **1**: 白色晶体 (醋酸乙酯-甲醇 2:1)。HR-ESI-MS 显示有阳性离子  $m/z$  427.357 1  $[M+H]^+$  ( $C_{29}H_{47}O_2$  的计算值 427.357 3), 结合  $^1H$ -NMR 谱和  $^{13}C$ -NMR 谱 (表 1) 推测该化合物的分子式为  $C_{29}H_{46}O_2$ , 不饱和度为 7,  $UV \lambda_{max}^{MeOH}$  (nm): 201 (3.46)。 $^1H$ -NMR (500 MHz,  $CDCl_3$ ) 谱中发现有 4 个甲基质子信号 [ $\delta_H$  0.63 (3H, s), 1.00 (3H, s), 1.05 (3H, s), 1.69 (3H, s)], 2 对环外双键信号 [ $\delta_H$  4.98 (1H, s), 4.63 (1H, s), 4.69 (1H, s), 4.58 (1H, s)], 1 个亚甲基质子信号 [ $\delta_H$  3.80 (1H, d,  $J=10.8$  Hz), 3.34 (1H, d,  $J=10.8$  Hz)], 1 个次甲基质子信号 [ $\delta_H$  2.39 (1H, td,  $J=11.0, 5.8$  Hz)];  $^{13}C$ -NMR (125 MHz,  $CDCl_3$ ) 谱显示有 29 个碳信号, DEPT 谱中显示有 4 个甲基碳、13 个亚甲基碳、7 个次甲基碳和 3 个季碳, 提示 **1** 可能是降三萜类化合物<sup>[4]</sup>。其中红外数据显示 3 366.74 (br, O-H 伸缩振动), 3 071.88 (w, 烯烃 C-H 伸缩振动), 2 936.86 和 2 871.09 (C-H 不对称与对称伸缩振动, 烷基), 1 644.69 (C=C 伸缩振动, 环外双键), 1 452.91 和 1 374.19 (C-H 弯曲振动, 甲基/亚甲基), 1 347.85 (O-H 面内弯曲或 C-O 伸缩), 1 261.40、1 143.11、1 109.11 (指纹区吸收, 归属于 C-O 伸缩及骨架振动)。以上 IR 数据与三萜类化合物的结构特征相符, 进一步证实了该化合物分子中存在羟基、环外双键以及多个甲基、亚甲基基团<sup>[5-6]</sup>。结合 HSQC 数据确认有 4 个甲基碳 ( $\delta_C$  19.2, 16.0, 14.7, 13.8), 13 个亚甲基碳 ( $\delta_C$  38.6, 32.8, 21.4, 32.7, 21.8, 25.4, 27.1, 29.3, 29.9, 34.1, 102.0, 60.7, 109.9), 7 个次甲基碳 ( $\delta_C$  73.3, 50.5, 48.3, 37.4, 47.9, 48.9), 5 个季碳 ( $\delta_C$  153.3, 41.1, 39.2, 43.0, 47.9, 150.6) 前后碳的位移值统一, 以上  $^1H$ -NMR 和  $^{13}C$ -NMR 光谱数据与已知的白桦脂醇<sup>[7]</sup>数据非常相似, 不同之处在于白桦脂醇的 4 位上的缺失 2 个甲基信号, 增加 1 个环外双键信号 ( $\delta_H$  4.98 s, 4.63 s,  $\delta_C$  102.0)。根据二维图谱 ( $^1H$ - $^1H$  COSY、HMBC) 核磁数据的分析证实了化合物 **1** 的平面结构 (图 1)。

表 1 化合物 **1** 的  $^1H$ -NMR 和  $^{13}C$ -NMR 数据归属 ( $CDCl_3$ )

Table 1  $^1H$ -NMR and  $^{13}C$ -NMR data assignments of compound **1** ( $CDCl_3$ )

碳位	$\delta_C$	$\delta_H$
1	38.6	1.74 (m), 1.08 (m)
2	32.8	1.96 (m)
3	73.3	3.98 (dd, $J=11.6, 5.8$ Hz)
4	153.3	
5	50.5	1.54 (m)
6	21.4	1.54 (m), 1.45 (m)
7	32.7	1.42 (m)
8	41.1	
9	48.3	1.43 (m)
10	39.2	
11	21.8	1.45 (m), 1.24 (m)
12	25.4	1.65 (m), 1.08 (m)
13	37.4	1.67 (m)
14	43.0	
15	27.1	1.71 (m), 1.08 (m)
16	29.3	1.94 (m), 1.23 (m)
17	47.9	
18	48.9	1.59 (t, $J=11.8$ Hz)
19	47.9	2.39 (td, $J=11.1, 5.8$ Hz)
20	150.6	
21	29.9	1.96 (m), 1.41 (m)
22	34.1	1.86 (dd, $J=12.3, 8.4$ Hz), 1.04 (m)
23	102.0	4.98 (s), 4.63 (s)
25	13.8	0.63 (s)
26	16.0	1.05 (s)
27	14.7	1.00 (s)
28	60.7	3.80 (d, $J=10.8$ Hz), 3.34 (d, $J=10.8$ Hz)
29	109.9	4.69 (s), 4.58 (s)
30	19.2	1.69 (s)

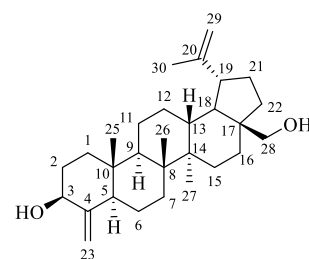
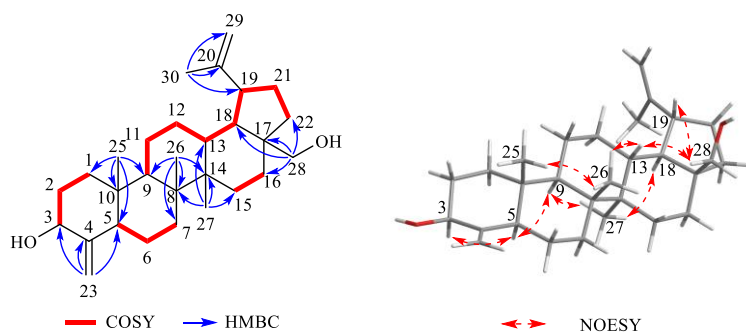


图 1 化合物 **1** 的结构式

Fig. 1 Structural formula of compound **1**

根据  $^1H$ - $^1H$  COSY 谱中  $H_2-2$  与  $H_b-1$ 、 $H-3$  相关;  $H_b-6$  与  $H-5$ 、 $H_2-7$  相关;  $H_b-15$  与  $H_a-16$  相关; 从  $H-9$  出发依次可以依次找到  $H_b-11$ 、 $H_b-12$ 、 $H-13$ 、 $H-18$ 、 $H-19$ 、 $H_b-21$ 、 $H_b-22$ , 得到如图 2 中所示 4

图2 化合物1的<sup>1</sup>H-<sup>1</sup>H COSY、HMBC和NOESY相关信号Fig. 2 <sup>1</sup>H-<sup>1</sup>H COSY, HMBC, and NOESY correlation signals of compound 1

个自旋偶合体系。

HMBC谱中H<sub>a</sub>-23与C-3、C-4、C-5、H<sub>3</sub>-30与C-19、C-20、C-29的关键相关信号可以确定2个末端烯键的位置以及3号碳为连氧次甲基碳。H<sub>a</sub>-28和H<sub>b</sub>-28均与C-16、C-17、C-18的HMBC相关信号可以确定28号碳为连氧亚甲基碳。此外H<sub>3</sub>-25与C-1、C-5、C-9、C-10相关，H<sub>3</sub>-26与C-7、C-8、C-9、C-14相关，H<sub>3</sub>-27与C-8、C-13、C-14、C-15相关，结合COSY相关信号推导的结构片段，确定该化合物的平面结构如图1所示。

NOESY谱中H-5与H-3、H-9相关，H<sub>3</sub>-27与H-9、H-18相关，证明H-3、H-5、H-9、H-18和27号甲基处于分子同侧的直立键上，定义为α-朝向。H<sub>3</sub>-26与H<sub>3</sub>-25、H-13相关，H<sub>3</sub>-28与H-13和H-19相关，表明H-13、H-19和25、26、28号甲基处于分子另一侧(β-朝向)。至此，该化合物的相对构型确定如图1所示。

从培养溶剂(醋酸乙酯-甲醇)中获得了化合物1的单晶，经X射线单晶衍射分析确定其绝对构型(图3)。晶体学数据如下：分子式C<sub>29</sub>H<sub>46</sub>O<sub>2</sub>，相对分子质量426.66，属单斜晶系，空间群P2<sub>1</sub>，晶胞参数a=6.772 60(10) Å (1 Å=0.1 nm)，b=12.625 7(2) Å，c=

43.570 4(6) Å，β=92.766(2)°，V=3 721.31(10) Å<sup>3</sup>，Z=6，D<sub>calc</sub>=1.207 g/cm<sup>3</sup>，μ=0.523 mm<sup>-1</sup>。使用Cu Kα射线在293 K收集衍射数据，共收集38 132个衍射点(2θ范围6.09°~147.94°)，独立衍射点11 448个(R<sub>int</sub>=0.052 5，R<sub>sigma</sub>=0.052 2)。结构解析最终一致性因子R<sub>1</sub>=0.045 5 [I≥2σ(I)]，wR<sub>2</sub>=0.115 5。Flack参数为-0.04，确定化合物1的绝对构型为3R,8R,13R,14S,19R,20S。

根据综上所述数据确定化合物1的相对构型。经SciFinder数据库检索，未见有该化合物的相关文献报道，确定化合物1为新化合物，命名为2,4-降白桦脂醇。

化合物2：白色粉末。ESI-MS *m/z* 497.17 [M-H]<sup>-</sup>。<sup>1</sup>H-NMR (500 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 2.04 (3H, s, Ac-CH<sub>3</sub>), 5.23 (1H, t, *J* = 3.7 Hz, H-12), 4.50 (1H, dd, *J* = 9.1, 5.6 Hz, H-3), 2.19 (1H, d, *J* = 11.2 Hz, H-18), 0.77, 0.85, 0.86, 0.94, 0.95, 0.96, 1.07 (各3H, s, 7×CH<sub>3</sub>)；<sup>13</sup>C-NMR (125 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 39.0 (C-1), 23.7 (C-2), 81.1 (C-3), 37.8 (C-4), 55.4 (C-5), 18.3 (C-6), 33.0 (C-7), 39.6 (C-8), 47.6 (C-9), 36.9 (C-10), 23.4 (C-11), 125.9 (C-12), 138.1 (C-13), 42.0 (C-14), 28.2 (C-15), 24.2 (C-16), 48.1 (C-17), 52.7 (C-18), 39.2 (C-19), 38.4 (C-20), 30.7 (C-21), 37.0 (C-22), 28.1 (C-23), 16.8 (C-24), 15.8 (C-25), 17.2 (C-26), 23.7 (C-27), 183.5 (C-28), 17.2 (C-29), 21.5 (C-30), 171.2 (CH<sub>3</sub>COO), 21.3 (CH<sub>3</sub>COO)。上述数据与文献报道一致<sup>[8]</sup>，故鉴定化合物2为乙酰乌索酸。

化合物3：白色粉末。ESI-MS *m/z* 453.30 [M-H]<sup>-</sup>。<sup>1</sup>H-NMR (500 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 5.29 (1H, t, *J* = 3.7 Hz, H-12), 2.83 (1H, dd, *J* = 14.1, 4.6 Hz, H-18), 2.54 (1H, ddd, *J* = 15.9, 11.1, 7.2 Hz, H-2β), 2.36 (1H, ddd, *J* = 15.9, 6.8, 3.6 Hz, H-2α), 1.14 (3H, s, H-27),

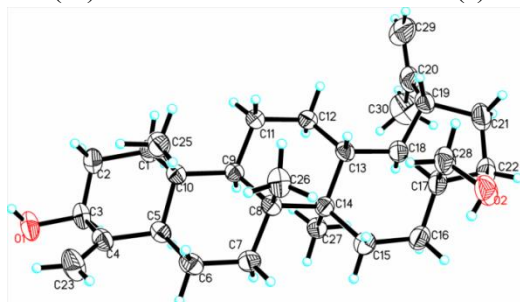


图3 化合物1的X射线晶体结构

Fig. 3 X-ray crystal structure of compound 1

1.08 (3H, s, H-23), 1.04 (3H, s, H-25), 1.02 (3H, s, H-24), 0.92 (3H, s, H-30), 0.90 (3H, s, H-29), 0.80 (3H, s, H-26);  $^{13}\text{C-NMR}$  (125 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 39.2 (C-1), 34.3 (C-2), 217.9 (C-3), 47.6 (C-4), 55.4 (C-5), 19.7 (C-6), 32.6 (C-7), 39.4 (C-8), 46.7 (C-9), 36.9 (C-10), 23.1 (C-11), 122.5 (C-12), 143.8 (C-13), 41.9 (C-14), 27.8 (C-15), 23.7 (C-16), 47.0 (C-17), 41.2 (C-18), 46.0 (C-19), 30.8 (C-20), 33.9 (C-21), 32.3 (C-22), 26.6 (C-23), 21.6 (C-24), 15.2 (C-25), 17.1 (C-26), 26.0 (C-27), 183.8 (C-28), 33.2 (C-29), 23.6 (C-30)。上述数据与文献报道一致<sup>[9]</sup>, 故鉴定化合物 **3** 为齐墩果酮酸。

化合物 **4**: 白色粉末。ESI-MS  $m/z$  481.39 [ $\text{M} + \text{Na}$ ]<sup>+</sup>。 $^1\text{H-NMR}$  (500 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 4.74 (1H, brs, H-31b), 4.68 (1H, brs, H-31a), 3.19 (1H, dd,  $J = 11.4, 4.9$  Hz, H-3), 0.76, 0.84, 0.88, 0.95, 0.96, 1.15 (各 3H, s,  $\text{CH}_3$ -29, 19, 18, 30, 28, 21), 1.03 (3H, d,  $J = 6.8$  Hz, H-26), 1.03 (3H, d,  $J = 6.8$  Hz, H-27);  $^{13}\text{C-NMR}$  (125 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 39.2 (C-1), 27.6 (C-2), 79.1 (C-3), 39.1 (C-4), 56.0 (C-5), 18.4 (C-6), 35.4 (C-7), 40.5 (C-8), 50.8 (C-9), 37.3 (C-10), 21.7 (C-11), 24.9 (C-12), 42.5 (C-13), 50.5 (C-14), 31.4 (C-15), 27.7 (C-16), 49.9 (C-17), 16.6 (C-18), 16.4 (C-19), 75.5 (C-20), 25.5 (C-21), 39.5 (C-22), 28.5 (C-23), 156.7 (C-24), 34.2 (C-25), 22.1 (C-26), 22.1 (C-27), 28.1 (C-28), 15.5 (C-29), 15.6 (C-30), 106.3 (C-31)。上述数据与文献报道一致<sup>[10]</sup>, 故鉴定化合物 **4** 为 foliasalaci A4。

化合物 **5**: 白色粉末。ESI-MS  $m/z$  453.28 [ $\text{M} - \text{H}$ ]<sup>-</sup>。 $^1\text{H-NMR}$  (500 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 4.74 (1H, s, H-29a), 4.61 (1H, s, H-29b), 3.00 (1H, td,  $J = 4.7, 10.0$  Hz, H-19), 1.69 (3H, s, H-30), 1.07 (3H, s, H-23), 1.01 (3H, s, H-24), 0.98 (3H, s, H-27), 0.98 (3H, s, H-25), 0.92 (3H, s, H-26);  $^{13}\text{C-NMR}$  (125 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 39.8 (C-1), 34.3 (C-2), 218.4 (C-3), 47.5 (C-4), 55.1 (C-5), 19.8 (C-6), 33.8 (C-7), 40.8 (C-8), 50.0 (C-9), 37.2 (C-10), 21.5 (C-11), 25.7 (C-12), 38.6 (C-13), 42.6 (C-14), 29.8 (C-15), 32.3 (C-16), 56.5 (C-17), 49.3 (C-18), 47.0 (C-19), 150.5 (C-20), 30.7 (C-21), 37.1 (C-22), 26.8 (C-23), 21.2 (C-24), 16.0 (C-25), 16.1 (C-26), 14.8 (C-27), 109.9 (C-29), 19.5 (C-30)。上述数据与文献报道一致<sup>[11]</sup>, 故鉴定化合物 **5** 为白桦脂酮酸。

化合物 **6**: 白色针晶(乙腈)。ESI-MS  $m/z$  477.32 [ $\text{M} + \text{Na}$ ]<sup>+</sup>。 $^1\text{H-NMR}$  (500 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 5.95 (1H, dd,  $J = 10.4, 1.7$  Hz, H-12), 5.53 (1H, dd,  $J = 10.3, 3.1$

Hz, H-11), 3.21 (1H, dd,  $J = 11.4, 4.9$  Hz, H-3), 1.16 (3H, s, H-27), 1.05 (3H, s, H-26), 0.99 (各 3H, brs, H-29, 25), 0.93 (3H, d,  $J = 6.1$  Hz, H-30), 0.91 (3H, s, H-22), 0.78 (3H, s, H-24);  $^{13}\text{C-NMR}$  (125 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 38.4 (C-1), 27.1 (C-2), 79.0 (C-3), 54.9 (C-5), 17.8 (C-6), 31.5 (C-7), 42.1 (C-8), 53.2 (C-9), 36.5 (C-10), 129.0 (C-11), 133.6 (C-12), 89.8 (C-13), 41.8 (C-14), 25.7 (C-15), 22.9 (C-16), 45.2 (C-17), 60.7 (C-18), 40.4 (C-19), 38.3 (C-20), 31.0 (C-21), 31.4 (C-22), 27.9 (C-23), 15.1 (C-24), 19.3 (C-25), 19.0 (C-26), 16.2 (C-27), 180.0 (C-28), 18.0 (C-29), 18.0 (C-30)。上述数据与文献报道一致<sup>[12]</sup>, 故鉴定化合物 **6** 为乌苏酸内酯。

### 3.2 抗足细胞损伤活性评价

**3.2.1 MPC-5 细胞培养** 采用含有 10% 的胎牛血清、1% 青-链霉素双抗、20  $\mu\text{g/L}$   $\gamma$ -干扰素、89% 的 1640 培养基进行 MPC-5 细胞培养, 并放置 33  $^\circ\text{C}$ 、5%  $\text{CO}_2$  培养箱中培养。待细胞贴壁生长之后, 去除培养液中的  $\gamma$ -干扰素, 并将细胞转移至 37  $^\circ\text{C}$ 、5%  $\text{CO}_2$  培养箱中培养。

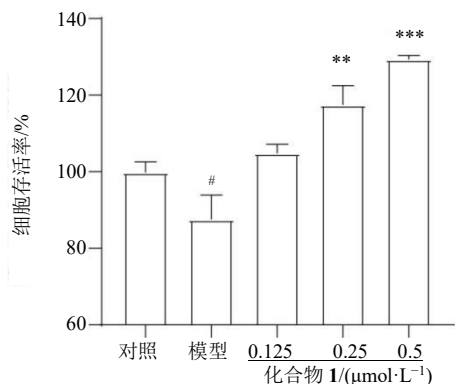
**3.2.2 MPC-5 细胞相对活力测定** 采用 CCK-8 法检测细胞活力。取对数生长期的 MPC-5 细胞, 按每孔 100  $\mu\text{L}$  接种于 96 孔板, 培养 18~24 h 至细胞完全贴壁。设置对照组(含 50  $\mu\text{g/mL}$  BSA)、模型组(含 5% 血清的 1640 培养基 + 50  $\mu\text{g/mL}$  AGEs) 以及给药组(模型组基础上分别添加 0.125、0.25、0.5  $\mu\text{mol/L}$  化合物 **1**)。处理 24 h 后更换新鲜培养基, 每孔加入 10  $\mu\text{L}$  CCK-8 试剂, 避光置于培养箱中反应 1~4 h。使用多功能酶标仪在 450 nm 波长下检测各组的吸光度( $A$ )值。根据公式分别计算各组细胞存活率。

$$\text{细胞存活率} = (A_{\text{实验}} - A_{\text{空白}}) / (A_{\text{对照}} - A_{\text{空白}})$$

**3.2.3 化合物 1 对 MPC-5 细胞治疗作用的结果** 根据图中 CCK-8 检测结果, 与对照组相比, AGEs 模型组的 MPC-5 细胞活力出现显著下降, 表明 AGEs 成功诱导了细胞损伤模型。在 AGEs 处理 24 h 后, 分别加入 0.125、0.25、0.5  $\mu\text{mol/L}$  的化合物继续处理 24 h, 收集样本, 检测结果见图 4, 药物组呈剂量相关性增加细胞活力, 说明此物可以明显改善足细胞损伤, 具有明显的抗足细胞损伤作用。

## 4 讨论

本研究从鬼箭羽中分离并鉴定了 6 个化合物, 其中化合物 **1** 为新的倍半萜类化合物, 化合物 **2**~**6** 为首次从怀菊花及该属植物中分离得到。这些化



与对照组比较: <sup>#</sup> $P < 0.05$ ; 与模型组比较: <sup>\*\*</sup> $P < 0.01$  <sup>\*\*\*</sup> $P < 0.001$ 。  
<sup>#</sup> $P < 0.05$  vs control group; <sup>\*\*</sup> $P < 0.01$  <sup>\*\*\*</sup> $P < 0.001$  vs model group.

图4 化合物1对MPC-5改善作用

Fig. 4 Improvement effect of compound 1 on MPC-5 cells

化合物的分离进一步丰富了鬼箭羽化学成分的结构多样性。AGEs诱导的MPC-5细胞模型评价显示,鬼箭羽来源三萜类成分化合物1对高糖环境下AGEs介导的足细胞损伤具有显著保护作用,且活性呈浓度相关性。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

[1] Choi C I, Lee S R, Kim K H. Antioxidant and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activities of constituents from *Euonymus alatus* twigs [J]. *Ind Crops Prod*, 2015, 76:

1055-1060.

- [2] 孙婧, 杨燕云, 许亮, 等. 鬼箭羽药材本草考证 [J]. 辽宁中医药大学学报, 2021, 23(10): 77-83.
- [3] 王腾华. 卫矛抗炎物质基础及其质量控制研究 [D]. 广州: 广州中医药大学, 2016.
- [4] Stevenson P C, Green P W C, Veitch N C, et al. Norhopenes from *Zanha africana* root bark with toxicity to bruchid beetles [J]. *Phytochemistry*, 2016, 123: 25-32.
- [5] Silverstein R M, Webster F X, Kiemle D J. Spectrometric identification of organic compounds [M]. 7th ed. Hoboken, N.J.: Wiley, 2005: .
- [6] 倪坤仪, 王志群. 红外光谱在天然产物结构鉴定中的应用 [J]. 分析化学, 2008, 36(8): 1165-1170.
- [7] 何小汝, 王雅琪, 徐柳云, 等. 猴子瘰袋化学成分研究 [J]. 世界中医药, 2019, 14(7): 1639-1642.
- [8] 颜智, 邱明华, 李忠荣, 等. 乌鸦果地上部分化学成分研究 [J]. 中药材, 2020, 43(4): 858-861.
- [9] 蔡亚玲, 阮金兰. 枫叶化学成分的研究 [J]. 中药材, 2005, 28(4): 294-295.
- [10] Yoshikawa M, Zhang Y, Wang T, et al. New triterpene constituents, foliasalacins a(1)-a(4), B(1)-B(3), and C, from the leaves of *Salacia chinensis* [J]. *Chem Pharm Bull*, 2008, 56(7): 915-920.
- [11] 伊哲, 张琦, 黎思露, 等. 引种亚麻叶白千层三萜类化学成分研究 [J]. 中南药学, 2020, 18(12): 1982-1985.
- [12] 林春燕, 董媛, 张贇华, 等. 彝药野拔子的化学成分研究 [J]. 食品与药品, 2023, 25(4): 338-341.

[责任编辑 王文倩]