

## $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制作用导向分离翻白草活性成分

高冰, 苏艳芳\*, 张杰, 马雪姣, 王玮

天津大学药物科学与技术学院, 天津 300072

**摘要:** 目的 研究翻白草 *Potentilla discolor* 的化学成分及其  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性。方法 以 4-硝基苯基- $\alpha$ -吡喃葡萄糖苷 (PNPG) 为底物进行  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性筛选。利用硅胶、聚酰胺、Sephadex LH-20 凝胶、ODS 及反相 HPLC 等柱色谱方法进行分离和纯化, 并运用核磁共振波谱鉴定化合物的结构。结果 翻白草全草 95%乙醇水浸提物的二氯甲烷、醋酸乙酯、正丁醇等萃取物经 D101 大孔吸附树脂分离的 30%乙醇水洗脱部分显示强的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性, 对其进一步的化学成分研究共分离得到 17 个化合物, 分别鉴定为 3,3',4,4'-四羟基联苯 (1)、反式银桦苷 (2)、顺式银桦苷 (3)、柚皮素-5- $O$ - $\beta$ -葡萄糖苷 (4)、异杞柳苷 (5)、黑色五味子单体苷 (6)、紫椴苷 B (7)、(-)-异落叶松脂素-9'- $O$ - $\beta$ -D-吡喃木糖苷 (8)、2-羧基-坡模酸 (9)、齐墩果酸 (10)、熊果酸 (11)、2 $\alpha$ ,3 $\alpha$ ,19 $\alpha$ -三羟基-12-烯-28-熊果酸 (12)、2 $\alpha$ -羟基齐墩果酸 (13)、覆盆子酸 (14)、山柰酚 (15)、山柰酚-3- $O$ - $\beta$ -D-葡萄糖醛酸苷 (16)、槲皮素-3- $O$ - $\beta$ -D-葡萄糖醛酸-6"-甲酯 (17)。结论 化合物 1、3~8 均为首次从委陵菜属植物中分离得到, 化合物 9~17 均对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶有抑制作用。

**关键词:** 委陵菜属; 翻白草;  $\alpha$ -葡萄糖苷酶; 顺式银桦苷; 异杞柳苷; 2-羧基-坡模酸; 齐墩果酸; 覆盆子酸

中图分类号: R284.1 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2021)15-4473-07

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2021.15.004

## $\alpha$ -Glucosidase inhibitory activities guided isolation of chemical constituents from *Potentilla discolor*

GAO Bing, SU Yan-fang, ZHANG Jie, MA Xue-jiao, WANG Wei

School of Pharmaceutical Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China

**Abstract: Objective** To study the chemical constituents of *Potentilla discolor* and their  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity. **Methods** The constituents were isolated and purified by silica gel, polyamide, ODS, Sephadex LH-20, and RP-HPLC column chromatography. Their structures were elucidated by NMR spectra. PNPG method was used to determine the  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity. **Results** Dichloromethane extract, ethyl acetate extract, 30% ethanol elution fraction of *n*-butanol extract separated by D101 macroporous resin showed potent  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity. Further chemical study resulted in the purification of 17 compounds and they were identified as 3,3',4,4'-tetrahydroxybiphenyl (1), trans-tiliroside (2), cis-tiliroside (3), naringenin-5- $O$ - $\beta$ -glucoside (4), isosalipurposide (5), schizandriside (6), tiliamuroside B (7), (-)-isolariciresinol-9'- $O$ - $\beta$ -D-xylopyranoside (8), 2-oxo-pomolic acid (9), oleanolic acid (10), ursolic acid (11), 2 $\alpha$ ,3 $\alpha$ ,19 $\alpha$ -trihydroxy-12-ursen-28-oic acid (12), 2 $\alpha$ ,3 $\beta$ -dihydroxyolean-12-en-28-oic acid (13), fupenzic acid (14), kaempferol (15), kaempferol-3- $O$ - $\beta$ -D-glucuronide (16), and quercetin-3- $O$ - $\beta$ -D-glucuronide-6"-methyl ester (17). **Conclusion** This is the first report of compounds 1, 3~8 isolated from the genus of *Potentilla*. Compounds 9~17 show  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity.

**Key words:** *Potentilla* L.; *Potentilla discolor* Bge.;  $\alpha$ -glucosidase; cis-tiliroside; isosalipurposide; 2-oxo-pomolic acid; oleanolic acid; fupenzic acid

翻白草 *Potentilla discolor* Bge. 是蔷薇科 (Rosaceae) 委陵菜属 *Potentilla* L. 多年生草本植物, 主要分布在我国东北、华北及四川等地<sup>[1]</sup>。《中国药典》

2020 年版记载, 翻白草性甘、微苦, 具有清热解毒、止痢、止血的功效<sup>[2]</sup>。近现代医学药理研究表明, 翻白草有降血糖、保护胰岛  $\beta$  细胞、增强胰岛素抵

收稿日期: 2021-02-04

基金项目: 天津市科技计划项目 (20ZXGBSY00050)

作者简介: 高冰 (1996—), 女, 在读研究生, 研究方向为天然产物化学。E-mail: gaobing\_1996@163.com

\*通信作者: 苏艳芳, 教授, 主要从事天然产物化学研究。E-mail: suyanfang@tju.edu.cn

抗等作用,临床上常用翻白草来治疗糖尿病<sup>[3]</sup>。该植物中的化学成分主要包括黄酮类、萜类、甾体类和有机酸类等类型<sup>[2]</sup>,但其降血糖成分尚不十分明确,为更好地开发利用这一药用资源,寻找具有降血糖活性的天然化合物,本研究首先对翻白草的乙醇水提取物进行了 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性实验,发现其具有较强的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性。进一步分离获得的二氯甲烷、醋酸乙酯、正丁醇萃取物经D101大孔吸附树脂洗脱的30%乙醇水洗脱部分也显示出很强的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性,故对以上3个提取部位进行深入的化学成分研究,共得到了17个化合物,分别鉴定为3,3',4,4'-四羟基联苯(3,3',4,4'-tetrahydroxybiphenyl, **1**)、反式银桦苷(*trans*-tiliroside, **2**)、顺式银桦苷(*cis*-tiliroside, **3**)、柚皮素-5-*O*- $\beta$ -葡萄糖苷(naringenin 5-*O*- $\beta$ -glucoside, **4**)、异杞柳苷(isosalipurposide, **5**)、黑色五味子单体苷(schizandriside, **6**)、紫椴苷B(tiliamuroside B, **7**)、(-)-异落叶松脂素-9'-*O*- $\beta$ -D-吡喃木糖苷[(-)-isolariciresinol-9'-*O*- $\beta$ -D-xylopyranoside, **8**]、2-羧基-坡模酸(2-oxo-pomolic acid, **9**)、齐墩果酸(oleanolic acid, **10**)、熊果酸(ursolic acid, **11**)、2 $\alpha$ ,3 $\alpha$ ,19 $\alpha$ -三羟基-12-烯-28-熊果酸(2 $\alpha$ ,3 $\alpha$ ,19 $\alpha$ -tri-hydroxy-12-ursen-28-oic acid, **12**)、2 $\alpha$ -羟基齐墩果酸(2 $\alpha$ -hydroxy-oleanolic acid, **13**)、覆盆子酸(fupenzic acid, **14**)、山柰酚(kaempferol, **15**)、山柰酚-3-*O*- $\beta$ -D-葡萄糖醛酸苷(kaempferol-3-*O*- $\beta$ -D-glucuronide, **16**)、槲皮素-3-*O*- $\beta$ -D-葡萄糖醛酸-6''-甲酯(quercetin-3-*O*- $\beta$ -D-glucuronide-6''-methyl ester, **17**)。其中,化合物**1**、**3**~**8**均为首次从委陵菜属植物中分离得到,化合物**9**~**17**均对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶有抑制作用。

## 1 仪器与材料

Autopol II型旋光仪(美国鲁道夫公司);XT4A显微熔点测定仪(北京科仪电光仪器厂);Bruker Tensor 27红外光谱仪(瑞士Bruker公司);Bruker Avance III核磁共振谱仪(600 MHz,瑞士Bruker公司);Agilent TOF LC/MS质谱仪(美国Agilent公司);Quiksep高效液相色谱仪(北京慧德易科技有限责任公司);ODS柱色谱硅胶(20~45  $\mu$ m, Fuji Silysia 化学有限公司产品);D101大孔吸附树脂(天津市海光化工有限公司);薄层色谱硅胶(GF<sub>254</sub>, 10~40  $\mu$ m)和柱色谱硅胶(100~200、200~300目,青岛海洋化工厂);聚酰胺(60~80目,浙江

台州路桥四甲生化塑料厂);Sephadex LH-20葡聚糖凝胶(Amersham Pharmacia 生物技术公司);ZORBAXSB-C<sub>18</sub>制备柱(250 mm $\times$ 21.2 mm, 7  $\mu$ m)、ZorbaxSB-C<sub>18</sub>分析柱(250 mm $\times$ 4.6 mm, 5  $\mu$ m),美国安捷伦公司;4-硝基苯基- $\alpha$ -吡喃葡萄糖苷(PNPG, 上海泰坦科技股份有限公司)、 $\alpha$ -葡萄糖苷酶(北京伊诺凯科技有限公司)。

翻白草于2015年8月采集于安徽霍县,经天津中医药大学李天祥教授鉴定为翻白草 *P. discolor* Bge.。标本(编号201508001)收藏于天津大学药物科学与技术学院。

## 2 提取与分离

翻白草干燥全草(19.0 kg)在室温下用95%乙醇浸泡2周,然后分别用95%乙醇和60%乙醇回流2次,每次2 h。减压回收溶剂得到浸膏6.3 kg。醇提物的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性实验结果表明其具有较强的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性,加入2 L蒸馏水混悬后依次用等体积石油醚、二氯甲烷、醋酸乙酯、正丁醇进行萃取,得到石油醚萃取部分(PDP, 334.0 g)、二氯甲烷萃取部分(PDC, 290.0 g)、醋酸乙酯萃取部分(PDE, 128.0 g)和正丁醇萃取部分(PDB, 588.5 g)。正丁醇萃取部分经D101大孔吸附树脂吸附,以乙醇-水(0:100 $\rightarrow$ 30:70 $\rightarrow$ 50:50 $\rightarrow$ 95:5)梯度洗脱,得到水洗脱部分(PDB-H<sub>2</sub>O, 345.5 g)、30%乙醇水洗脱部分(PDB30, 93.0 g)、50%乙醇水洗脱部分(PDB50, 22.5 g)和95%乙醇水洗脱部分(PDB95, 9.0 g)。根据翻白草的粗提物及不同萃取部分的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性筛选结果,PDC、PDE、PDB30部分显示强的抑制活性,其半数抑制浓度(IC<sub>50</sub>)值分别为10.0、1.0、2.0  $\mu$ g/mL,故对PDC、PDE、PDB30部分的化学成分进行系统研究。

PDC部分经硅胶柱色谱分离,石油醚-醋酸乙酯(8:2 $\rightarrow$ 6:4 $\rightarrow$ 3:7 $\rightarrow$ 0:100)梯度洗脱,得到4个流分(Fr. A1~A4),Fr. A2经多次硅胶及反相ODS柱色谱分离,得到化合物**9**(50.0 mg)、**10**(30.0 mg)、**11**(50.0 mg)、**14**(30.5 mg);Fr. A4经硅胶柱色谱分离得到3个流分Fr. A4a~A4c,Fr. A4a经硅胶柱色谱后用甲醇重结晶,上清液部分经聚酰胺柱色谱分离得到化合物**15**(10.5 mg),Fr. A4c经多次硅胶柱色谱后,再经RP-HPLC分离得到化合物**12**(15.0 mg)和**13**(8.2 mg)。PDE部分经硅胶柱色谱分离,石油醚-醋酸乙酯-甲醇(8:2:0 $\rightarrow$ 6:4:0 $\rightarrow$ 3:7:0 $\rightarrow$ 0:100:0 $\rightarrow$ 0:98:2 $\rightarrow$ 0:9:

1→0:6:4) 梯度洗脱后得到 5 个流分 (Fr. B1~B5), Fr. B1 经硅胶柱分离得到 2 个流分 Fr. B1a、B1b, Fr. B1a 经聚酰胺柱色谱, 再经 RP-HPLC 分离得到化合物 **1** (5.0 mg); Fr. B3 经硅胶柱色谱后得到 5 个流分 Fr. B3a~B3e, Fr. B3d 经反复硅胶柱色谱得到 3 个流分 Fr. B3d1~B3d3, Fr. B3d1 经聚酰胺柱色谱分离得到化合物 **4** (30.0 mg), Fr. B3d2 经 RP-HPLC 分离得到化合物 **5** (10.0 mg); Fr. B4 经硅胶柱色谱及反相 HPLC 分离得到化合物 **2** (30.0 mg) 和 **3** (3.0 mg); Fr. B5 经硅胶柱色谱后用甲醇重结晶, 上清液经硅胶柱色谱分离得到 2 个流分 Fr. B5a、B5b, Fr. B5a 用甲醇重结晶得到化合物 **6** (20.0 mg), Fr. B5b 经聚酰胺柱色谱、RP-HPLC 分离得到化合物 **7** (20.0 mg) 和 **8** (5.0 mg)。PDB30 部分经硅胶柱色谱分离, 二氯甲烷-甲醇 (94:6→9:1→8:2→3:7→0:1) 梯度洗脱得到 3 个流分 Fr. C1~C3, Fr. C2 经多次硅胶柱色谱分离得到化合物 **16** (38.0 mg) 和 **17** (12.2 mg)。

### 3 结构鉴定

化合物 **1**: 白色固体 (甲醇);  $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 6.95 (2H, d,  $J = 2.1$  Hz, H-2, 2'), 6.84 (2H, dd,  $J = 8.2, 2.1$  Hz, H-6, 6'), 6.77 (2H, d,  $J = 8.2$  Hz, H-5, 5');  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 146.4 (C-4, 4'), 145.3 (C-3, 3'), 134.8 (C-1, 1'), 118.9 (C-6, 6'), 116.5 (C-5, 5'), 114.6 (C-2, 2')。以上数据与文献报道一致<sup>[4]</sup>, 故鉴定化合物 **1** 为 3,3',4,4'-四羟基联苯。

化合物 **2**: 黄色固体 (甲醇);  $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 7.99 (2H, brd,  $J = 8.9$  Hz, H-2', 6'), 6.81 (2H, brd,  $J = 8.9$  Hz, H-3', 5'), 6.31 (1H, brs, H-8), 6.13 (1H, brs, H-6), 5.25 (1H, d,  $J = 7.4$  Hz, glc-H-1''), 6.07 (1H, d,  $J = 15.9$  Hz, H-8'''), 6.79 (2H, d,  $J = 8.6$  Hz, H-3''', 5'''), 7.40 (1H, d,  $J = 15.9$  Hz, H-7'''), 7.30 (2H, brd,  $J = 8.6$  Hz, H-2''', 6'''), 4.30 (1H, dd,  $J = 11.8, 2.1$  Hz, H-6''a), 4.19 (1H, dd,  $J = 11.8, 6.7$  Hz, H-6''b), 3.43~3.48 (3H, overlapped, H-2'', 3'', 5''), 3.34 (1H, overlapped, H-4'');  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 158.4 (C-2), 135.2 (C-3), 179.5 (C-4), 163.0 (C-5), 100.0 (C-6), 159.5 (C-7), 94.8 (C-8), 165.9 (C-9), 105.6 (C-10), 122.7 (C-1'), 132.2 (C-2',6'), 116.8 (C-3',5'), 161.5 (C-4'), 103.9 (C-1''), 75.8 (C-2''), 78.0 (C-3''), 71.7 (C-4''), 75.7 (C-5''), 64.3 (C-6''), 127.1 (C-1'''), 131.2 (C-2''', 6'''), 116.8 (C-3''', 5'''), 162.2 (C-4'''), 146.6 (C-7'''), 114.7

(C-8'''), 168.8 (C-9''')。以上数据与文献报道一致<sup>[5]</sup>, 故鉴定化合物 **2** 为反式银槲苷。

化合物 **3**: 黄色固体 (甲醇);  $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 7.96 (2H, brd,  $J = 8.8$  Hz, H-2', 6'), 6.82 (2H, brd,  $J = 8.8$  Hz, H-3', 5'), 6.31 (1H, brs, H-8), 6.19 (1H, brs, H-6), 5.20 (1H, d,  $J = 7.6$  Hz, glc H-1''), 5.50 (1H, d,  $J = 12.8$  Hz, H-8'''), 6.68 (2H, d,  $J = 8.5$  Hz, H-3''', 5'''), 6.69 (1H, d,  $J = 12.8$  Hz, H-7'''), 7.51 (2H, brd,  $J = 8.6$  Hz, H-2''', 6'''), 4.19 (2H, overlapped, H-6''), 3.39~3.46 (3H, overlapped, H-2'', 3'', 5''), 3.27 (1H, overlapped, H-4'')。以上数据与化合物 **2** 的氢谱对比, 仅对羟基桂皮酰基部分的化学位移和偶合常数变化较大, 提示化合物 **2** 中为顺式对羟基桂皮酰基, 结合文献报道<sup>[5]</sup>, 鉴定化合物 **3** 为顺式银槲苷。

化合物 **4**: 白色针状晶体 (甲醇);  $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{DMSO}-d_6$ )  $\delta$ : 7.31 (2H, d,  $J = 8.6$  Hz, H-2', 6'), 6.78 (2H, d,  $J = 8.5$  Hz, H-3', 5'), 7.39 (1H, d,  $J = 2.1$  Hz, H-6), 6.07 (1H, d,  $J = 2.1$  Hz, H-8), 5.37 (1H, dd,  $J = 13.1, 2.0$  Hz, H-2), 3.06 (1H, dd,  $J = 17.1, 13.3$  Hz, H-3b), 2.61 (1H, dd,  $J = 17.1, 2.8$  Hz, H-3a), 4.70 (1H, d,  $J = 7.1$  Hz, H-1''), 3.28~3.29 (3H, overlapped, H-2'', 3'', 5''), 3.19 (1H, m, H-4''), 3.73 (1H, d,  $J = 11.5$  Hz, H-6''a), 3.52 (1H, m, H-6''b);  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{DMSO}-d_6$ )  $\delta$ : 80.2 (C-2), 46.3 (C-3), 193.1 (C-4), 162.4 (C-5), 100.4 (C-6), 167.2 (C-7), 99.5 (C-8), 166.6 (C-9), 107.0 (C-10), 131.0 (C-1'), 128.2 (C-2'), 116.3 (C-3'), 159.0 (C-4'), 116.3 (C-5'), 128.2 (C-6'), 105.0 (C-1''), 74.7 (C-2''), 77.2 (C-3''), 71.2 (C-4''), 78.7 (C-5''), 62.5 (C-6'')。以上数据与文献报道一致<sup>[6]</sup>, 故鉴定化合物 **4** 为柚皮素-5-O- $\beta$ -葡萄糖苷。

化合物 **5**: 黄色固体 (甲醇);  $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 7.61 (2H, d,  $J = 8.8$  Hz, H-2,6), 6.83 (2H, d,  $J = 8.8$  Hz, H-3,5), 7.67 (1H, d,  $J = 15.3$  Hz, H-7), 8.03 (1H, d,  $J = 15.3$  Hz, H-8), 5.98 (1H, d,  $J = 2.1$  Hz, H-3'), 6.21 (1H, d,  $J = 2.1$  Hz, H-5'), 5.14 (1H, d,  $J = 7.5$  Hz, H-1''), 3.92 (1H, dd,  $J = 12.0, 1.9$  Hz, H-6''a), 3.74 (1H, dd,  $J = 12.1, 5.2$  Hz, H-6''b), 3.55 (1H, m, H-2''), 3.50 (1H, m, H-4''), 3.47 (1H, m, H-5''), 3.44 (1H, m, H-3'');  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 128.5 (C-1), 131.8 (C-2, 6), 116.9 (C-3, 5), 161.1 (C-4), 144.2 (C-7), 125.9 (C-8), 194.5 (C-9), 107.4 (C-1'), 161.9 (C-2'), 98.4 (C-3'), 166.0 (C-4'),

95.7 (C-5'), 167.9 (C-6'), 101.9 (C-1''), 75.0 (C-2''), 71.1 (C-3''), 78.5 (C-4''), 78.5 (C-5''), 62.4 (C-6'')。以上数据与文献报道一致<sup>[7]</sup>, 故鉴定化合物 **5** 为异杞柳苷。

化合物 **6**: 白色固体(甲醇);  $[\alpha]_D^{20} +33.3^\circ$  ( $c$  0.15, MeOH);  $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 6.16 (1H, s, H-3), 6.64 (1H, s, H-6), 2.81 (2H, m, H-7), 2.07 (1H, m, H-8), 3.76 (1H, dd,  $J = 10.9, 3.5$  Hz, H-9a), 3.70 (1H, dd,  $J = 10.9, 6.1$  Hz, H-9b), 6.77 (1H, d,  $J = 1.6$  Hz, H-2'), 6.73 (1H, d,  $J = 8.0$  Hz, H-5'), 6.62 (1H, dd,  $J = 8.0, 1.8$  Hz, H-6'), 4.06 (1H, brd,  $J = 11.1$  Hz, H-7'), 1.84 (1H, m, H-8'), 3.20 (1H, m, H-9'a), 3.97 (1H, dd,  $J = 9.9, 2.6$  Hz, H-9'b), 3.80 (3H, s, 3-OMe), 3.79 (3H, s, 3'-OMe), 4.04 (1H, d,  $J = 7.6$  Hz, H-1''), 3.20 (1H, m, H-2''), 3.27 (1H, t,  $J = 8.9$  Hz, H-3''), 3.45 (1H, m, H-4''), 3.10 (1H, dd,  $J = 11.4, 10.7$  Hz, H-5'a), 3.79 (1H, overlapped, H-5'b);  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{DMSO}-d_6$ )  $\delta$ : 127.0 (C-1), 132.6 (C-2), 116.2 (C-3), 144.0 (C-4), 145.4 (C-5), 111.7 (C-6), 32.5 (C-7), 37.5 (C-8), 62.6 (C-9), 136.9 (C-1'), 113.8 (C-2'), 147.1 (C-3'), 144.4 (C-4'), 115.4 (C-5'), 121.1 (C-6'), 45.6 (C-7'), 44.0 (C-8'), 67.2 (C-9'), 104.5 (C-1''), 73.3 (C-2''), 76.5 (C-3''), 69.5 (C-4''), 65.6 (C-5''), 55.5 (3-OMe), 55.4 (3'-OMe)。以上数据与文献报道一致<sup>[8]</sup>, 故鉴定化合物 **6** 为黑色五味子单体苷。

化合物 **7**: 白色固体(甲醇);  $[\alpha]_D^{20} -183.3^\circ$  ( $c$  0.18, MeOH);  $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 6.33 (1H, s, H-3), 6.70 (1H, s, H-6), 2.68 (1H, dd,  $J = 16.8, 10.9$  Hz, H-7a), 2.92 (1H, dd,  $J = 16.8, 5.7$  Hz, H-7b), 1.99 (1H, m, H-8), 3.53 (1H, dd,  $J = 10.9, 5.0$  Hz, H-9a), 3.57 (1H, dd,  $J = 11.1, 4.7$  Hz, H-9b), 6.83 (1H, d,  $J = 1.6$  Hz, H-2'), 6.61 (1H, d,  $J = 8.2$  Hz, H-5'), 6.32 (1H, dd,  $J = 8.2, 1.7$  Hz, H-6'), 4.26 (1H, brd,  $J = 4.7$  Hz, H-7'), 2.25 (1H, m, H-8'), 3.48 (1H, m, H-9'a), 3.68 (1H, t,  $J = 9.2$  Hz, H-9'b), 3.83 (3H, s, 5-OMe), 3.79 (3H, s, 3'-OMe), 4.22 (1H, d,  $J = 7.5$  Hz, H-1''), 3.26 (1H, dd,  $J = 8.9, 7.5$  Hz, H-2''), 3.31 (1H, overlapped, H-3''), 3.84 (1H, m, H-4''), 3.18 (1H, dd,  $J = 11.2, 10.7$  Hz, H-5'a), 3.84 (1H, overlapped, H-5'b);  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 127.1 (C-1), 131.8 (C-2), 115.7 (C-3), 144.2 (C-4), 146.4 (C-5), 110.9 (C-6), 31.9 (C-7), 33.6 (C-8), 63.7 (C-9), 134.2 (C-1'), 114.1 (C-2'), 146.7 (C-3'), 144.1 (C-4'), 113.9

(C-5'), 122.7 (C-6'), 45.0 (C-7'), 40.9 (C-8'), 69.9 (C-9'), 104.0 (C-1''), 73.9 (C-2''), 76.6 (C-3''), 69.9 (C-4''), 65.6 (C-5''), 54.9 (5-OMe), 54.8 (3'-OMe)。以上数据与文献报道一致<sup>[9]</sup>, 故鉴定化合物 **7** 为紫椴苷 B。

化合物 **8**: 白色固体(甲醇);  $[\alpha]_D^{20} -72.7^\circ$  ( $c$  0.15, MeOH);  $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 6.17 (1H, s, H-5), 6.64 (1H, s, H-6), 2.76 (1H, dd,  $J = 15.8, 4.4$  Hz, H-7a), 2.87 (1H, dd,  $J = 15.6, 11.6$  Hz, H-7b), 1.99 (1H, m, H-8), 3.77 (2H, m, H-9), 6.71 (1H, brs, H-2'), 6.73 (1H, d,  $J = 8.1$  Hz, H-5'), 6.58 (1H, dd,  $J = 8.1, 1.3$  Hz, H-6'), 3.80 (1H, overlapped, H-7'), 1.90 (1H, m, H-8'), 3.60 (1H, dd,  $J = 2.1, 10.3$  Hz, H-9'a), 3.71 (1H, m, H-9'b), 3.80 (3H, s, 3-OMe), 3.79 (3H, s, 3'-OMe), 3.99 (1H, d,  $J = 7.7$  Hz, H-1''), 3.15 (1H, t,  $J = 8.2$  Hz, H-2''), 3.23 (1H, t,  $J = 9.0$  Hz, H-3''), 3.71 (1H, overlapped, H-4''), 3.02 (1H, t,  $J = 11.1$  Hz, H-5'a), 3.44 (1H, m, H-5'b);  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 129.2 (C-1), 133.8 (C-2), 117.4 (C-3), 146.0 (C-4), 148.9 (C-5), 112.3 (C-6), 33.8 (C-7), 40.6 (C-8), 65.4 (C-9), 138.7 (C-1'), 114.1 (C-2'), 147.3 (C-3'), 145.2 (C-4'), 116.0 (C-5'), 123.2 (C-6'), 48.5 (C-7'), 45.6 (C-8'), 70.2 (C-9'), 104.7 (C-1''), 74.9 (C-2''), 78.0 (C-3''), 71.2 (C-4''), 67.0 (C-5''), 56.3 (3-OMe), 56.3 (3'-OMe)。以上数据与文献报道一致<sup>[10]</sup>, 故鉴定化合物 **8** 为(-)-异落叶松脂素-9'-O- $\beta$ -D-吡喃木糖苷。

化合物 **9**: 白色固体(二氯甲烷);  $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 0.72 (3H, s, H-24), 0.80 (3H, s, H-26), 0.89 (3H, s, H-25), 0.93 (3H, d,  $J = 6.8$  Hz, H-30), 1.18 (3H, s, H-23), 1.19 (3H, s, H-29), 1.40 (3H, s, H-27), 4.00 (1H, s, H-3), 5.30 (1H, t,  $J = 3.5$  Hz, H-12);  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 55.1 (C-1), 212.7 (C-2), 83.9 (C-3), 44.6 (C-4), 55.8 (C-5), 19.9 (C-6), 33.8 (C-7), 42.8 (C-8), 46.6 (C-9), 43.1 (C-10), 24.6 (C-11), 128.8 (C-12), 140.2 (C-13), 42.8 (C-14), 29.7 (C-15), 26.6 (C-16), 48.3 (C-17), 54.4 (C-18), 73.6 (C-19), 41.5 (C-20), 27.1 (C-21), 39.0 (C-22), 29.6 (C-23), 17.2 (C-24), 16.6 (C-25), 17.1 (C-26), 24.7 (C-27), 182.3 (C-28), 27.3 (C-29), 16.7 (C-30)。以上数据与文献报道一致<sup>[11]</sup>, 故鉴定化合物 **9** 为2-羧基-坡模酸。

化合物 **10**: 白色颗粒状固体(二氯甲烷);

$^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{DMSO-}d_6$ )  $\delta$ : 0.67 (3H, s, H-23), 0.71 (3H, s, H-24), 0.85 (3H, s, H-25), 0.87 (6H, s, H-26, 29), 0.89 (3H, s, H-30), 1.09 (3H, s, H-27), 4.28 (1H, brs, H-3), 5.24 (1H, t,  $J = 3.5$  Hz, H-12);  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{DMSO-}d_6$ )  $\delta$ : 38.1 (C-1), 26.9 (C-2), 76.8 (C-3), 38.4 (C-4), 54.8 (C-5), 18.0 (C-6), 32.4 (C-7), 38.8 (C-8), 47.1 (C-9), 36.6 (C-10), 22.9 (C-11), 121.4 (C-12), 143.9 (C-13), 41.3 (C-14), 27.2 (C-15), 23.4 (C-16), 45.7 (C-17), 40.8 (C-18), 45.7 (C-19), 30.4 (C-20), 33.4 (C-21), 32.1 (C-22), 28.2 (C-23), 16.0 (C-24), 15.1 (C-25), 16.9 (C-26), 25.6 (C-27), 178.8 (C-28), 32.8 (C-29), 22.6 (C-30)。以上数据与文献报道一致<sup>[12]</sup>, 故鉴定化合物 **10** 为齐墩果酸。

化合物 **11**: 白色固体(二氯甲烷);  $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{DMSO-}d_6$ )  $\delta$ : 0.90 (3H, s, H-23), 0.68 (3H, s, H-24), 0.87 (3H, s, H-25), 0.75 (3H, s, H-26), 1.04 (3H, s, H-27), 0.81 (3H, d,  $J = 6.4$  Hz, H-29), 0.92 (3H, overlapped, H-30), 5.13 (1H, t,  $J = 3.3$  Hz, H-12), 2.11 (1H, t,  $J = 11.4$  Hz, H-18);  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{DMSO-}d_6$ )  $\delta$ : 38.3 (C-1), 28.2 (C-2), 76.8 (C-3), 38.5 (C-4), 54.8 (C-5), 18.0 (C-6), 32.7 (C-7), 40.0 (C-8), 47.0 (C-9), 36.5 (C-10), 23.2 (C-11), 124.5 (C-12), 138.2 (C-13), 41.6 (C-14), 27.5 (C-15), 27.0 (C-16), 46.8 (C-17), 52.4 (C-18), 38.4 (C-19), 38.2 (C-20), 30.2 (C-21), 36.3 (C-22), 21.0 (C-23), 17.0 (C-24), 15.2 (C-25), 16.0 (C-26), 23.8 (C-27), 178.2 (C-28), 16.9 (C-29), 22.8 (C-30)。以上数据与文献报道一致<sup>[13]</sup>, 故鉴定化合物 **11** 为熊果酸。

化合物 **12**: 白色固体(二氯甲烷);  $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 0.79 (3H, s, H-23), 0.87 (3H, s, H-24), 0.93 (3H, d,  $J = 6.6$  Hz, H-30), 0.99 (6H, s, H-25, 26), 1.20 (3H, s, H-29), 1.35 (3H, s, H-27), 2.50 (1H, s, H-18), 3.33 (1H, d,  $J = 2.2$  Hz, H-3), 3.93 (1H, m, H-2), 5.30 (1H, brs, H-12);  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 42.5 (C-1), 67.2 (C-2), 80.1 (C-3), 41.3 (C-4), 49.4 (C-5), 19.3 (C-6), 34.1 (C-7), 39.5 (C-8), 48.6 (C-9), 39.4 (C-10), 27.3 (C-11), 129.4 (C-12), 140.1 (C-13), 42.8 (C-14), 29.6 (C-15), 26.6 (C-16), 48.2 (C-17), 55.1 (C-18), 73.6 (C-19), 43.1 (C-20), 24.7 (C-21), 39.1 (C-22), 29.3 (C-23), 22.5 (C-24), 17.6 (C-25), 16.6 (C-26), 27.1 (C-27), 182.4 (C-28), 16.9 (C-29), 24.9 (C-30)。以上数据与文献报道一

致<sup>[14]</sup>, 故鉴定化合物 **12** 为  $2\alpha,3\alpha,19\alpha$ -三羟基-12-烯-28-熊果酸。

化合物 **13**: 白色固体(二氯甲烷);  $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 0.81 (3H, s, H-29), 0.82 (3H, s, H-26), 0.91 (3H, s, H-25), 0.94 (3H, s, H-30), 1.00 (3H, s, H-24), 1.01 (3H, s, H-27), 1.17 (3H, s, H-23), 2.86 (1H, dd,  $J = 13.5, 3.9$  Hz, H-18), 2.90 (1H, d,  $J = 9.8$  Hz, H-3), 3.62 (1H, m, H-2), 5.30 (1H, t,  $J = 3.4$  Hz, H-12);  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 48.5 (C-1), 69.5 (C-2), 84.5 (C-3), 40.6 (C-4), 56.7 (C-5), 19.6 (C-6), 33.6 (C-7), 40.5 (C-8), 48.2 (C-9), 39.3 (C-10), 24.0 (C-11), 123.4 (C-12), 145.4 (C-13), 42.8 (C-14), 28.8 (C-15), 24.6 (C-16), 47.7 (C-17), 43.0 (C-18), 47.3 (C-19), 31.6 (C-20), 34.9 (C-21), 33.9 (C-22), 29.3 (C-23), 17.8 (C-24), 17.1 (C-25), 17.5 (C-26), 26.4 (C-27), 182.0 (C-28), 33.9 (C-29), 24.1 (C-30)。以上数据与文献报道一致<sup>[15]</sup>, 故鉴定化合物 **13** 为  $2\alpha$ -羟基齐墩果酸。

化合物 **14**: 白色固体(二氯甲烷);  $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 0.88 (3H, s, H-24), 1.11 (3H, s, H-26), 0.93 (3H, d,  $J = 6.7$  Hz, H-30), 1.19 (3H, s, H-25), 1.21 (3H, s, H-23), 1.23 (3H, s, H-29), 1.35 (3H, s, H-27), 5.35 (1H, t,  $J = 3.4$  Hz, H-12), 6.29 (1H, s, H-1);  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 130.0 (C-1), 146.0 (C-2), 202.4 (C-3), 45.5 (C-4), 55.3 (C-5), 20.3 (C-6), 34.0 (C-7), 39.5 (C-8), 44.1 (C-9), 43.1 (C-10), 24.7 (C-11), 130.2 (C-12), 140.5 (C-13), 43.0 (C-14), 29.6 (C-15), 26.8 (C-16), 48.8 (C-17), 55.1 (C-18), 73.5 (C-19), 41.7 (C-20), 2.1 (C-21), 39.0 (C-22), 28.1 (C-23), 22.3 (C-24), 20.1 (C-25), 17.9 (C-26), 24.7 (C-27), 182.4 (C-28), 27.3 (C-29), 16.6 (C-30)。以上数据与文献报道一致<sup>[16]</sup>, 故鉴定化合物 **14** 为覆盆子酸。

化合物 **15**: 黄色固体(甲醇);  $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 8.08 (2H, d,  $J = 8.7$  Hz, H-2', 6'), 6.90 (2H, d,  $J = 8.7$  Hz, H-3', 5'), 6.38 (1H, d,  $J = 1.7$  Hz, H-8), 6.17 (1H, d,  $J = 1.7$  Hz, H-6)。以上数据与文献报道一致<sup>[17]</sup>, 故鉴定化合物 **15** 为山柰酚。

化合物 **16**: 黄色固体(二氯甲烷);  $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{DMSO-}d_6$ )  $\delta$ : 8.03 (2H, d,  $J = 9.0$  Hz, H-2', 6'), 6.86 (2H, d,  $J = 8.9$  Hz, H-3', 5'), 6.39 (1H, d,  $J = 1.7$  Hz, H-8), 6.16 (1H, d,  $J = 1.7$  Hz, H-6), 5.47 (1H, d,  $J = 7.4$  Hz, glc-H-1'');  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,

DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 156.3 (C-2), 133.1 (C-3), 177.2 (C-4), 161.0 (C-5), 98.8 (C-6), 164.4 (C-7), 93.7 (C-8), 156.3 (C-9), 103.8 (C-10), 120.6 (C-1'), 130.9 (C-2', 6'), 115.1 (C-3', 5'), 160.1 (C-4'), 101.1 (C-1''), 75.3 (C-2''), 76.0 (C-3''), 71.7 (C-4''), 73.8 (C-5''), 171.2 (C-6''). 以上数据与文献报道一致<sup>[18]</sup>, 故鉴定化合物 **16** 为山柰酚-3-*O*- $\beta$ -D-葡萄糖醛酸苷。

化合物 **17**: 黄色固体 (甲醇);  $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 7.58 (1H, s, H-2'), 7.58 (1H, overlapped, H-6'), 6.84 (1H, d,  $J = 8.2$  Hz, H-5'), 6.37 (1H, d,  $J = 1.9$  Hz, H-8), 6.18 (1H, d,  $J = 2.0$  Hz, H-6), 5.23 (1H, d,  $J = 7.7$  Hz, glc-H-1''), 3.77 (1H, d,  $J = 9.8$  Hz, H-5''), 3.65 (3H, s, 6''-OMe), 3.57 (1H, t,  $J = 9.2$  Hz, H-2''), 3.52 (1H, dd,  $J = 9.1, 7.8$  Hz, H-4''), 3.47 (1H, t,  $J = 9.1$  Hz, H-3''). 以上数据与文献报道一致<sup>[19]</sup>, 故鉴定化合物 **17** 为槲皮素-3-*O*- $\beta$ -D-葡萄糖醛酸-6''-甲酯。

#### 4 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性测定

按文献方法<sup>[20]</sup>, 以 4-硝基苯基- $\alpha$ -吡喃葡萄糖苷 (PNPG) 为底物测定翻白草乙醇提取物、乙醇提取物的不同萃取物的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性, 根据筛选试验结果对具有明显抑制活性的二氯甲烷 (PDC)、醋酸乙酯 (PDE)、正丁醇 (PDB30) 等萃取物经 D101 大孔吸附树脂分离的 30% 乙醇水洗脱部分进行了化学成分研究, 并对分离得到的化合物及前期本课题组在 PDB30 部分分离得到的鞣花酸 (**18**) 和 5 个木脂素类化合物包括翻白草木脂素 A (**19**)、翻白草木脂素 B (**20**)、(7*R*,8*S*)-4,7,9,3',9'-五羟基-3-甲氧基-8,4'-氧新木脂素-3'-*O*- $\beta$ -D-葡萄糖苷 (**21**)、(7*S*,8*R*)-4,7,9,3',9'-五羟基-3-甲氧基-8,4'-氧新木脂素-3'-*O*- $\beta$ -D-葡萄糖苷 (**22**)、(7*S*,8*S*)-4,7,9,3',9'-五羟基-3-甲氧基-8,4'-氧新木脂素-3'-*O*- $\beta$ -D-葡萄糖苷 (**23**)<sup>[21]</sup>进行了  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性筛选实验 (表 1), 阳性对照为阿卡波糖, 阴性对照为 DMSO-PBS 缓冲溶液。取 50  $\mu\text{L}$  样品与 50  $\mu\text{L}$   $\alpha$ -葡萄糖苷酶溶液 (0.25 U/mL) 充分混合后在 37  $^{\circ}\text{C}$  下孵育 10 min, 之后加入 50  $\mu\text{L}$  PNPG (4 mmol/L) 再次在 37  $^{\circ}\text{C}$  下孵育 30 min, 最后加入 200  $\mu\text{L}$   $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液 (0.2 mol/L) 终止反应。接着取 200  $\mu\text{L}$  的混合物至 96 孔板中, 使用酶标仪测量每孔在 405 nm 下的吸光度值, 计算化合物的  $\text{IC}_{50}$  值。每组样品设置 3 组平行, 取其平均值。结果表明, 化合物 **9**~**17** 对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶有抑制作用。

表 1 翻白草中化合物的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性 ( $\bar{x} \pm s, n = 3$ )

Table 1  $\alpha$ -Glucosidase inhibitory activities of compounds isolated from *P. discolor* ( $\bar{x} \pm s, n = 3$ )

| 化合物       | $\text{IC}_{50}/(\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$ | 化合物       | $\text{IC}_{50}/(\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$ |
|-----------|------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------|
| <b>2</b>  | >250                                                 | <b>16</b> | $28.6 \pm 0.7$                                       |
| <b>6</b>  | >250                                                 | <b>17</b> | $23.7 \pm 1.3$                                       |
| <b>9</b>  | $88.5 \pm 1.1$                                       | <b>18</b> | $9.0 \pm 0.1$                                        |
| <b>10</b> | $12.0 \pm 0.6$                                       | <b>19</b> | $102.2 \pm 0.4$                                      |
| <b>11</b> | $5.9 \pm 0.3$                                        | <b>20</b> | $202.3 \pm 1.2$                                      |
| <b>12</b> | $103.1 \pm 1.1$                                      | <b>21</b> | $174.8 \pm 1.0$                                      |
| <b>13</b> | $7.2 \pm 0.8$                                        | <b>22</b> | $211.0 \pm 0.2$                                      |
| <b>14</b> | $17.5 \pm 0.8$                                       | <b>23</b> | $229.4 \pm 0.7$                                      |
| <b>15</b> | $3.3 \pm 0.5$                                        | 阿卡波糖      | $768.0 \pm 1.1$                                      |

#### 5 讨论

本实验采用多种色谱技术, 从翻白草中分离得到了 17 个化合物, 主要包括三萜类、黄酮类和木脂素等类化合物, 其中 7 个化合物包括 **1**、**3**~**8** 为首次从委陵菜属植物中分离得到。 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性测试结果表明, 鞣花酸及多种三萜类、黄酮类和木脂素类化合物均对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶有不同程度的抑制作用。研究结果表明鞣花酸、三萜类、黄酮类、木脂素类成分可能是翻白草降血糖作用的药效物质基础, 为阐明翻白草的降血糖作用, 以及寻找具有降血糖活性的植物提取物或活性成分提供了科学依据。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

- [1] Choudhary A, Mittal A K, Radhika M, et al. Two new stereoisomeric antioxidant triterpenes from *Potentilla fulgens* [J]. *Fitoterapia*, 2013, 91: 290-297.
- [2] 江苏新医学院. 中药大辞典 [M]. 上海: 上海科技出版社, 1986: 2705.
- [3] 薛培凤, 尹婷, 梁鸿, 等. 翻白草化学成分研究 [J]. 中国药理学杂志, 2005, 40(14): 1052-1054.
- [4] 李晓男, 陈燕燕, 周江韬, 等. 紫叶李果实的化学成分研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2015, 27(8): 1362-1364.
- [5] Tarak M, Khawla K, Graziano G, et al. Phytochemical constituents of *Thymelaea microphylla* Coss. et Dur. from Algeria [J]. *Der Pharmacia Lettre*, 2014, 6(1): 152-156.
- [6] Ibrahim L F, El-Senousy W M, Hawas U W. NMR spectral analysis of flavonoids from *Chrysanthemum coronarium* [J]. *Chem Nat Compd*, 2007, 43(6): 659-662.
- [7] Brkljača R, White J M, Urban S. Phytochemical investigation of the constituents derived from the

- Australian plant *Macropidia fuliginosa* [J]. *J Nat Prod*, 2015, 78(7): 1600-1608.
- [8] Sadhu S K, Khatun A, Phattanawasin P, *et al.* Lignan glycosides and flavonoids from *Saraca asoca* with antioxidant activity [J]. *J Nat Med*, 2007, 61(4): 480-482.
- [9] Kim K H, Moon E, Kim S Y, *et al.* Lignan constituents of *Tilia amurensis* and their biological evaluation on antitumor and anti-inflammatory activities [J]. *Food Chem Toxicol*, 2012, 50(10): 3680-3686.
- [10] Le H T, Ha do T, Minh C T, *et al.* Constituents from the stem barks of *Canarium bengalense* with cytoprotective activity against hydrogen peroxide-induced hepatotoxicity [J]. *Arch Pharm Res*, 2012, 35(1): 87-92.
- [11] 高雯. 委陵菜的化学成分研究 [D]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2007.
- [12] 王琦. 金银花的化学成分研究 [D]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2008.
- [13] 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.
- [14] 刘学贵, 张文超, 金梅, 等. 金樱子果实中三萜类成分的分离与鉴定 [J]. *沈阳药科大学学报*, 2013, 30(11): 851-857.
- [15] 刘普, 段宏泉, 潘勤, 等. 委陵菜三萜成分研究 [J]. *中国中药杂志*, 2006, 31(22): 1875-1879.
- [16] 代华年, 马国需, 邹节明, 等. 金樱子根三萜类的化学成分研究 [J]. *中草药*, 2016, 47(3): 374-378.
- [17] 段绪红, 张学文, 秦梦, 等. 东亚小金发藓化学成分研究 [J]. *中草药*, 2020, 51(15): 3863-3868.
- [18] Wang Q, Xu D R, Shi X H, *et al.* Flavones from *Potentilla discolor* Bunge [J]. *Chin J Nat Med*, 2010, 7(5): 361-364.
- [19] He Z N, Lian W W, Liu J W, *et al.* Isolation, structural characterization and neuraminidase inhibitory activities of polyphenolic constituents from *Flos caryophylli* [J]. *Phytochem Lett*, 2017, 19: 160-167.
- [20] Kumar D, Ghosh R, Pal B C. A-glucosidase inhibitory terpenoids from *Potentilla fulgens* and their quantitative estimation by validated HPLC method [J]. *J Funct Foods*, 2013, 5(3): 1135-1141.
- [21] Wang W, Ma X J, Su Y F, *et al.* Two new neolignans and one new benzyl benzoate glycoside from *Potentilla discolor* [J]. *Phytochem Lett*, 2020, 39: 25-29.

[责任编辑 王文倩]