

• 化学成分 •

绞股蓝中 1 个新的葫芦烷型皂苷类化合物

娄云云^{1,2}, 牟龙², 黄亚萍², 张健³, 殷志琦², 潘珂^{1*}

1. 中国药科大学中药学院 天然药物化学系, 江苏 南京 211198

2. 中国药科大学中药学院 中药制药系&天然药物活性组分与药效国家重点实验室, 江苏 南京 210009

3. 江苏省中医药研究院转化医学实验室, 江苏 南京 210028

摘要: 目的 对绞股蓝 *Gynostemma pentaphyllum* 的总皂苷提取物进行化学成分研究。方法 综合应用多种色谱技术进行分离纯化, 通过各种现代谱学技术对化合物进行结构鉴定。结果 从绞股蓝的总皂苷提取物中分离得到 2 个葫芦烷型三萜皂苷类化合物, 分别鉴定为葫芦素 L-2-O-[[α -L-吡喃鼠李糖基-(1 \rightarrow 2)]][α -L-吡喃阿拉伯糖基-(1 \rightarrow 3)]- β -D-吡喃葡萄糖基]-25-O- β -D-吡喃木糖苷(1)、葫芦素 L-2-O-[[α -L-吡喃鼠李糖基-(1 \rightarrow 2)]][α -L-吡喃阿拉伯糖基-(1 \rightarrow 3)]- β -D-吡喃葡萄糖苷(2)。结论 化合物 1 为 1 个新化合物, 命名为绞股蓝葫芦皂苷 A。

关键词: 绞股蓝; 绞股蓝属; 葫芦烷型; 三萜皂苷; 绞股蓝葫芦皂苷 A; 葫芦素 L-2-O-[[α -L-吡喃鼠李糖基-(1 \rightarrow 2)]][α -L-吡喃阿拉伯糖基-(1 \rightarrow 3)]- β -D-吡喃葡萄糖苷

中图分类号: R284.1 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2021)07-1872-05

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2021.07.002

A new cucurbitane-type saponin from *Gynostemma pentaphyllum*

LOU Yun-yun^{1,2}, MU Long², HUANG Ya-ping², ZHANG Jian³, YIN Zhi-qi², PAN Ke¹

1. Department of Natural Medicinal Chemistry, School of Traditional Chinese Pharmacy, China Pharmaceutical University, Nanjing 211198, China

2. Department of TCMs Pharmaceuticals & State Key Laboratory of Active Components and Efficacy of Natural Medicines, School of Traditional Chinese Pharmacy, China Pharmaceutical University, Nanjing 210009, China

3. Laboratory of Translational Medicine, Jiangsu Provincial Academy of Traditional Chinese Medicine, Nanjing 210028, China

Abstract: Objective To further study the chemical constituents from the total saponin extract of Jiaogulan (*Gynostemma pentaphyllum*). **Methods** The chemical constituents of *G. pentaphyllum* were separated and purified by chromatographic methods and structurally elucidated by means of various spectroscopic techniques. **Results** Two cucurbitane-type saponins were isolated from the total saponin extract of *G. pentaphyllum*, and identified as cucurbitacin L-2-O-[[α -L-rhamnopyranosyl-(1 \rightarrow 2)]][α -L-arabinopyranosyl-(1 \rightarrow 3)]- β -D-glucopyranosyl]-25-O- β -D-xylopyranoside (1), cucurbitacin L-2-O-[[α -L-rhamnopyranosyl-(1 \rightarrow 2)]][α -L-arabinopyranosyl-(1 \rightarrow 3)]- β -D-glucopyranoside (2). **Conclusion** Compound 1 is a new compound named cucurbitane-gypenoside A.

Key words: *Gynostemma pentaphyllum* (Thunb.) Makino; *Gynostemma*; cucurbitane-type; triterpenoid saponin; cucurbitane-gypenoside A; cucurbitacin L-2-O-[[α -L-rhamnopyranosyl-(1 \rightarrow 2)]][α -L-arabinopyranosyl-(1 \rightarrow 3)]- β -D-glucopyranoside

绞股蓝 *Gynostemma pentaphyllum* (Thunb.) Makino, 别名五爪龙、七叶参、公罗锅底, 葫芦科 (Cucurbitaceae) 绞股蓝属 *Gynostemma* Bl. 草本植

物, 生于海拔 300~3200 m 的灌丛、路旁草丛、山谷密林和山坡疏林中。主要分布于我国陕西南部及长江以南各省, 以及韩国、日本、马来西亚等地^[1-2]。

收稿日期: 2020-11-23

基金项目: 江苏省高校青蓝工程资助项目; 大学生创新创业训练计划项目成果 (202010316044S); 2020 年江苏省研究生科研创新计划 (KYCX20_0676)

作者简介: 娄云云, 男, 硕士, 研究方向为天然药物化学。E-mail: 17805936864@163.com

*通信作者: 潘珂, 副教授。E-mail: kpan@cpu.edu.cn

绞股蓝作为药食两用植物,有着“南方人参”的美誉,不仅具有清热解毒、止咳祛痰的功效^[1],还具有治疗高脂血症、病毒性肝炎、慢性胃炎等功效^[2],而且在东南亚国家长期以来被广泛用作蔬菜、凉茶和膳食补充剂^[3]。化学成分研究表明,绞股蓝中含有皂苷、黄酮、甾体、多糖、氨基酸等多种化学成分^[4-6]。其中绞股蓝皂苷被认为是绞股蓝的主要生物活性成分,目前已报道 200 余个绞股蓝皂苷,其中 8 个皂苷为人参皂苷,其结构类型均为达玛烷型四环三萜皂苷^[5]。周文超等^[7]首次从绞股蓝种子中分离纯化并鉴定得到葫芦烷型皂苷单体化合物,丰富了绞股蓝皂苷的结构类型。现代药理学研究表明,绞股蓝皂苷具有调血脂、保肝、抗肿瘤、改善认知功能障碍、抗炎等广泛药理活性^[3,4,8-11],显示出良好的应用前景。本研究旨在深入挖掘绞股蓝总皂苷提取物中的活性成分,从中分离纯化获得 2 个葫芦烷型三萜皂苷,分别鉴定为葫芦素 L-2-O- $\{[\alpha\text{-L}\text{-吡喃鼠李糖基}-(1\rightarrow2)]\}[\alpha\text{-L}\text{-吡喃阿拉伯糖基}-(1\rightarrow3)]\text{-}\beta\text{-D}\text{-吡喃葡萄糖基}\}$ -25-O- $\beta\text{-D}\text{-吡喃木糖苷}$ (cucurbitacin L-2-O- $\{[\alpha\text{-L}\text{-rhamnopyranosyl}-(1\rightarrow2)]\}[\alpha\text{-L}\text{-arabinopyranosyl}-(1\rightarrow3)]\text{-}\beta\text{-D}\text{-glucopyranosyl}\}$ -25-O- $\beta\text{-D}\text{-xylopyranoside}$, **1**)、葫芦素 L-2-O- $\{[\alpha\text{-L}\text{-吡喃鼠李糖基}-(1\rightarrow2)]\}[\alpha\text{-L}\text{-吡喃阿拉伯糖基}-(1\rightarrow3)]\text{-}\beta\text{-D}\text{-吡喃葡萄糖基}\}$ (cucurbitacin L-2-O- $\{[\alpha\text{-L}\text{-rhamnopyranosyl}-(1\rightarrow2)]\}[\alpha\text{-L}\text{-arabinopyranosyl}-(1\rightarrow3)]\text{-}\beta\text{-D}\text{-glucopyranoside}$, **2**)。其中化合物 **1** 为新化合物,命名为绞股蓝葫芦皂苷 A,化合物 **2** 为前人报道的从绞股蓝种子中分离得到的葫芦烷型皂苷。

1 仪器与材料

岛津 UV-2550 型紫外可见分光光度计(日本岛津公司);鲁道夫 Autopol IV 旋光仪(美国鲁道夫公司);布鲁克 Tensor 27 型红外光谱仪(德国布鲁克公司);布鲁克 Avance-300 及 Avance-500 型核磁共振波谱仪;安捷伦 Q-TOF-6520 型质谱仪(美国安捷伦公司);安捷伦 1260 Infinity 高效液相色谱仪;LabAlliance 半制备液相色谱仪(美国 SSI/LabAlliance 公司),半制备柱为 COSMOSIL 5C₁₈-AR-II(日本 COSMOSIL 公司);100~200 目和 200~300 目硅胶(青岛海洋化工厂);ODS RP-18 硅胶和硅胶 60 F₂₅₄ 薄层色谱板(德国 Merck 公司);ODS 填料(日本 YMC 公司);MCI 填料(日本三菱化学公司);甲醇、乙腈(色谱级,上海星可高纯溶剂有限公司),实验用水(杭州娃哈哈集团有限公

司),L-半胱氨酸甲酯盐酸盐(九鼎化学上海科技有限公司),邻甲苯异硫氰酸酯(上海安耐吉化学有限公司),D-葡萄糖、L-阿拉伯糖、L-鼠李糖、D-木糖(德国 Merck 公司),其他化学试剂均为分析纯。

湖南产地绞股蓝总皂苷提取物(批号 T20170203)由湖南华宝通制药有限公司提供,为绞股蓝地上部分(带果实)总皂苷提取物,原植物由中国药科大学中药学院秦民坚教授鉴定为绞股蓝 *G. pentaphyllum* (Thunb.) Makino,植物标本(20161108)保存于中国药科大学中药制药系。

2 提取与分离

取湖南产地绞股蓝总皂苷提取物 70.0 g,每次使用 10 倍量的甲醇超声提取 20 min,提取 5 次,合并提取液,滤过,浓缩,干燥,最终得到 2 个部位(纯甲醇不溶部位 Fr. 1 和纯甲醇可溶部位 Fr. 2)。Fr.2 (50.5 g)经 10%减活硅胶(取 1000 g 硅胶加入 100 mL 水,于摇床上混匀 24 h)柱色谱,以三氯甲烷-甲醇-水(100:0:0→0:100:0)梯度洗脱,得到 5 个流分(Fr. 2a~2e)。Fr. 2e (10.5 g)采用 10 倍量的甲醇超声提取 20 min,提取 5 次,合并提取液,滤过,浓缩,干燥,得到 2 个流分(纯甲醇不溶组份 Fr. 2e1 和纯甲醇可溶组份 Fr. 2e2)。Fr.2e2 进一步通过 MCI 柱色谱分离,以甲醇-水(5:95→100:0)梯度洗脱,得到 8 个流分(Fr. 2e2a~2e2h),随后 Fr. 2e2c 经 ODS 反相柱色谱,甲醇-水(5:95→100:0)梯度洗脱得到 5 个流分(Fr. 2e2c1~2e2c5)。Fr. 2e2c4 再经过半制备液相分离纯化,乙腈-水(21:79)等度洗脱,得到化合物 **1** ($t_R=42$ min, 65 mg)和 **2** ($t_R=53$ min, 30 mg)。

3 酸水解和液相分析

称取化合物 **1** (3.0 mg),加入 2 mol/L HCl (2.0 mL)、密封,于 90 °C 反应 3 h。反应液冷却后,将反应混合物用水稀释至 5 mL,用醋酸乙酯(5 mL×3)萃取,然后将水层浓缩得到单糖部分,与标准糖(D-葡萄糖、L-阿拉伯糖、D-木糖和 L-鼠李糖)进行薄层比较,Rf 值相同。接下来,将水解得到的单糖部分和标准糖分别溶于含有 L-半胱氨酸甲酯盐酸盐(2 mg)的吡啶(1 mL)中,并在 60 °C 下加热反应 1 h。接着,加入邻甲苯异硫氰酸酯(2 mg),并将溶液在 60 °C 下继续保持 1 h。对反应混合物进行 HPLC 分析 [Agilent Extend-C₁₈ 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm),流动相为乙腈-水(25:75),体积流量 1.0 mL/min,检测波长为 250 nm,柱温为 35 °C,

进样量为 10 μL]。通过比较标准糖衍生物和样品单糖衍生物的保留时间 (t_{R})，确定化合物中单糖的绝对构型 (D -葡萄糖 11.59 min, L -阿拉伯糖 13.37 min, D -木糖 13.74 min, L -鼠李糖 20.93 min)。

4 结构鉴定

化合物 **1**: 白色无定型粉末, 易溶于甲醇、吡啶等有机溶剂。 $[\alpha]_{\text{D}}^{20} -53.0^{\circ}$ (c 0.1, MeOH)。在紫外灯 254 nm 下有暗斑, 香草醛-浓硫酸反应显棕黄色, Liebermann-Burchard 和 Molish 反应均呈阳性, 酸水解及衍生化 HPLC 检出 D -葡萄糖、 L -鼠李糖、 L -阿拉伯糖和 D -木糖。 HR-TOF-MS 显示准分子离子峰 m/z : 1 106.537 0 $[\text{M}+\text{NH}_4]^+$ (计算值 1 106.537 8), 提示该化合物分子式为 $\text{C}_{52}\text{H}_{80}\text{O}_{24}$, 相对分子质量为 1088, 不饱和度为 13。 UV 光谱显示其在 254.5 nm 处有最大吸收; IR 光谱显示该化合物含有羟基吸收峰 (3398 cm^{-1}) 以及 C-H 键 ($2976, 2932\text{ cm}^{-1}$)、C=O 键 (1691 cm^{-1})、C=C 键 (1646 cm^{-1}) 的伸缩振动吸收峰。

$^1\text{H-NMR}$ 谱中显示该化合物含有 2 个烯氢信号 δ 6.40 (1H, d, $J = 2.5\text{ Hz}$), 5.64 (1H, brs), 1 个连氧次甲基氢信号 δ 4.90 (1H, overlapped), 8 个甲基单峰氢信号 δ 1.63, 1.57, 1.43, 1.40, 1.40, 1.38, 1.21, 1.01。 $^{13}\text{C-NMR}$ 谱显示该化合物有 52 个碳信号, 其中 δ 216.1, 214.2, 196.9 为 3 个羰基碳信号, δ 147.0, 137.4, 121.3, 121.3 为 2 对烯碳信号, δ 27.8, 27.7, 27.6, 25.8, 21.1, 20.8, 20.5, 18.8 为 8 个甲基碳信号。以上特征信号提示化合物 **1** 的苷元结构为葫芦烷型三萜^[12-13]。此外, $^1\text{H-NMR}$ 谱中显示 δ 5.59 (1H, d, $J = 7.5\text{ Hz}$), 4.95 (1H, d, $J = 7.5\text{ Hz}$), 4.89 (1H, d, $J = 7.5\text{ Hz}$) 的糖端基氢信号, 偶合常数提示苷键为 β - D 或 α - L 型, 且 $^{13}\text{C-NMR}$ 谱也显示了相应的端基碳信号 δ 105.8、99.8、98.5 以及糖环上其他碳信号。而 δ 6.22 (1H, brs) 的糖端基氢信号、甲基双峰氢信号 δ 1.77 (3H, d, $J = 6.5\text{ Hz}$), 结合其糖端基碳信号 δ 103.2 和甲基碳信号 δ 19.2, 进一步证实了 α - L -鼠李糖基的存在。结合上述信息, 并与本实验分离得到的化合物 **2** 以及文献报道的碳氢数据对照, 进一步证实了化合物 **1** 中 β - D -葡萄糖基、 α - L -阿拉伯糖基、 α - L -鼠李糖基和 β - D -木糖基的存在, 并且苷元 2 位的糖链与文献中报道一致^[7]。

通过 HSQC 将化合物 **1** 的碳氢相关信号进行归属, 再结合 $^1\text{H-}^1\text{H COSY}$ 、TOCSY、HMBC 谱 (图 1) 数据确定其平面结构。利用 TOCSY 谱并分别从

4 个糖端基氢出发, 得到 4 个糖基的自旋偶合体系和碳氢信号归属。糖的连接位置和顺序进一步通过 HMBC 谱加以确定, $\delta_{\text{H}} 5.59$ (H-1') 与 $\delta_{\text{C}} 147.0$ (C-2) 相关, 证实葡萄糖基 Glc' 连接在苷元的 C-2 位, $\delta_{\text{H}} 6.22$ (H-1'') 与 $\delta_{\text{C}} 78.4$ (C-2') 相关, $\delta_{\text{H}} 4.95$ (H-1''') 与 $\delta_{\text{C}} 88.3$ (C-3') 相关, 说明化合物 **1** 的 C-2 位糖链为 Rha''-(1 \rightarrow 2)-Ara'''-(1 \rightarrow 3)-Glc'; $\delta_{\text{H}} 4.89$ (H-1''''') 与 $\delta_{\text{C}} 77.1$ (C-25) 的相关信号证实木糖基 Xyl'''' 连接在苷元的 C-25 位。化合物的相对构型通过 NOESY 谱 (图 2) 确定。 $\delta_{\text{H}} 4.90$ (H-16) 与 $\delta_{\text{H}} 1.21$ (H-18) 有相关信号, 说明 H-16 为 β 构型; $\delta_{\text{H}} 1.63$ (H-21)、 $\delta_{\text{H}} 1.57$ (H-30) 与 $\delta_{\text{H}} 3.00$ (H-17) 均有相关信号, 结合已报道葫芦烷型相关衍生物关于 C-20 位构型的确定及相关 NOESY 信号分析^[13-14], 进一步证实 C-20 的构型为 R 。

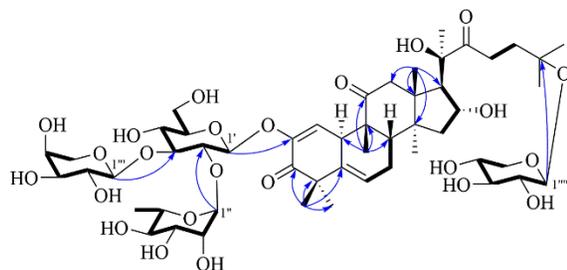


图 1 化合物 **1** 的关键 $^1\text{H-}^1\text{H COSY}$ (—) 和 HMBC (H \rightarrow C) 相关

Fig. 1 Key $^1\text{H-}^1\text{H COSY}$ (—) and HMBC (H \rightarrow C) correlations of compound **1**

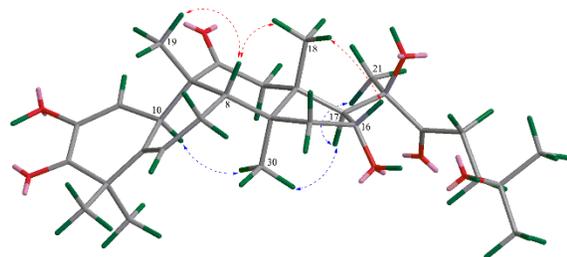


图 2 化合物 **1** 苷元部分的关键 NOESY 相关

Fig. 2 Key NOESY correlations to aglycone part of compound **1**

综合上述信息, 确定化合物 **1** 的结构为葫芦素 L-2-O-[[α - L -吡喃鼠李糖基-(1 \rightarrow 2)]] [α - L -吡喃阿拉伯糖基-(1 \rightarrow 3)]- β - D -吡喃葡萄糖基}-25-O- β - D -吡喃木糖苷, 为 1 个新化合物, 命名为绞股蓝葫芦皂苷 A。结构见图 3, NMR 数据见表 1。

化合物 **2**: 白色无定型粉末, 易溶于甲醇、吡啶等有机溶剂; 在紫外灯 254 nm 下有暗斑; 香草醛-浓硫酸反应显棕黄色; ESI-MS m/z : 955 $[\text{M}-\text{H}]^-$ 。

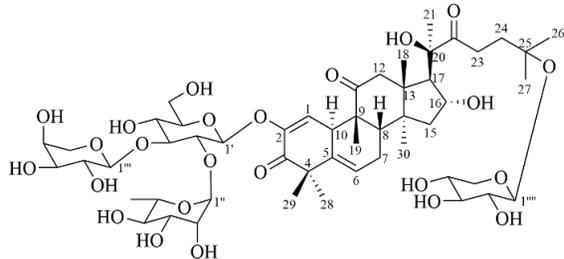


图3 化合物1的结构

Fig. 3 Chemical structure of compound 1

¹H-NMR (500 MHz, C₅D₅N) δ: 6.41 (1H, d, *J* = 2.5 Hz, H-1), 6.21 (1H, brs, H-1''), 5.66 (1H, brs, H-6), 5.58 (1H, d, *J* = 7.5 Hz, H-1'), 4.95 (1H, d, *J* = 8.0 Hz,

H-1'''), 2.99 (1H, d, *J* = 7.0 Hz, H-17), 1.64 (3H, s, H-21), 1.54 (3H, s, H-30), 1.42 (3H, s, H-29), 1.41 (3H, s, H-28), 1.39 (3H, s, H-27), 1.39 (3H, s, H-26), 1.21 (3H, s, H-18), 1.02 (3H, s, H-19); ¹³C-NMR (125 MHz, C₅D₅N) δ: 121.4 (C-1), 147.0 (C-2), 196.9 (C-3), 50.1 (C-4), 137.4 (C-5), 121.3 (C-6), 24.3 (C-7), 42.2 (C-8), 49.6 (C-9), 36.0 (C-10), 214.2 (C-11), 50.1 (C-12), 51.3 (C-13), 49.1 (C-14), 46.9 (C-15), 70.7 (C-16), 59.4 (C-17), 20.7 (C-18), 20.5 (C-19), 80.5 (C-20), 25.9 (C-21), 216.5 (C-22), 33.2 (C-23), 38.9 (C-24), 69.5 (C-25), 30.2 (C-26), 30.5 (C-27), 21.1 (C-28), 27.7 (C-29), 18.7 (C-30); C₂-Glc':

表1 化合物1的¹H-和¹³C-NMR数据(500/125 MHz, C₅D₅N)

Table 1 ¹H and ¹³C NMR spectral data of compound 1 (500/125 MHz, C₅D₅N)

碳位	δ _C		δ _H	碳位	δ _C		δ _H
1	121.3	t	6.40 (d, <i>J</i> = 2.5 Hz)	27	27.7	p	1.40 (s)
2	147.0	q	—	28	21.1	p	1.40 (s)
3	196.9	q	—	29	27.8	p	1.43 (s)
4	50.1	q	—	30	18.8	p	1.57 (s)
5	137.4	q	—	1'	98.5	t	5.59 (d, <i>J</i> = 7.5 Hz)
6	121.3	t	5.64 (brs)	2'	78.4	t	4.33 ^{a)}
7	24.3	s	2.15 (m), 1.94 (m)	3'	88.3	t	4.11 ^{a)}
8	42.2	t	1.96 ^{a)}	4'	69.0	t	4.18 ^{a)}
9	49.5	q	—	5'	78.6	t	3.86 (m)
10	36.0	t	3.70 (m)	6'	62.0	s	4.50 ^{a)} , 4.34 ^{a)}
11	214.2	q	—	1''	103.2	t	6.22 (brs)
12	50.1	s	3.35 (d, <i>J</i> = 14.5 Hz), 2.94 (d, <i>J</i> = 14.5 Hz)	2''	72.8	t	4.88 ^{a)}
13	51.3	q	—	3''	73.1	t	4.49 ^{a)}
14	49.1	q	—	4''	74.6	t	4.23 ^{a)}
15	46.9	s	1.90 (m), 1.70 (d, <i>J</i> = 14.5 Hz)	5''	70.4	t	4.60 (m)
16	70.7	t	4.90 ^{a)}	6''	19.2	p	1.77 (d, <i>J</i> = 6.5 Hz)
17	59.2	t	3.00 (d, <i>J</i> = 7.5 Hz)	1'''	105.8	t	4.95 (d, <i>J</i> = 7.5 Hz)
18	20.8	p	1.21 (s)	2'''	75.0	t	3.93 (t, <i>J</i> = 8.0 Hz)
19	20.5	p	1.01 (s)	3'''	78.7	t	4.05 ^{a)}
20	80.4	q	—	4'''	71.0	t	4.10 ^{a)}
21	25.8	p	1.63 (s)	5'''	67.6	s	4.25 ^{a)} , 3.68 (m)
22	216.1	q	—	1''''	99.8	t	4.89 (d, <i>J</i> = 7.5 Hz)
23	32.6	s	3.54 (m), 3.28 (m)	2''''	75.7	t	3.87 (m)
24	36.3	s	2.29 (m), 2.21 (m)	3''''	79.0	t	4.10 ^{a)}
25	77.1	q	—	4''''	71.6	t	4.14 ^{a)}
26	27.6	p	1.38 (s)	5''''	67.3	s	4.24 ^{a)} , 3.62 (m)

^{a)}重叠信号

^{a)}overlapped

98.5 (C-1'), 78.6 (C-2'), 88.3 (C-3'), 69.0 (C-4'), 78.4 (C-5'), 62.0 (C-6'); Rha'': 103.2 (C-1''), 72.8 (C-2''), 73.2 (C-3''), 74.6 (C-4''), 70.4 (C-5''), 19.2 (C-6''); Ara''': 105.8 (C-1'''), 75.0 (C-2'''), 78.7 (C-3'''), 71.0 (C-4'''), 67.6 (C-5'''). 以上数据与文献报道基本一致^[7], 故鉴定化合物 **2** 为葫芦素 L-2-O- $[\alpha$ -L-吡喃鼠李糖基-(1 \rightarrow 2)] $[\alpha$ -L-吡喃阿拉伯糖基-(1 \rightarrow 3)]- β -D-吡喃葡萄糖苷。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 1986: 269-270.
- [2] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草 5 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1998: 532-538.
- [3] Wang J, Zhao M, Cheng X, *et al.* Dammarane-type saponins from *Gynostemma pentaphyllum* prevent hypoxia-induced neural injury through activation of ERK, Akt, and CREB pathways [J]. *J Agric Food Chem*, 2020, 68(1): 193-205.
- [4] 范冬冬, 匡艳辉, 向世颢, 等. 绞股蓝化学成分及其药理活性研究进展 [J]. 中国药学杂志, 2017, 52(5): 342-352.
- [5] 沈子琳, 王振波, 侯会芳, 等. 绞股蓝的化学成分和药理作用及应用研究新进展 [J]. 人参研究, 2020, 32(5): 59-64.
- [6] 伍国怡. 药用植物绞股蓝的研究进展 [J]. 中国民族民间医药, 2016, 25(12): 60-63.
- [7] 周文超. 绞股蓝种子中新皂苷的提取及其消炎活性研究 [J]. 云南化工, 2018, 45(8): 34-37.
- [8] 张瑶丹, 姜新宇, 操兰洁, 等. 绞股蓝总苷颗粒改善高脂血症 C57BL/6J 小鼠脂代谢的研究 [J]. 中国药科大学学报, 2019, 50(6): 713-720.
- [9] Xia X Y, Xu J, Wang X D, *et al.* Jiaogulan tea (*Gynostemma Pentaphyllum*) potentiates the antidiabetic effect of white tea via the AMPK and PI3K pathways in C57BL/6 mice [J]. *Food Funct*, 2020, 11(5): 4339-4355.
- [10] Yin M J, Zhang J J, Wang L Z, *et al.* Ten new dammarane-type saponins with hypolipidemia activity from a functional herbal tea-*Gynostemma pentaphyllum* [J]. *Molecules*, 2020, 25(16): E3737.
- [11] 王翌, 尹跃, 边媛媛, 等. 绞股蓝三萜类化合物及其抑制 α -葡萄糖苷酶和蛋白酪氨酸磷酸酶 1B 的活性研究 [J]. 中草药, 2020, 51(24): 6142-6150.
- [12] Wang D C, Pan H Y, Deng X M, *et al.* Cucurbitane and hexanorcucurbitane glycosides from the fruits of *Cucurbita pepo* cv *dayangua* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2007, 9(6): 525-529.
- [13] Chen J C, Chiu M H, Nie R L, *et al.* Cucurbitacins and cucurbitane glycosides: Structures and biological activities [J]. *Nat Prod Rep*, 2005, 22(3): 386-399.
- [14] Gan M, Liu M, Liu B, *et al.* Cucurbitane glucosides from the root of *Machilus yaoshansis* [J]. *J Nat Prod*, 2011, 74(11): 2431-2437.

[责任编辑 王文倩]