

## 骆驼刺醋酸乙酯部位的化学成分研究

高艺玮<sup>1</sup>, 石磊岭<sup>2</sup>, 孙宇<sup>2</sup>, 卿德刚<sup>2</sup>, 宋海龙<sup>2\*</sup>, 韩莉莉<sup>3,4\*</sup>

1. 吉林农业大学中药材学院, 吉林 长春 130118

2. 新疆维吾尔自治区药物研究院, 国家中医药管理局新疆中药民族药资源重点实验室, 新疆中药资源研究与开发重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011

3. 新疆宫颈癌防治临床医学研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830001

4. 新疆维吾尔自治区人民医院妇科医学诊疗中心, 新疆 乌鲁木齐 830001

**摘要:** **目的** 研究骆驼刺 *Alhagi sparsifolia* 醋酸乙酯部位的化学成分。**方法** 采用硅胶、凝胶、ODS 等柱色谱结合半制备液相色谱技术进行分离纯化, 通过现代波谱学技术对化合物进行结构鉴定。同时采用 MTT 法测试各化合物抗人宫颈癌 HeLa 细胞的活性。**结果** 从骆驼刺醋酸乙酯提取物中共分离得到 15 个化合物, 分别鉴定为 1-[1-[4-(4-羟基苯乙氧基)苯基]乙基]-1*H*-吡咯-2-基]乙酮 (1)、5,7-二羟基-6-甲氧基黄酮 (2)、callyspongidiptide A (3)、环 *D*-脯氨酸-*D*-缬氨酸 (4)、7-*O*-乙基愈创木基甘油 (5)、7-*O*-乙基愈创木基甘油 (6)、isololiolide (7)、*N*-苯乙基乙酰胺 (8)、黄芩新素 II (9)、4-羟基苯乙醇 (10)、*N*-苯乙基甲酰胺 (11)、3'-甲氧基大豆苷元 (12)、环(丙氨酸-脯氨酸) (13)、*N*-(对羟基苯乙基)甲酰胺 (14)、*N*-乙酰基酪胺 (15)。**结论** 化合物 1 为新化合物, 命名为骆驼刺吡咯碱 A。化合物 1、5 和 6 具有抗宫颈癌活性, 对 HeLa 细胞半数抑制浓度 (median inhibition concentration, IC<sub>50</sub>) 值分别为 31.4、26.6、37.3 μmol/L。

**关键词:** 骆驼刺吡咯碱 A; 宫颈癌; 骆驼刺; 骆驼刺吡咯碱 A; 7-*O*-乙基愈创木基甘油; 7-*O*-乙基愈创木基甘油; 黄芩新素 II  
**中图分类号:** R284.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2026)05-1603-07

**DOI:** 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.05.002

## Chemical constituents of ethyl acetate extract from *Alhagi sparsifolia*

GAO Yiwei<sup>1</sup>, SHI Leiling<sup>2</sup>, SUN Yu<sup>2</sup>, QING Degang<sup>2</sup>, SONG Hailong<sup>2</sup>, HAN Lili<sup>3,4</sup>

1. College of Chinese Medicinal Materials, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China

2. Xinjiang Institute of Materia Medica; Key Laboratory of Xinjiang Uygur Autonomous Region for Research and Development of Chinese and Ethnic Medicinal Resources; National Administration of Traditional Chinese Medicine Key Laboratory for Resources of Chinese Medicine in Xinjiang, Urumqi 830011, China

3. Xinjiang Clinical Research Center for Cervical Cancer Prevention and Treatment, Urumqi 830001, China;

4. Gynecological Medical Diagnosis and Treatment Center, People's Hospital of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830001, China

**Abstract: Objective** To study the chemical constituents from the ethyl acetate extract of *Alhagi sparsifolia* Shap. **Methods** The compounds were isolated and purified by silica gel, Sephadex LH-20, ODS column chromatography, and semi-preparative HPLC, and their structures were identified by modern spectroscopic techniques. The anti-cervical cancer activities of the compounds against human HeLa cells were evaluated by the MTT assay. **Results** Fifteen compounds were isolated from the ethyl acetate extract of *A. sparsifolia* and identified as 1-{1-[4-(4-hydroxyphenethoxy)phenethyl]-1*H*-pyrrol-2-yl}ethan-1-one(1), 5,7-dihydroxy-6-methoxyflavone (2), callyspongidiptide A (3), cyclo-(*D*-proline-*D*-valine) (4), 7-*O*-ethylguaiacyl glycerol (5), 7-*O*-ethylguaiacyl glycerol (6), isololiolide (7), *N*-phenethylacetamide (8), skullcapflavone II (9), 4-hydroxyphenethyl alcohol (10), *N*-phenethylformamide (11), 3'-methoxydaidzein (12), cyclo(alanine-proline) (13), *N*-(*p*-hydroxyphenethyl)formamide (14), and *N*-acetyltyramine (15). **Conclusions**

收稿日期: 2025-12-18

基金项目: 新疆维吾尔自治区重点研发计划项目 (2022B03018-4)

作者简介: 高艺玮 (1999—), 女, 硕士研究生, 研究方向为中药学。E-mail: gao134950@163.com

\*通信作者: 宋海龙 (1973—), 男, 正高级实验师, 从事中药学研究。E-mail: xjwssong@126.com

韩莉莉 (1977—), 女, 博士生导师, 主任医师, 研究方向为妇科肿瘤。E-mail: hanliliabcd@163.com

Compound **1** is a new compound and named as alhagipyrrolizidine A. Compounds **1**, **5** and **6** showed significant activity against human HeLa cells, with IC<sub>50</sub> values of 31.4, 26.6 and 37.3 μmol/L, respectively.

**Key words:** alhagipyrrolizidine A; cervical cancer; *Alhagi sparsifolia* Shap.; alhagipyrrolizidine A; 7-*O*-ethylguaiacyl glycerol; 7-*O*-ethylguaiacyl glycerol; skullcapflavone II

在我国西北地区生长的骆驼刺 *Alhagi sparsifolia* Shap. 为豆科 (Leguminosae) 蝶形花亚科 (Papilionoideae) 骆驼刺属 *Alhagi* Gagneb. 半灌木植物<sup>[1-2]</sup>, 是维吾尔医学 (新疆中药) 的传统药材<sup>[3]</sup>。其根系发达, 它是一种典型的深根植物, 根系可深达地下水层, 是沙漠干旱区生态系统的关键物种, 在生态保护方面起到防风固沙、改善土壤的作用。作为药用植物而言, 其地上部分和所分泌的刺糖是主要的药用部位<sup>[4-5]</sup>。据《中华本草·维吾尔药卷》记载, 刺糖药性平和, 味甜, 传统用于腹痛、腹泻、肠燥便秘以及体虚神疲等症<sup>[6]</sup>, 现代医学常被用来抗肿瘤、抗炎抗氧化和调节肠胃。地上部分则临床常用于风湿痹痛、咽喉肿痛、湿热黄疸, 具清热利尿、祛风止痛之功<sup>[7]</sup>。现代研究表明, 骆驼刺中主要含黄酮类 (如异鼠李素、槲皮素)、生物碱类、多糖类等药理活性成分, 具有调节免疫、抗菌、护肝、抗骨质疏松、抗溃疡及抗糖尿病、抗炎镇痛、降血糖、调节肠道菌群等作用<sup>[8]</sup>。

骆驼刺作为维吾尔民间习用已久、确有疗效的草药, 应用历史悠久。虽已有研究报道其化学成分, 但数量有限, 其药用价值的深度开发仍有局限。药效物质基础不明确, 尽管已有黄酮、生物碱等成分的报道, 但其药理活性的核心关键成分及构效关系尚未厘清, 同时抗肿瘤活性研究多停留在粗提物的筛选层面, 缺乏活性单位的深入研究和分析。因此, 对于骆驼刺的进一步挖掘及活性成分鉴定具有重要意义。为此, 本实验系统研究了骆驼刺醋酸乙酯部位的化学成分, 利用 ODS、硅胶等柱色谱方法进行分离纯化, 得到了 15 个化合物, 分别鉴定为骆驼刺吡咯碱 A (alhagipyrrolizidine A, **1**)、4-羟基苯乙醇 (4-hydroxyphenethyl alcohol, **2**)、*N*-苯乙基乙酰胺 (*N*-phenethylacetamide, **3**)、*N*-苯乙基甲酰胺 (*N*-phenethylformamide, **4**)、*N*-(对羟基苯乙基)甲酰胺 [*N*-(*p*-hydroxyphenethyl)formamide, **5**]、*N*-乙酰基酪胺 (*N*-acetyltyramine, **6**)、5,7-二羟基-6-甲氧基黄酮 (5,7-dihydroxy-6-methoxyflavone, **7**)、黄芩新素 II (skullcapflavone II, **8**)、3'-甲氧基大豆昔元 (3'-methoxydaidzein, **9**)、callyspongidiptide A (**10**)、

环 *D*-脯氨酸-*D*-缬氨酸 [cyclo (*D* proline *D* valine), **11**]、环(丙氨酸-脯氨酸)[cyclo(alanine proline), **12**]、isololiolide (**13**)、7-*O*-乙基愈创木基甘油 (7-*O*-ethylguaiacyl glycerol, **14**)、2-亚乙基-3-甲基琥珀酸 (2-ethylidene-3-methylsuccinic acid, **15**)。其中, 化合物 **1** 为新化合物, 命名为骆驼刺吡咯碱 A。结合其临床应用, 重点评价单体成分的抗人宫颈癌活性, 旨在明确其药效物质基础、发现潜在先导化合物, 为骆驼刺这一特色民族药的创新利用提供必要支撑。

## 1 仪器与材料

### 1.1 材料

骆驼刺于 2022 年 8 月采自新疆吐鲁番高昌区园艺镇, 经新疆中药民族药研究所王果平研究员鉴定为豆科蝶形花亚科骆驼刺属植物骆驼刺 *A. sparsifolia* Shap., 凭证标本号 (652101190529002 LY) 保存于新疆维吾尔自治区中药民族药研究所标本室。

### 1.2 试剂与仪器

R-1005 型双回流旋转蒸发器 (方圆仪器科技有限公司); Bruker AvanceIII 700 型 NMR (德国布鲁克公司); KH-700DB 型台式数控超声波清洗器 (苏州安源仪器有限公司); BYLABUVIII 型紫外灯 (诺雷信达科技有限公司); DLSB-5/10 型低温冷却液循环泵 (郑州长城科工贸有限公司); 半制备型液相色谱仪 (硅仪生化科技有限公司); RY C<sub>18</sub>-A 型半制备色谱柱 (250 mm×10 mm, 5 μm, 北京中科思源科技有限公司); 柱色谱硅胶 (创益化工有限公司); 薄层色谱硅胶 HF254 (永德茂科技有限公司); Rp-C<sub>18</sub> (北京谱朋科技有限公司); 纯净水 (福万家纯净水有限公司)。人宫颈癌 HeLa 细胞 (中国科学院上海细胞研究所); 5-氟尿嘧啶 (5-FU, Adamas 公司, 批号 P1378516)。

## 2 方法

### 2.1 提取与分离

取骆驼刺干燥地上部分 100 kg, 阴干后机械粉碎, 采用 10 倍量 95%乙醇加热回流提取, 重复 3 次, 每次 1.5 h。合并全部提取液, 经减压浓缩并干燥后, 得到总浸膏。将总浸膏加适量水超声助溶形

成混悬液,用等体积石油醚进行液-液萃取,重复3次,合并石油醚相,减压浓缩后得石油醚部位32 g。剩余水相用HCl调节pH至1~2,再以等体积醋酸乙酯重复萃取3次,合并醋酸乙酯相,减压浓缩后得醋酸乙酯部位52 g。随后,将水相用NaOH调至pH值9~10,以等体积二氯甲烷萃取3次,合并二氯甲烷相,减压浓缩后得二氯甲烷部位43 g。

醋酸乙酯部位52 g经硅胶(200~300目)柱色谱分离,以二氯甲烷-甲醇(100:0→0:100)梯度洗脱,得到10个亚组分Fr. 1~10。Fr. 2(12.0 g)通过硅胶柱色谱(二氯甲烷-甲醇100:0→0:100; TLC监测)进一步分离,得到5个次级组分(Fr. 2-1~2-5)。Fr. 2-1(2.3 g)经半制备液相色谱纯化,得到化合物3(2.3 mg,  $t_R=34.3$  min, 40%甲醇, 2.0 mL/min)和4(1.2 mg,  $t_R=37.5$  min, 40%甲醇, 2.0 mL/min)。Fr. 2-3(1.4 g)经半制备液相色谱分离,得到化合物7(1.7 mg,  $t_R=46.0$  min, 45%甲醇, 2.0 mL/min)、11(2.8 mg,  $t_R=42.5$  min, 45%甲醇, 2.0 mL/min)。Fr. 3(48.6 g)通过硅胶柱色谱(二氯甲烷-甲醇, 100:0→0:100; TLC监测)分离,得到4个次级组分(Fr. 3-1~3-4)。Fr. 3-3(11.3 g)经硅胶柱色谱(梯度洗脱条件同前; TLC监测)进一步分离,得到3个3级组分(Fr. 3-3-1~3-3-3)。Fr. 3-3-2(2.4 g)经半制备液相色谱纯化,得到化合物8(1.3 mg,  $t_R=28.5$  min, 70%甲醇, 2.0 mL/min)。Fr. 3-3-3(3.2 g)经半制备液相色谱纯化,得到化合物5(2.3 mg,  $t_R=25.0$  min, 58%甲醇, 2.0 mL/min)、12(1.4 mg,  $t_R=37.5$  min, 70%甲醇, 2.0 mL/min)。Fr. 3-4(12.4 g)经半制备液相色谱(甲醇-水70:100)处理,得到化合物10(2.2 mg,  $t_R=23.0$  min, 70%甲醇, 2.0 mL/min)、13(1.3 mg,  $t_R=34.5$  min, 70%甲醇, 2.0 mL/min)。Fr. 4(56.8 g)通过ODS柱色谱(甲醇-水10:90~100:0)分离,得到6个次级组分(Fr. 4-1~4-6)。Fr. 4-2(23.2 g)经ODS柱色谱分离,得到5个3级组分(Fr. 4-2-1~4-2-5)。Fr. 4-2-1(3.4 g)经半制备液相色谱纯化,得到化合物1(1.5 mg,  $t_R=32.0$  min, 35%甲醇, 2.0 mL/min)和2(2.0 mg,  $t_R=46.5$  min, 35%甲醇, 2.0 mL/min)。Fr. 4-2-2(4.1 g)经制备薄层色谱分离,得到化合物9(2.3 mg)。Fr. 4-2-3(4.2 g)经半制备液相色谱分离,得到化合物6(3.1 mg,  $t_R=31.5$  min, 63%甲醇, 2.0 mL/min), Fr. 4-2-4(3.4 g)经半制备液相色谱分离,得到化合物14

(2.4 mg,  $t_R=35.0$  min, 71%甲醇, 2.0 mL/min), Fr. 4-2-6(1.4 g)经半制备液相色谱分离,得到化合物15(3.6 mg,  $t_R=37.5$  min, 35%甲醇, 2.0 mL/min)。

## 2.2 抗癌活性测定

采用MTT法测试化合物1~15对宫颈癌细胞株HeLa的体外抑制作用<sup>[9]</sup>,为准确评估化合物活性,实验分别设以下组别:空白对照组为仅含培养基,无细胞,用于校正背景吸光度( $A_{\text{空白}}$ );对照组接种细胞并加入等体积的溶剂(DMSO,终浓度<0.1%),用于反映细胞在无药物处理下的正常生长( $A_{\text{对照}}$ );阳性对照组接种细胞并加入5-FU,作为活性参考;实验组接种细胞并分别加入不同浓度的待测化合物(1~15)溶液。

取对数生长期的HeLa细胞,胰酶消化,稀释成浓度 $6 \times 10^4$ 个/mL的单细胞悬液,各浓度均设置3个复孔,以每孔100  $\mu$ L置于96孔板中,在37.0  $^{\circ}$ C培养箱内培养24 h,分别加入配制好的化合物1~15和5-FU,培养24 h,每孔加入10  $\mu$ L MTT试剂染色,孵育5.0 h,弃去上层培养液,每孔加入100  $\mu$ L DMSO,轻轻摇动均匀,用酶标仪检测570 nm波长下的吸光度( $A$ )值,根据公式计算细胞抑制率,采用SPSS22.0软件对所得数据进行分析。计算各化合物的半数抑制浓度(median inhibition concentration,  $IC_{50}$ )值。 $IC_{50}$ 值用Excel软件计算。

$$\text{抑制率} = (A_{\text{对照}} - A_{\text{实验}}) / (A_{\text{对照}} - A_{\text{空白}})$$

## 3 结果

### 3.1 结构鉴定

化合物1:白色粉末(甲醇)。HR-ESI-MS  $m/z$ : 350.1816  $[M+H]^+$ ,分子式为 $C_{22}H_{23}NO_3$ ,  $^1H$ -NMR(700 MHz, DMSO- $d_6$ )谱(表1)中包括1个甲基氢信号 $\delta$  2.38(3H, s, H-23)、8个芳香族氢信号 $\delta$  7.10(2H, d,  $J=8.4$  Hz, H-3, 5), 7.06(2H, d,  $J=8.4$  Hz, H-10, 14), 6.83(2H, d,  $J=8.4$  Hz, H-2, 6), 6.69(2H, d,  $J=8.4$  Hz, H-11, 13), 4个亚甲基氢信号 $\delta$  4.40(2H, t,  $J=7.0$  Hz, H-7), 4.06(2H, t,  $J=7.0$  Hz, H-16), 2.89(2H, t,  $J=7.0$  Hz, H-15), 2.82(2H, t,  $J=7.0$  Hz, H-8), 3个吡咯氢信号 $\delta$  7.08(1H, d,  $J=2.1$  Hz, H-17), 7.01(1H, d,  $J=4.2$  Hz, H-19), 6.06(1H, dd,  $J=2.1, 4.2$  Hz, H-18);  $^{13}C$ -NMR(175 MHz, DMSO- $d_6$ )结合HSQC谱共显示22个碳信号,其中1个甲基碳信号 $\delta$  27.6(C-22), 1个羰基碳信号 $\delta$  188.0(C-21), 4个亚甲基碳信号 $\delta$  68.9(C-7), 34.6(C-8), 36.9(C-15), 50.8(C-16), 12个芳香碳信号 $\delta$  157.5(C-1), 156.3(C-12),

表1 化合物1的核磁数据 (700/175 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>)Table 1 NMR data for compound 1 (700/175 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>)

碳位	$\delta_C$ , type	$\delta_H$
1	157.5, C	
2	114.7, CH	6.83 (1H, d, $J = 8.4$ Hz)
3	130.2, CH	7.10 (1H, d, $J = 8.4$ Hz)
4	128.8, C	
5	130.2, CH	7.10 (1H, d, $J = 8.4$ Hz)
6	114.7, CH	6.83 (1H, d, $J = 8.4$ Hz)
7	68.9, CH <sub>2</sub>	4.40 (2H, t, $J = 7.0$ Hz)
8	34.6, CH <sub>2</sub>	2.82 (2H, t, $J = 7.0$ Hz)
9	130.7, C	
10	130.3, CH	7.06 (1H, d, $J = 8.4$ Hz)
11	115.5, CH	6.69 (1H, d, $J = 8.4$ Hz)
12	156.3, C	
13	115.5, CH	6.69 (1H, d, $J = 8.4$ Hz)
14	130.3, CH	7.06 (1H, d, $J = 8.4$ Hz)
15	36.9, CH <sub>2</sub>	2.89 (2H, t, $J = 7.0$ Hz)
16	50.8, CH <sub>2</sub>	4.06 (2H, t, $J = 7.0$ Hz)
17	131.3, CH	7.08 (1H, d, $J = 2.1$ Hz)
18	108.1, CH	6.06 (1H, dd, $J = 2.1, 4.2$ Hz)
19	121.1, CH	7.01 (1H, d, $J = 4.2$ Hz)
20	129.8, C	
21	188.0, C=O	
22	27.6, CH <sub>3</sub>	2.38 (3H, s)

130.7 (C-9), 130.3 (C-10, 14), 130.2 (C-3, 5), 128.8 (C-4), 115.5 (C-11, 13), 114.7 (C-2, 6), 4 个吡咯碳信号 131.3 (C-17), 108.1 (C-18), 121.1 (C-19), 129.8 (C-20)。上述数据提示化合物1是吡咯生物碱类化合物<sup>[10]</sup>。在<sup>1</sup>H-<sup>1</sup>H COSY谱(图1)中, H-15和H-16相关, H-7和H-8相关证明存在2个苯乙基片段, H-19与H-18/20相关提示存在1个吡咯环。在HMBC二维谱中, H-22与C-19/20/21相关, 证明吡咯环N-原子邻位连有1个乙酰基, H-16与C-18、21相关证明乙酰基吡咯的N-原子连在16号位。综上所述, 鉴定出化合物1的结构为1-[1-[4-(4-羟基苯乙氧基)苯基]乙基]-1H-吡咯-2-基]乙酮, 该化合物为1个新化合物, 命名为骆驼刺吡咯碱A。

化合物2: 无色粉末, ESI-MS  $m/z$ : 139.08 [M+H]<sup>+</sup>, 分子式为C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>O<sub>2</sub>。<sup>1</sup>H-NMR (700 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>)  $\delta$ : 6.93 (2H, d,  $J = 8.4$  Hz, H-2, 6), 6.61 (2H, d,  $J = 8.4$  Hz, H-3, 5), 3.54 (2H, td,  $J = 7.0, 4.9$  Hz, H-8), 2.62 (2H, t,  $J = 7.7$  Hz, H-7); <sup>13</sup>C-NMR (175 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>)  $\delta$ : 129.2 (C-1), 129.3 (C-2, 6), 115.3 (C-3, 5), 155.2 (C-4), 40.5 (C-7), 62.3 (C-8)。上数据与文献报道

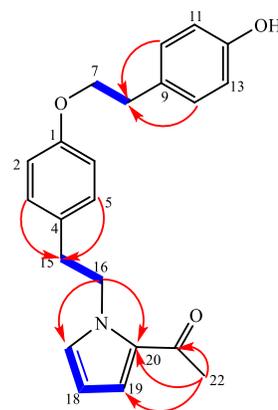


图1 化合物1的化学结构和重要相关关系

Fig. 1 Chemical structure and key correlations of compound 1

波谱数据基本一致<sup>[11]</sup>, 故鉴定化合物2为4-羟基苯乙醇。结构见图2。

化合物3: 无色胶状物, ESI-MS  $m/z$ : 164.11 [M+H]<sup>+</sup>, 分子式为C<sub>10</sub>H<sub>13</sub>NO。<sup>1</sup>H-NMR (700 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>)  $\delta$ : 7.92 (1H, t,  $J = 5.6$  Hz, N-H), 7.23 (2H, m, H-2', 6'), 7.24 (3H, m, H-3'~5'), 3.21 (2H, ddd,  $J = 8.4, 7.7, 5.6$  Hz, H-3), 2.62 (2H, t,  $J = 7.7$  Hz, H-4), 1.73 (3H, s, H-1); <sup>13</sup>C-NMR (175 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>)  $\delta$ : 22.9 (C-1), 169.2 (C-2), 40.2 (C-3), 35.3 (C-4), 139.1 (C-1'), 128.1 (C-2', 6'), 128.9 (C-3', 5'), 126.1 (C-4')。以上数据与文献报道波谱数据基本一致<sup>[12]</sup>, 故鉴定化合物3为N-苯乙基乙酰胺。结构见图2。

化合物4: 白色无定型粉末, ESI-MS  $m/z$ : 150.09 [M+H]<sup>+</sup>, 分子式为C<sub>9</sub>H<sub>11</sub>NO。<sup>1</sup>H-NMR (700 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>)  $\delta$ : 8.08 (1H, s, H-1), 7.98 (1H, d,  $J = 1.4$  Hz, N-H), 7.29 (2H, d,  $J = 8.4$  Hz, H-2', 6'), 7.21 (3H, t,  $J = 8.4$  Hz, H-3'~5'), 3.31 (2H, m, H-2), 2.72 (2H, t,  $J = 7.0$  Hz, H-3); <sup>13</sup>C-NMR (175 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>)  $\delta$ : 161.1 (C-1), 38.7 (C-2), 35.0 (C-3), 139.3 (C-1'), 128.7 (C-3', 5'), 128.4 (C-2', 6'), 126.2 (C-4')。以上数据与文献报道波谱数据基本一致<sup>[13]</sup>, 故鉴定化合物4为N-苯乙基甲酰胺。结构见图2。

化合物5: 白色粉末, ESI-MS  $m/z$ : 166.09 [M+H]<sup>+</sup>, 分子式为C<sub>9</sub>H<sub>11</sub>NO<sub>2</sub>。<sup>1</sup>H-NMR (700 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>)  $\delta$ : 9.24 (1H, s, 9-CHO), 7.97 (1H, d,  $J = 2.1$  Hz, N-H), 6.98 (2H, dd,  $J = 8.4, 6.3$  Hz, H-2, 6), 6.67 (2H, dd,  $J = 8.4, 2.8$  Hz, H-3, 5), 3.24 (2H, td,  $J = 8.4, 4.9$  Hz, H-8), 2.59 (2H, t,  $J = 7.0$  Hz, H-7); <sup>13</sup>C-NMR (175 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>)  $\delta$ : 129.3 (C-1), 129.5 (C-2, 6), 115.1 (C-3, 5), 155.7 (C-4), 34.3 (C-7), 42.9 (C-8), 161.0

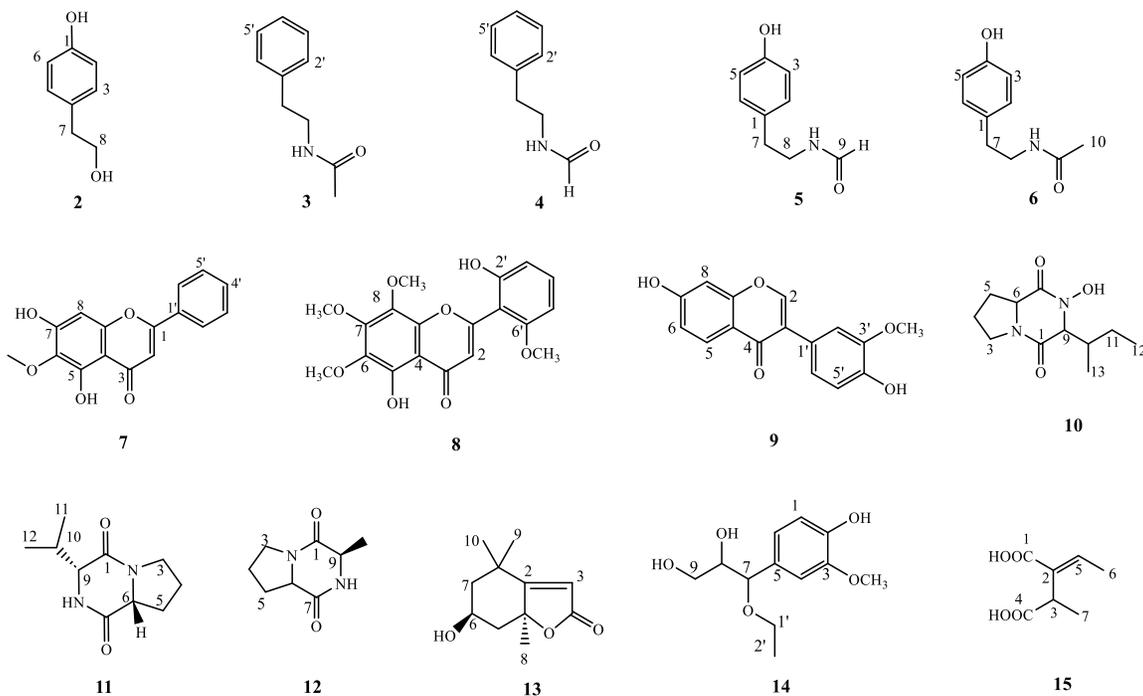


图2 化合物2~15的化学结构

Fig. 2 Chemical structures of compounds 2—15

(C-9)。以上数据与文献报道波谱数据基本一致<sup>[14]</sup>，故鉴定化合物 **5** 为 *N*-(对羟基苯乙基)甲酰胺。结构见图2。

化合物 **6**：白色粉末，ESI-MS  $m/z$ : 180.10  $[M+H]^+$ ，分子式为  $C_{10}H_{13}NO_2$ 。 $^1H$ -NMR (700 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 7.89 (1H, t,  $J = 5.6$  Hz, N-H), 6.97 (2H, d,  $J = 8.4$  Hz, H-2, 6), 6.67 (2H, d,  $J = 8.4$  Hz, H-3, 5), 3.16 (2H, dt,  $J = 7.7, 5.6$  Hz, H-8), 2.56 (2H, t,  $J = 7.7$  Hz, H-7), 1.77 (3H, s, H-10);  $^{13}C$ -NMR (175 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 129.6 (C-1), 129.5 (C-2, 6), 115.1 (C-3, 5), 155.7 (C-4), 34.5 (C-7), 40.6 (C-8), 169.1 (C-9), 22.7 (C-10)。以上数据与文献报道波谱数据基本一致<sup>[15]</sup>，故鉴定化合物 **6** 为 *N*-乙酰基酪胺。结构见图2。

化合物 **7**：淡黄色粉末，ESI-MS  $m/z$ : 285.08  $[M+H]^+$ ，分子式为  $C_{16}H_{12}O_5$ 。 $^1H$ -NMR (700 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 12.89 (1H, s, 5-OH), 8.06 (2H, m, H-2', 6'), 7.61 (3H, m, H-3'~5'), 6.93 (1H, s, H-3), 6.62 (1H, s, H-8), 3.72 (3H, s, 6-OMe);  $^{13}C$ -NMR (175 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 163.1 (C-2), 104.4 (C-3), 182.3 (C-4), 152.8 (C-5), 131.6 (C-6), 152.7 (C-7), 93.4 (C-8), 130.2 (C-9), 105.9 (C-10), 131.7 (C-1'), 126.9 (C-2', 4', 6'), 129.9 (C-3', 5'), 58.7 (6-OMe)。以上数据与文献报道波谱数据基本一致<sup>[16]</sup>，故鉴定化合物 **7** 为 5,7-二羟基-6-甲氧基黄酮。结构见图2。

化合物 **8**：黄色粉末，ESI-MS  $m/z$ : 175.11  $[M+H]^+$ ，分子式为  $C_{19}H_{18}O_8$ 。 $^1H$ -NMR (700 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 12.61 (1H, s, 5-OMe), 10.31 (1H, s, 2'-OMe), 7.37 (1H, t,  $J = 8.4$  Hz, H-4'), 6.61 (2H, dd,  $J = 8.4, 1.4$  Hz, H-3', 5'), 6.31 (1H, s, H-3), 4.01 (1H, s, 6-OMe), 3.81 (1H, s, 7-OMe), 3.72 (1H, s, 8-OMe), 3.72 (1H, s, 6'-OMe);  $^{13}C$ -NMR (175 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 162.1 (C-2), 108.2 (C-3), 182.1 (C-4), 156.1 (C-5), 135.2 (C-6), 158.8 (C-7), 132.2 (C-8, 4'), 147.6 (C-9), 105.9 (C-10), 108.3 (C-1'), 146.6 (C-2'), 112.2 (C-3'), 102.4 (C-5'), 152.3 (C-6'), 61.3 (6-OMe), 61.1 (7-OMe), 60.3 (8-OMe), 55.5 (6'-OMe)。以上数据与文献报道波谱数据基本一致<sup>[17]</sup>，故鉴定化合物 **8** 为 2',5-二羟基-6,6',7,8-四甲氧基黄酮，即黄芩新素II。结构见图2。

化合物 **9**：黄色粉末，ESI-MS  $m/z$ : 285.08  $[M+H]^+$ ，分子式为  $C_{16}H_{12}O_5$ 。 $^1H$ -NMR (700 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 8.24 (1H, s, H-2), 7.90 (1H, d,  $J = 8.4$  Hz, H-5), 7.04 (1H, d,  $J = 2.1$  Hz, H-2'), 6.95 (1H, d,  $J = 8.4$  Hz, H-6), 6.93 (1H, d,  $J = 2.1$  Hz, H-8), 6.87 (1H, d,  $J = 8.4$  Hz, H-6'), 6.78 (1H, d,  $J = 8.4$  Hz, H-5'), 3.78 (3H, s, 3'-OMe);  $^{13}C$ -NMR (175 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 52.9 (C-2), 124.9 (C-3), 174.5 (C-4), 127.1 (C-5), 116.5 (C-6), 157.6 (C-7), 102.1 (C-8), 154.8 (C-9), 1120.4 (C-10), 123.2 (C-1'), 111.9 (C-2'), 147.5 (C-3'), 146.0 (C-4'),

119.7 (C-5'), 120.9 (C-6'), 55.7 (3'-OMe)。以上数据与文献报道波谱数据基本一致<sup>[18]</sup>, 故鉴定化合物 **9** 为 3'-甲氧基大豆苷元。结构见图 2。

化合物 **10**: 白色粉末, ESI-MS  $m/z$ : 227.14  $[M+H]^+$ , 分子式为  $C_{11}H_{18}N_2O_3$ 。<sup>1</sup>H-NMR (700 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 4.21 (1H, ddd,  $J = 7.7, 6.3, 1.4$  Hz, H-9), 3.97 (1H, d,  $J = 2.1$  Hz, H-6), 3.77 (1H, m, H-3a), 3.74 (1H, m, H-3b), 2.17 (1H, m, H-5), 2.09 (1H, m, H-10), 1.78 (3H, m, H-4a, 4b, 5b), 1.30 (2H, m, H-11), 0.95 (3H, d,  $J = 7.0$  Hz, H-13), 0.88 (3H, t,  $J = 7.7$  Hz, H-12); <sup>13</sup>C-NMR (175 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 170.8 (C-1), 44.9 (C-3), 21.7 (C-4), 23.5 (C-5), 59.8 (C-6), 164.8 (C-7), 58.8 (C-9), 35.4 (C-10), 28.7 (C-11), 12.8 (C-12), 15.7 (C-13)。以上数据与文献报道波谱数据基本一致<sup>[19]</sup>, 故鉴定化合物 **10** 为 callyspongidiptide A。结构见图 2。

化合物 **11**: 白色粉末, ESI-MS  $m/z$ : 197.13  $[M+H]^+$ , 分子式为  $C_{10}H_{16}N_2O_2$ 。<sup>1</sup>H-NMR (700 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 8.03 (1H, s, N-H), 4.23 (1H, m, H-6), 3.94 (1H, t,  $J = 2.1$  Hz, H-9), 3.35 (2H, s, H-3), 2.68 (1H, m, H-10), 2.38 (1H, m, H-5), 2.15 (2H, m, H-5, 4), 1.89 (1H, m, H-4), 1.12 (3H, d,  $J = 7.2$  Hz, H-11), 0.88 (3H, d,  $J = 7.0$  Hz, H-12); <sup>13</sup>C-NMR (175 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 170.6 (C-1), 44.9 (C-3), 22.4 (C-4), 27.6 (C-5), 58.6 (C-6), 165.6 (C-7), 59.9 (C-9), 27.3 (C-10), 18.9 (C-11), 16.9 (C-12)。以上数据与文献报道波谱数据基本一致<sup>[20]</sup>, 故鉴定化合物 **11** 为环 *D*-脯氨酸-*D*-缬氨酸。结构见图 2。

化合物 **12**: 白色粉末, ESI-MS  $m/z$ : 169.10  $[M+H]^+$ , 分子式为  $C_8H_{12}N_2O_2$ 。<sup>1</sup>H-NMR (700 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 8.16 (1H, s, N-H), 4.16 (1H, m, H-6), 4.08 (1H, m, H-9), 3.35 (2H, m, H-3), 2.12 (1H, m, H-5), 2.04 (1H, m, H-5), 1.88 (1H, m, H-4), 1.79 (1H, m, H-4), 1.21 (3H, d,  $J = 7.0$  Hz, 9-Me); <sup>13</sup>C-NMR (175 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 170.0 (C-1), 44.9 (C-3), 22.4 (C-4), 27.7 (C-5), 58.7 (C-6), 166.6 (C-7), 50.1 (C-9), 15.3 (9-Me)。以上数据与文献报道波谱数据基本一致<sup>[21]</sup>, 故鉴定化合物 **12** 为环(丙氨酸-脯氨酸)。结构见图 2。

化合物 **13**: 白色粉末, ESI-MS  $m/z$ : 197.12  $[M+H]^+$ , 分子式  $C_{11}H_{16}O_3$ 。<sup>1</sup>H-NMR (700 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 5.85 (1H, s, H-3), 3.92 (1H, t,  $J = 11.9$  Hz, H-6), 2.30 (1H, ddd,  $J = 11.9, 4.9, 2.1$  Hz, H-7), 1.83 (1H, ddd,  $J = 12.6, 4.9, 2.1$  Hz, H-5), 1.40 (3H, d,  $J = 0.7$

Hz, H-8), 1.23 (1H, t,  $J = 11.9$  Hz, H-7), 1.26 (3H, s, H-9), 1.15 (3H, s, H-10), 1.13 (1H, t,  $J = 11.9$  Hz, H-5); <sup>13</sup>C-NMR (175 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 171.2 (C-2), 112.4 (C-3), 34.6 (C-4), 49.3 (C-5), 63.2 (C-6), 47.7 (C-7), 25.6 (C-8), 24.4 (C-9), 29.3 (C-10), 181.8 (C-3a), 86.4 (C-7a)。以上数据与文献报道波谱数据基本一致<sup>[22]</sup>, 故鉴定化合物 **13** 为 isololiolide。结构见图 2。

化合物 **14**: 黄色油状物, ESI-MS  $m/z$ : 243.12  $[M+H]^+$ , 分子式为  $C_{12}H_{18}O_5$ 。<sup>1</sup>H-NMR (700 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 6.83 (1H, d,  $J = 2.1$  Hz, H-2), 6.73 (1H, d,  $J = 7.7$  Hz, H-5), 6.69 (1H, dd,  $J = 8.4, 2.1$  Hz, H-6), 4.52 (1H, d,  $J = 4.8$  Hz, H-7), 4.40 (1H, s, H-8), 4.09 (1H, d,  $J = 6.3$  Hz, H-9), 3.78 (3H, s, 3-OMe), 3.49 (1H, m, H-9), 3.31~3.23 (2H, m, H-1'), 1.09 (3H, t,  $J = 7.0$  Hz, H-2'); <sup>13</sup>C-NMR (175 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 131.3 (C-1), 111.6 (C-2), 147.6 (C-3), 145.3 (C-4), 115.5 (C-5), 119.8 (C-6), 81.6 (C-7), 75.5 (C-8), 62.9 (C-9), 63.3 (C-1'), 15.7 (C-2'), 55.3 (3-OMe)。以上数据与文献报道波谱数据基本一致<sup>[23]</sup>, 故鉴定化合物 **14** 为 7-*O*-乙基愈创木基甘油。结构见图 2。

化合物 **15**: 黄色固体, ESI-MS  $m/z$ : 159.07  $[M+H]^+$ , 分子式为  $C_7H_{10}O_4$ 。<sup>1</sup>H-NMR (700 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 7.27 (1H, s, 1-OH), 6.61 (1H, s, 4-OH), 3.30 (1H, d,  $J = 7.0$  Hz, H-5), 2.18 (1H, m, H-3), 1.81 (3H, dd,  $J = 7.0, 1.4$  Hz, H-6), 1.21 (3H, d,  $J = 7.7$  Hz, H-7); <sup>13</sup>C-NMR (175 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 170.3 (C-1), 133.1 (C-2), 37.9 (C-3), 179.6 (C-4), 132.5 (C-5), 14.1 (C-6), 15.6 (C-7)。以上数据与文献报道波谱数据基本一致<sup>[24]</sup>, 故鉴定化合物 **15** 为 2-亚乙基-3-甲基琥珀酸。结构见图 2。

### 3.2 抗宫颈癌活性

骆驼刺在传统维吾尔医学中已有广泛用途, 其抗炎、降糖等药理作用已被初步揭示。前期研究中发现其富含黄酮类、生物碱等通过诱导细胞凋亡、阻滞细胞周期等机制, 对宫颈癌 HeLa 细胞表现出显著抑制活性, 具有开发成为抗宫颈癌药物的潜力, 且宫颈癌作为全球女性高发恶性肿瘤, 亟需开发新型治疗策略。本研究遂聚焦于骆驼刺提取物及单体成分的抗宫颈癌活性筛选。采用 MTT 检测法, 选用 HeLa 细胞株对化合物 **1**~**15** 的细胞活性变化进行检测, 通过其体外抑制作用的强度评估其抗肿瘤效果。实验结果(表 2)表明, 化合物 **1**、**5** 和 **6** 对 HeLa 细胞的抑制效果较为明显, IC<sub>50</sub> 值分别为 31.4、26.6、37.3  $\mu\text{mol/L}$ , 值得进一步深入研究, 其

表2 化合物1~15对HeLa细胞的抑制作用

Table 2 Inhibitory effects of compounds 1—15 on HeLa cells

化合物	IC <sub>50</sub> /(μmol·L <sup>-1</sup> )
1	31.4±1.18
2	>50
3	>50
4	>50
5	26.6±1.05
6	37.3±1.53
7	>50
8	>50
9	>50
10	>50
11	>50
12	>50
13	>50
14	>50
15	>50
5-FU	7.9±0.58

他化合物的抑制活性较弱。

#### 4 讨论

本研究采用硅胶、凝胶、ODS柱色谱及半制备液相色谱等技术,对骆驼刺醋酸乙酯部位提取物进行分离,从中分离鉴定出15个化合物,涵盖生物碱类、黄酮类、萜类及苯酚类等结构类型,其中化合物1为新发现的吡咯生物碱类化合物,丰富了骆驼刺的化学成分多样性。体外抗宫颈癌活性筛选结果显示,化合物1、5、6对HeLa细胞表现出抑制作用,IC<sub>50</sub>值分别为31.4、26.6、37.3 μmol/L。上述实验结果表明,骆驼刺中的生物碱类成分在抗宫颈癌活性方面有良好的效果,为骆驼刺抗肿瘤活性的物质基础提供了直接证据,也验证了骆驼刺在抗宫颈癌方面的潜在开发价值。本研究为骆驼刺的深度开发利用提供了科学依据,后续可进一步开展活性成分的作用机制研究及结构修饰优化,以期开发新型抗宫颈癌药物。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

[1] Muhammad G, Hussain M A, Anwar F, et al. *Alhagi*: A plant genus rich in bioactives for pharmaceuticals [J]. *Phytother Res*, 2015, 29(1): 1-13.  
 [2] 刘洋,李纯,马虎强,等. 骆驼刺茎枝粗多糖体内抗氧化活性考察 [J]. *中国药师*, 2021(2): 354-358.  
 [3] 徐晓琴,魏鸿雁,石磊岭,等. 维药骆驼刺质量标准研究 [J]. *现代中药研究与实践*, 2012, 26(6): 68-71.

[4] 金晓颖,安蓉,李毅,等. 骆驼刺生境适应性研究现状 [J]. *天津农业科学*, 2014, 20(10): 14-18.  
 [5] 袁祯燕,黄培佑,何兴金. 豆科植物骆驼刺研究现状及进展 [J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(18): 9674-9677.  
 [6] 程兵,王瑞,付姚群,等. 骆驼刺及其刺糖现代医学研究进展 [J]. *广州医科大学学报*, 2022, 50(4): 119-123.  
 [7] 夏提古丽·阿不利孜,魏鸿雁,贾晓光. 骆驼刺提取物的急性毒性实验研究 [J]. *新疆中医药*, 2012, 30(6): 39-41.  
 [8] Zou G A, Mansur S, Hu S C, et al. Pyrrole alkaloids from *Alhagi sparsifolia* [J]. *Chem Nat Compd*, 2012, 48(4): 635-637.  
 [9] 鲍爽,宋海龙,热依兰木·买赛地,等. 骆驼刺化学成分及其抗宫颈癌细胞活性研究 [J]. *中草药*, 2024, 55(2): 374-379.  
 [10] Rukachaisirikul T, Kumjun S, Suebsakwong P, et al. A new pyrrole alkaloid from the roots of *Cissampelos pareira* [J]. *Nat Prod Res*, 2021, 35(1): 80-87.  
 [11] 张璐,向伦理,杨琳垚,等. 苗药大黄药的化学成分研究 [J]. *中药材*, 2019, 42(4): 785-789.  
 [12] 冯艺璇,刘春月,郭春林,等. 粗梗胡椒化学成分的分离与鉴定 [J]. *中国药物化学杂志*, 2023, 33(1): 42-48.  
 [13] 关灼斌. 海藻刺枝鱼栖苔的次生代谢产物研究 [D]. 广州:暨南大学,2020.  
 [14] Gutiérrez M, Capson T L, Guzman H M, et al. Antiplasmodial metabolites isolated from the marine octocoral *Muricea austera* [J]. *J Nat Prod*, 2006, 69(10): 1379-1383.  
 [15] 蒋文贤,罗世林,王英,等. 美洲大蠊的化学成分 [J]. *暨南大学学报: 自然科学与医学版*, 2015, 36(4): 294-301.  
 [16] 韩悦,王晓霞,金新宇,等. 银钱草化学成分的研究 [J]. *中成药*, 2022, 44(8): 2542-2545.  
 [17] 鄢庆伟,钟瑞建,周国平,等. 油茶茎化学成分研究 [J]. *中药材*, 2015, 38(10): 2102-2104.  
 [18] 李国辉,张庆文,王一涛. 葛根的化学成分研究 [J]. *中国中药杂志*, 2010, 35(23): 3156-3160.  
 [19] 曹钰镁,金梦莹,谭璐,等. 川芎内生菌 *Fusarium tricinctum* 的化学成分 [J]. *应用与环境生物学报*, 2020, 26(2): 294-298.  
 [20] 刘超,王洪庆,李保明,等. 紫芝的化学成分研究 [J]. *中国中药杂志*, 2007, 32(3): 235-237.  
 [21] 刘培培,陶洪文,吴芬,等. 裸体方格星虫甲醇提取物的化学成分研究 [J]. *中国海洋药物*, 2008, 27(5): 28-30.  
 [22] 张旋,俞桂新. 黄花败酱化学成分研究 [J]. *天然产物研究与开发*, 2020, 32(5): 783-791.  
 [23] 周健,黎玉华,周颖,等. 变叶树参化学成分的分离与鉴定 [J]. *中国实验方剂学杂志*, 2019, 25(23): 128-132.  
 [24] 杨婷,阎光宇,张怡评,等. 蜈蚣藻化学成分研究 [J]. *中国海洋药物*, 2019, 38(1): 37-41.

[责任编辑 王文倩]