

# 旱芹菜根乙酸乙酯部位化学成分及其细胞毒活性

杨晓军<sup>1\*</sup>, 王超<sup>1</sup>, 贾云鹏<sup>1</sup>, 郝书苑<sup>1</sup>, 王雪梅<sup>2</sup>, 岳昌武<sup>2</sup><sup>1</sup>延安大学化学与化工学院;<sup>2</sup>延安大学医学院, 延安 716000

**摘要:**采用硅胶和凝胶柱色谱技术,结合现代波谱学方法及其理化性质分析,从旱芹菜(*Apium graveolens* L.)干燥根醇提物乙酸乙酯部位中共分离鉴定了9个化合物,分别为软脂酸(1)、肉桂醛(2)、柚皮素(3)、异东莨菪素(4)、花椒毒素(5)、6-甲基-5,7-二羟基苯酞(6)、2-苯基乙基-*O*- $\beta$ -D-葡萄糖苷(7)、芹菜素-7-*O*- $\beta$ -D-葡萄糖苷(8)、红景天苷(9)。其中化合物3、4、6、7和9首次从该属植物中分离得到。采用MTT法测试化合物1~9对人肝癌细胞株BEL-7402、胃癌细胞SGC-7901和人肺癌细胞A549的体外细胞毒活性,结果表明,化合物4对肺癌细胞A549的生长具有一定的抑制作用。

**关键词:**旱芹菜根;化学成分;细胞毒活性

中图分类号:R284.1

文献标识码:A

文章编号:1001-6880(2022)7-1164-05

DOI:10.16333/j.1001-6880.2022.7.009

## Chemical constituents from the EtOAc extract of the roots of *Apium graveolens* L. and their cytotoxic activities

YANG Xiao-jun<sup>1\*</sup>, WANG Chao<sup>1</sup>, JIA Yun-peng<sup>1</sup>, HAO Shu-yuan<sup>1</sup>, WANG Xue-mei<sup>2</sup>, YUE Chang-wu<sup>2</sup><sup>1</sup>College of Chemistry and Chemical Engineering, Yan'an University;<sup>2</sup>Medical School, Yan'an University Yan'an 716000, China

**Abstract:** Nine compounds were isolated and purified from the ethyl acetate fraction of *Apium graveolens* L. roots by silica gel and Sephadex LH-20 column chromatographies. Their chemical structures were identified on the basis of their physical and chemical properties. These isolated compounds were elucidated as palmitic acid (1), cinnamaldehyde (2), naringenin (3), Isoscapoletin (4), xanthotoxin (5), 6-methyl-5,7-dihydroxyphthalide (6), 2-phenylethyl-*O*- $\beta$ -D-glucopyranoside (7), apigenin-7-*O*- $\beta$ -D-glucopyranoside (8) and salidroside (9). Compounds 3, 4, 6, 7 and 9 were isolated from this plant for the first time. All isolated compounds were evaluated *in vitro* by MTT assay against human liver cancer cell line BEL-7402, human gastric cancer cell line SGC-7901 and human lung cancer cell A549. Compound 4 showed cytotoxic effect against A549.

**Key words:** roots of *Apium graveolens* L.; chemical constituents; cytotoxic activities

芹菜 *Apium graveolens* L. 是伞形科一年生或两年生草本植物。有西芹、旱芹等多种栽培品种,药用以旱芹为多<sup>[1]</sup>。目前国内外对旱芹化学成分的研究主要集中在地上部分的茎和叶,并从中分离鉴定出包括黄酮、萜类和香豆素等多种活性成分<sup>[2]</sup>,而对于其地下部分,特别是根部的研究却很少。虽然民间有很多关于旱芹菜根治病的小偏方,但缺乏科学的理论依据。课题组期望通过对旱芹菜根化学成分系统深入的研究来揭示其药效物质基础。前期研

究已从旱芹菜根中分离鉴定出3个化合物<sup>[3]</sup>,本文继前期研究,继续对其乙酸乙酯部位化学成分进行了分离纯化,并对分离得到的单体化合物进行细胞毒活性测试,为旱芹菜根的开发利用提供科学依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 仪器与材料

X-4型显微熔点仪(上海科学仪器有限公司);IR Prestige-21红外光谱仪(日本岛津公司);AV-500型核磁共振仪(瑞士Bruker公司),TMS为内标;MAT-711型质谱仪(美国Thermo公司);Sephadex LH-20(Pharmacia产品);柱层析硅胶(300~400目,青岛海洋化工厂);硅胶GF<sub>254</sub>薄层板(50 mm × 100 mm, 0.20~0.25 mm,青岛海洋化工厂);四甲基

收稿日期:2021-11-05 接受日期:2022-05-13

基金项目:国家自然科学基金(31860089);陕西省科技厅项目(2019JM-516);榆林市科学技术资助项目(CXY-2020-069);延安大学大学生创新项目(YD2019-39)

\*通信作者 Tel:86-911-2332037;E-mail:yangxiaojun2002@126.com

偶氮唑盐溶液(MTT)试剂(Sigma公司);阳性对照品紫杉醇(江苏红豆杉药业有限公司,国药准字H20093763,生产批号20140628);人肝癌细胞株BEL-7402(上海美轩生物科技有限公司)、人肺癌细胞株A549(上海继和生物科技有限公司)、人胃癌细胞株SGC-7901(上海研生化试剂有限公司);旱芹根于2019年10月采集自陕西省蒲城县,经延安大学生命科学院白重炎研究员鉴定为伞形科芹属*Apium graveolens* L.的根,标本存放于延安大学天然产物化学实验室,标本编号为YD20191005。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 提取和分离

称取旱芹根15.0 kg(干重),用粉碎机粉碎成粉末,将此粉末装入渗漉筒中,然后每次用4倍量的工业酒精渗漉提取,共4次(12 h/次)。提取液减压浓缩得浸膏1.87 kg。将此浸膏在超声波辅助下用水溶解,抽滤得滤液和水不溶物。滤液依次用石油醚、乙酸乙酯和正丁醇萃取,每种萃取剂的用量为3倍滤液体积,并分3次萃取;各萃取液经减压浓缩后分别得石油醚部位浸膏236 g、乙酸乙酯部位浸膏309 g和正丁醇部位浸膏552 g;将乙酸乙酯部位用硅胶柱层析分离,依次以石油醚-乙酸乙酯梯度洗脱(100:0→1:1),洗脱馏分在薄层层析(TLC)检测下获得6个主成分段(E1~6)。各主成分段进一步进行纯化,第E1段硅胶柱层析(洗脱剂为二氯甲烷:乙酸乙酯=50:1)分得化合物1(54 mg)和化合物2(29 mg);第E2段硅胶柱层析(洗脱剂为二氯甲烷:乙酸乙酯=30:1)分得化合物3(15 mg);第E3段硅胶柱层析(洗脱剂为二氯甲烷:乙酸乙酯=20:1)分得化合物4(18 mg)和化合物5(9 mg);第E4段硅胶柱层析(洗脱剂为二氯甲烷:乙酸乙酯=10:1)分得化合物6(27 mg)和化合物7(11 mg);第E5段硅胶柱层析(洗脱剂为二氯甲烷:乙酸乙酯=2:1),将主成分合并后进一步用Sephadex LH-20凝胶柱(丙酮为洗脱剂)纯化得化合物8(21 mg);第E6段硅胶柱层析(洗脱剂为二氯甲烷:乙酸乙酯=1:1),将主成分合并后进一步用Sephadex LH-20凝胶柱(甲醇为洗脱剂)纯化得化合物9(8 mg)。

### 1.2.2 细胞毒性<sup>[3]</sup>

采用MTT法测试化合物1~9对肝癌细胞株BEL-7402、人胃癌细胞SGC-7901和人肺癌细胞A549的体外细胞毒活性。化合物分别用DMSO溶解后配成10 mmol/L储备液,测前稀释到适合的浓

度。将3种人体肿瘤细胞制成单细胞悬浮液,接种于96孔板上,并设空白组、阳性对照组(紫杉醇)以及实验组,每组设3个平行孔,实验组为100、50、25、12.5、6.25 μmol/L的含药样品溶液,在96孔板中直接加入各个样品溶液10 μL,连续培养48 h后。再加入10 μL配制好的MTT溶液(5 mg/mL),在CO<sub>2</sub>恒温培养箱中恒温培养,孵育后使用酶标仪测量其在波长为490 nm下的吸光度A值,按以下公式计算细胞生长抑制率。

细胞生长抑制率 =

$$\left[ \frac{A_{\text{对照}} - A_{\text{给药}}}{A_{\text{对照}}} \right] \times 100\%$$

以样品浓度为横坐标,抑制率为纵坐标,利用Origin 7.0软件绘制出浓度-抑制率曲线图。样品活性结果以IC<sub>50</sub>(半数抑制浓度)表示,当抑制率为50%时的样品浓度也就是细胞毒活性的IC<sub>50</sub>值。

## 2 实验结果

### 2.1 结构鉴定

**化合物1** 白色粉末,mp. 57.1~59.3 °C,ESI-MS:*m/z* 255.3 [M-H]<sup>-</sup>;分子式为C<sub>16</sub>H<sub>32</sub>O<sub>2</sub>; <sup>1</sup>H NMR(500 MHz,CDCl<sub>3</sub>)δ:2.41(2H,t,*J* = 7.2 Hz,H-2),1.59(2H,m,H-3),1.38~1.21(24H,m,H-4~15),1.03(3H,t,*J* = 6.9 Hz,H-16); <sup>13</sup>C NMR(125 MHz,CDCl<sub>3</sub>)δ:174.6(C-1),34.2(C-2),31.9(C-14),28.8~29.4(C-4~C-13),24.8(C-3),22.7(C-15),14.1(C-16)。以上数据和文献<sup>[4,5]</sup>报道一致,故确定该化合物为软脂酸。

**化合物2** 淡黄色黏稠液体;ESI-MS:*m/z* 133.3 [M+H]<sup>+</sup>;分子式为C<sub>9</sub>H<sub>8</sub>O;<sup>1</sup>H NMR(500 MHz,CDCl<sub>3</sub>)δ:9.77(1H,d,*J* = 7.2 Hz,H-1),7.52(1H,d,*J* = 15.6 Hz,H-3),7.33(2H,d,*J* = 8.6 Hz,H-2',6'),7.26(2H,dd,*J* = 8.6,7.8 Hz,H-3',H-5'),7.19(1H,d,*J* = 7.8 Hz,H-4'),6.74(1H,dd,*J* = 15.6,7.2 Hz,H-2); <sup>13</sup>C NMR(125 MHz,CDCl<sub>3</sub>)δ:187.39(C-1),134.3(C-2),151.5(C-3),137.0(C-1'),128.9(C-3',C-5'),126.9(C-2',C-6'),128.5(C-4')。以上数据和文献<sup>[6,7]</sup>报道一致,故确定该化合物为反式肉桂醛。

**化合物3** 浅黄色粉末,mp. 245.8~246.7 °C;ESI-MS:*m/z* 295.2 [M+Na]<sup>+</sup>,271.1 [M-H]<sup>-</sup>;分子式为C<sub>15</sub>H<sub>12</sub>O<sub>5</sub>;IR(KBr)ν<sub>max</sub> 3 406~3 129,2 926,2 847,1 706 cm<sup>-1</sup>; <sup>1</sup>H NMR(500 MHz,CD<sub>3</sub>OD)δ:7.31(2H,d,*J* = 8.2 Hz,H-2',H-6'),6.78(2H,d,*J* = 8.2 Hz,H-3',H-5'),6.01(1H,s,H-8),5.83(1H,s,

H-6), 5.35 (1H, dd,  $J = 11.4, 2.0$  Hz, H-2), 3.36 (1H, d,  $J = 13.0$  Hz, H-3a), 3.14 (1H, d,  $J = 2.0$  Hz, H-3b);  $^{13}\text{C}$  NMR (125 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 79.7 (C-2), 43.2 (C-3), 196.7 (C-4), 165.4 (C-5), 98.3 (C-

6), 167.3 (C-7), 95.9 (C-8), 164.0 (C-9), 102.7 (C-10), 132.0 (C-1'), 128.8 (C-2', C-6'), 115.5 (C-3', C-5'), 158.7 (C-4')。以上数据和文献<sup>[8,9]</sup>报道一致,故确定该化合物为柚皮素(结构见图1)。

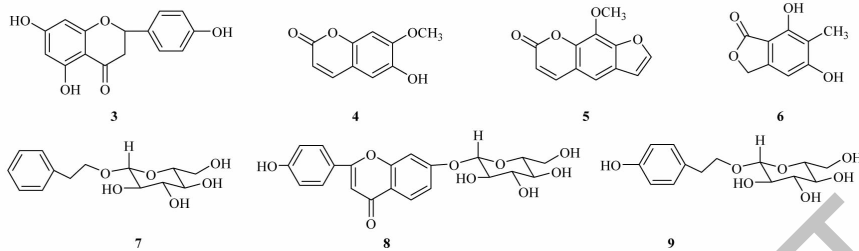


图1 化合物3~9的化学结构

Fig. 1 The chemical structures of compounds 3-9

**化合物4** 浅黄色针晶, mp. 181.2~183.6 °C; ESI-MS:  $m/z$  215.6  $[\text{M} + \text{Na}]^+$ ; 分子式为  $\text{C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4$ 。IR (KBr)  $\nu_{\text{max}}$  3 335、1 704  $\text{cm}^{-1}$ ;  $^1\text{H}$  NMR (500 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.85 (1H, d,  $J = 9.8$  Hz, H-4), 7.09 (1H, s, H-5), 6.73 (1H, s, H-8), 6.22 (1H, d,  $J = 9.8$  Hz, H-3), 3.79 (3H, s, 7-OCH<sub>3</sub>);  $^{13}\text{C}$  NMR (125 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 164.1 (C-2), 108.8 (C-3), 143.3 (C-4), 102.7 (C-5), 152.5 (C-6), 145.1 (C-7), 113.0 (C-8), 150.6 (C-9), 111.7 (C-10), 57.7 (7-OCH<sub>3</sub>)。以上数据和文献<sup>[10]</sup>报道一致,故确定该化合物为异东茛菪素。

**化合物5** 淡黄色粉末固体, mp. 146.9~149.1 °C; ESI-MS:  $m/z$  217.4  $[\text{M} + \text{H}]^+$ , 455.5  $[2\text{M} + \text{Na}]^+$ ; 分子式为  $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{O}_4$ ; IR (KBr)  $\nu_{\text{max}}$  3 016、1 712  $\text{cm}^{-1}$ ;  $^1\text{H}$  NMR (500 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 7.38 (1H, d,  $J = 8.9$  Hz, H-4), 7.53 (1H, d,  $J = 2.4$  Hz, H-2'), 7.02 (1H, s, H-5), 6.77 (1H, d,  $J = 2.4$  Hz, H-3'), 6.49 (1H, d,  $J = 8.9$  Hz, H-3), 4.15 (3H, s, 8-OCH<sub>3</sub>);  $^{13}\text{C}$  NMR (125 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 160.9 (C-2), 113.2 (C-3), 143.5 (C-4), 114.9 (C-5), 126.1 (C-6), 145.8 (C-7), 136.6 (C-8), 115.7 (C-4a), 142.3 (C-8a), 146.7 (C-2'), 106.8 (C-3'), 58.7 (8-OCH<sub>3</sub>)。以上数据与文献报道<sup>[11]</sup>一致,故确定该化合物为花椒毒素。

**化合物6** 白色固体, mp. 223.7~226.2 °C; 与三氯化铁反应呈阳性,提示含有酚羟基; HR-EI-MS:  $m/z$  181.165 8  $[\text{M} + \text{H}]^+$  (calcd for  $\text{C}_9\text{H}_9\text{O}_4$ , 181.166 1); IR (KBr)  $\nu_{\text{max}}$  3 304~3 427、3 029、1 695、2 962、2 835、1 631、1 609、1 578、1 492  $\text{cm}^{-1}$ ;  $^1\text{H}$

NMR (500 MHz,  $\text{DMSO}-d_6$ )  $\delta$ : 10.29 (1H, br s, 7-OH), 9.28 (1H, br s, 5-OH), 6.69 (1H, s, H-4), 5.18 (2H, s, H-3), 2.36 (3H, s, 6-CH<sub>3</sub>);  $^{13}\text{C}$  NMR (125 MHz,  $\text{DMSO}-d_6$ )  $\delta$ : 174.1 (C-1), 71.2 (C-3), 101.5 (C-4), 156.1 (C-5), 119.8 (C-6), 159.2 (C-7), 146.9 (C-3a), 102.9 (C-7a), 8.3 (6-CH<sub>3</sub>)。以上数据与文献报道<sup>[12,13]</sup>一致,故确定该化合物为6-甲基-5,7-二羟基苯酞。

**化合物7** 白色粉末固体, mp. 114.2~116.7 °C; ESI-MS:  $m/z$  285.3  $[\text{M} + \text{H}]^+$ ; 分子式为  $\text{C}_{14}\text{H}_{20}\text{O}_6$ ; IR (KBr)  $\nu_{\text{max}}$  3 329、3 016  $\text{cm}^{-1}$ ;  $^1\text{H}$  NMR (500 MHz,  $\text{DMSO}-d_6$ )  $\delta$ : 7.39 (2H, dd,  $J = 8.6, 8.2$  Hz, H-3, H-5), 7.24 (2H, d,  $J = 8.6$  Hz, H-2, H-6), 7.01 (1H, d,  $J = 8.2$  Hz, H-4), 4.39 (1H, d,  $J = 7.2$  Hz, H-1'), 3.78 (2H, t,  $J = 5.2$  Hz, H-8), 3.71 (1H, dd,  $J = 10.6, 3.9$  Hz, H-6'a), 3.56 (1H, dd,  $J = 10.2, 2.2$  Hz, H-6'b), 3.43~3.21 (4H, m, H-2', 3', 4', 5'), 2.87 (2H, t,  $J = 5.2$  Hz, H-7);  $^{13}\text{C}$  NMR (125 MHz,  $\text{DMSO}-d_6$ )  $\delta$ : 136.2 (C-1), 128.3 (C-3, 5), 126.9 (C-2, 6), 125.6 (C-4), 34.2 (C-7), 70.5 (C-8), 103.3 (C-1'), 74.1 (C-2'), 75.9 (C-3'), 76.8 (C-4'), 71.3 (C-5'), 62.5 (C-6')。以上数据与文献<sup>[14,15]</sup>报道一致,故确定该化合物为2-苯基乙基-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷。

**化合物8** 白色晶体, mp. 239~240 °C; EI-MS:  $m/z$  431.2  $[\text{M}-\text{H}]$ ; 分子式为  $\text{C}_{21}\text{H}_{20}\text{O}_{10}$ ; IR (KBr)  $\nu_{\text{max}}$  3 528、3 387、1 669  $\text{cm}^{-1}$ ;  $^1\text{H}$  NMR (500 MHz,  $\text{DMSO}-d_6$ )  $\delta$ : 12.95 (1H, br s, 5-OH), 10.38 (1H, br s, 4'-OH), 7.95 (2H, d,  $J = 8.6$  Hz, H-2',

6'), 7.01 (2H, d,  $J = 8.6$  Hz, H-3', 5'), 6.90 (1H, s, H-3), 6.85 (1H, s, H-8), 6.45 (1H, s, H-6), 5.19 (1H, d,  $J = 7.2$  Hz, H-1''), 3.76 (1H, dd,  $J = 11.2, 3.8$  Hz, H-6''a), 3.61 (1H, dd,  $J = 10.2, 2.8$  Hz, H-6''b), 3.47 ~ 3.15 (4H, m, H-2'', 3'', 4'', 5'');  $^{13}\text{C}$  NMR (125 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 164.2 (C-2), 102.9 (C-3), 182.3 (C-4), 161.3 (C-5), 101.7 (C-6), 162.9 (C-7), 96.9 (C-8), 155.3 (C-9), 104.8 (C-10), 122.0 (C-1'), 128.5 (C-2', 6'), 117.4 (C-3', 5'), 159.6 (C-4'), 101.4 (C-1''), 72.8 (C-2''), 76.9 (C-3''), 70.4 (C-4''), 76.1 (C-5''), 61.3 (C-6''). 以上数据与文献<sup>[16,17]</sup>报道一致,故确定该化合物为芹菜素-7-*O*- $\beta$ -D-葡萄糖苷。

**化合物 9** 红棕色粉末, mp. 156.9 ~ 159.2 °C; EI-MS  $m/z$ : 301.4 [M + H]<sup>+</sup>; 分子式为 C<sub>14</sub>H<sub>20</sub>O<sub>7</sub>; IR (KBr)  $\nu_{\max}$  3 387, 3 008 cm<sup>-1</sup>;  $^1\text{H}$  NMR (500 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 7.07 (2H, d,  $J = 8.6$  Hz, H-2, H-6), 6.98

(2H, d,  $J = 8.6$  Hz, H-3, H-5), 4.31 (1H, d,  $J = 7.2$  Hz, H-1'), 3.78 (1H, dd,  $J = 10.8, 4.2$  Hz, H-6'a), 3.84 (2H, t,  $J = 4.9$  Hz, H-8), 3.61 (1H, dd,  $J = 10.0, 2.0$  Hz, H-6'b), 3.47 ~ 3.26 (4H, m, H-2', 3', 4', 5'), 2.91 (2H, t,  $J = 4.9$  Hz, H-7);  $^{13}\text{C}$  NMR (125 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 133.4 (C-1), 129.2 (C-2, 6), 117.5 (C-3, 5), 155.9 (C-4), 34.6 (C-7), 70.3 (C-8), 103.1 (C-1'), 73.8 (C-2'), 76.5 (C-3'), 77.1 (C-4'), 71.2 (C-5'), 62.3 (C-6'). 以上数据与文献<sup>[18-20]</sup>报道一致,故确定该化合物为红景天苷。

## 2.2 活性测试结果

化合物 1~9 的细胞毒活性测试结果见表 1, 化合物 4 对 3 种肿瘤细胞均具有不同程度的细胞毒活性, IC<sub>50</sub> < 50  $\mu\text{mol/L}$ , 其中, 该化合物对测试人肺癌细胞 A549 的抑制活性最强, IC<sub>50</sub> 为 6.68  $\mu\text{mol/L}$ ; 其它化合物对 3 种测试肿瘤细胞无明显细胞毒活性。

表 1 化合物 1~9 的体外细胞毒活性测试结果 ( $\bar{x} \pm s, n = 3$ )  
Table 1 Cytotoxic activity *in vitro* of compounds 1-9 ( $\bar{x} \pm s, n = 3$ )

化合物 Compound	IC <sub>50</sub> ( $\mu\text{mol/L}$ )		
	A549	BEL-7402	SGC-7901
1~3	>50	>50	>50
4	6.68 ± 1.43	17.45 ± 0.89	35.22 ± 1.68
5	>50	>50	>50
6	>50	49.08 ± 1.27	>50
7~9	>50	>50	>50
紫杉醇 Taxol	0.58 ± 0.01	2.08 ± 0.26	1.35 ± 0.61

注: 紫杉醇为阳性对照。

Note: Taxol is positive control

## 3 结论

本文从旱芹菜根工业酒精提取物的乙酸乙酯萃取部位共分离和鉴定出 9 个化合物, 包括糖苷类、香豆素类、黄酮、苯酚及其他类化合物, 其中化合物 3、4、6、7 和 9 首次从该属植物中分离得到。测试了化合物 1~9 对 3 种肿瘤的细胞毒活性, 结果表明化合物 4 对 3 种肿瘤细胞均具有不同程度的细胞毒活性, 对人肺癌细胞 A549 表现出较强的细胞毒活性, IC<sub>50</sub> 值为 6.68  $\mu\text{mol/L}$ 。据文献报道<sup>[21]</sup> 化合物 4 还对人乳腺癌细胞 MCF 和肝癌细胞 HepG2 也具有好的细胞毒活性, IC<sub>50</sub> 值分别为 8.58  $\mu\text{mol/L}$  和 4.76  $\mu\text{mol/L}$ 。因此, 化合物 4 可能是旱芹菜根作为抗癌药物中的潜在有效成分, 其作用机制及其体内药效仍然有待于进一步深入研究。

## 参考文献

- 1 Chinese Pharmacopoeia Commission. Chinese Pharmacopoeia Commission of Sanitary Ministry of People's Republic of China. Chinese Pharmacopoeia, Uigur Pharmacopoeia Fascicule (中华人民共和国卫生部药品标准维吾尔药分册) [M]. Xinjiang: Urumqi: Xinjiang Science, Technology and Hygiene Press, 1998: 141.
- 2 Li Y, Wu LY, Chen Y, et al. The recent research of *Apium graveolens* L. [J]. Chin Wild Plant Res (中国野生植物资源), 2010, 29: 15-17.
- 3 Yang XJ, Gao X, Zhao M, et al. A dicarbamate from the roots of *Apium graveolens* L. and its anti-cancer activities [J]. Nat Prod Res Dev (天然产物研究与开发), 2019, 31: 261-263.
- 4 Huang JS, Li QX, Wu J, et al. Study on chemical constituents of *Trachyrhamphus serratus* [J]. Chin Tradit Herb Drugs (中

- 草药), 2004, 35:485-487.
- 5 Pei YH, Li X, Zhu TR, et al. Studies on the structure of a new flavanone glucoside of the root-sprouts of *Agrimonia pilosa* Ledeb [J]. Acta Pharm Sin (药学学报), 1990, 25:267-270.
  - 6 Chao LK, Hua KF, Chang ST, et al. Cinnamaldehyde inhibits pro-inflammatory cytokines secretion from monocytes/macrophages through suppression of intracellular signaling [J]. Food Chem Toxicol, 2008, 46:220-231.
  - 7 Xu QY, Zhu JB, Wang ZZ, et al. The research  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from Cortex Cinnamomi [J]. Nat Prod Res Dev (天然产物研究与开发), 2012, 24:1246-1249.
  - 8 Wang YZ, Shi RB, Liu B. Isolation and structure identification of chemical principles from *Paeonia lactiflora* Pall [J]. J Beijing Univ Tradit Chin Med (北京中医药大学学报), 2006, 29:267-269.
  - 9 Wagner H, Chari VM, Sonnenbichler J.  $^{13}$ C-NMR-spektren natürlich vorkommender Flavonoide [J]. Tetrahedron Lett, 1976, 17:1799-1802.
  - 10 Wang Q, Zhang CF, Zhang M, et al. Study on chemical constituents in roots and rhizomes of *Ligularia luciformis* II [J]. China J Chin Mater Med (中国中药杂志), 2008, 33:1018-1020.
  - 11 Elgamal MHA, Elewa NH, Elkhaisy E A M, et al.  $^{13}$ C-NMR chemical shifts and carbon-proton coupling constants of some furocoumarins and furochromones [J]. Phytochemistry, 1979, 18:139-143.
  - 12 Rogelio J, Luís AM, Héctor SZ. Synthesis of demethylated nidulol via an intramolecular Michael reaction [J]. Nat Prod Res, 2010, 24:1274-1281.
  - 13 Achenbach H, Mühlenfeld A, Brillinger GU. Stoffwechselprodukte von Mikroorganismen, XXX: phthalide und chromanole aus *Aspergillus duricaulis* [J]. Liebigs Ann Chem, 1985:1596-1628.
  - 14 Piao MS, Kim MR, Lee DG, et al. Antioxidative constituents from *Buddleia officinalis* [J]. Arch Pharm Res, 2003, 26:453-457.
  - 15 Wu ZJ, Shen YH, Zhang WD. Chemical constituents of *Ainsliaea macrocephala* [J]. Chem Nat Comp, 2013, 49:167-169.
  - 16 Chen JR, Wang YF, Qiu LG, et al. Chemical study on "Medo Gaengla"—A Tibetan medicine [J]. Acta Bot Yunnan (云南植物研究), 1989, 11:271-275.
  - 17 Tian Y, Liu XQ, Dong JX. Apigenin glycosides from *Euphorbia humifusa* Wild [J]. Acta Pharm Sin (药学学报), 2009, 44:496-499.
  - 18 Chen JJ, Chen JS, Zhou J, et al. The chemical constituents of *Rhodiola atuntsuenseis* [J]. Acta Bot Yunnan (云南植物研究), 1999, 21:525-530.
  - 19 Xu HX, Li XF, Xuan X, et al. Whole-cell-catalyzed synthesis of phenolic glycoside esters, and their antioxidant and antimelanogenic properties [J]. Ind Eng Chem Res, 2020, 59:16591-16602.
  - 20 Du XM, Sun NY, Shoyama Y. Flavonoids from *Goodyera schlechtendaliana* [J]. Phytochemistry, 2000, 53:997-1000.
  - 21 Zhao DD, Zhao QS, Liu L, et al. Compounds from *Dryopteris fragrans* (L.) Schott with cytotoxic activity [J]. Molecules, 2014, 19:3345-3355.