

## 海滨木槿茎乙醇提取物的化学成分

唐 靛<sup>1,2</sup>, 张国栋<sup>2</sup>, 王瑞阳<sup>2</sup>, 冯 煦<sup>2</sup>, 陈 雨<sup>2,①</sup>

[1. 南京林业大学化学工程学院, 江苏 南京 210037; 2. 江苏省中国科学院植物研究所(南京中山植物园) 江苏省植物资源研究与利用重点实验室 江苏省中药材生态种植与高值化利用工程研究中心, 江苏 南京 210014]

**摘要:** 从海滨木槿(*Hibiscus hamabo* Sieb. et Zucc.)茎的乙醇提取物中鉴定到11个化合物,分别为植醇(1)、 $\alpha$ -香树脂醇(2)、粘霉烯醇(3)、 $3\beta$ -7-豆甾烯-3-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷(4)、1-二十五烷醇(5)、东莨菪素(6)、丁香脂素(7)、白桦脂醇(8)、臭矢菜素 D(9)、Z-咖啡酸硬脂醇酯(10)和东莨菪苷(11)。上述化合物均首次从海滨木槿中获得。

**关键词:** 海滨木槿; 茎; 乙醇提取物; 化学成分

中图分类号: Q946.8; R284.1 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2023)01-0089-03

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2023.01.10

**Chemical constituents of ethanol extract of the stems of *Hibiscus hamabo*** TANG Liang<sup>1,2</sup>, ZHANG Guodong<sup>2</sup>, WANG Ruiyang<sup>2</sup>, FENG Xu<sup>2</sup>, CHEN Yu<sup>2,①</sup> [1. College of Chemical Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. Jiangsu Key Laboratory for the Research and Utilization of Plant Resources, Jiangsu Provincial Engineering Research Center for Ecological Planting and High-value Utilization of Traditional Chinese Medicine, Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences (Nanjing Botanical Garden Mem. Sun Yat-Sen), Nanjing 210014, China], *J. Plant Resour. & Environ.*, 2023, 32(1): 89-91

**Abstract:** Eleven compounds were identified from the ethanol extract of the stems of *Hibiscus hamabo* Sieb. et Zucc., viz. phytol (1),  $\alpha$ -amyrin (2), glutinol (3),  $3\beta$ -stigmast-7-en-3-O- $\beta$ -D-glucopyranoside (4), 1-pentacosanol (5), scopoletin (6), syringaresinol (7), betulin (8), cleomiscosin D (9), Z-octadecyl caffeate (10) and scopolin (11). All these compounds are firstly obtained from *H. hamabo*.

**Key words:** *Hibiscus hamabo* Sieb. et Zucc.; stem; ethanol extract; chemical constituent

海滨木槿(*Hibiscus hamabo* Sieb. et Zucc.)自然分布于浙江舟山群岛和福建沿海岛屿,具有良好的观赏性和耐盐性,是沿海地区优良的海岸林带绿化树种,广泛用于盐碱地生态修复<sup>[1]</sup>。目前,有关海滨木槿的研究主要集中在盐胁迫下的生理特性、种子萌发和光合特性<sup>[1]</sup>等方面,而其化学成分及药理作用方面尚无系统的报道。木槿属(*Hibiscus* Linn.)植物多数供药用,具有较好的抑制特异性炎症和抗氧化作用<sup>[2]</sup>。本课题组前期研究发现,海滨木槿茎的粗提物具有一定的抗肿瘤活性(另文发表)。为了进一步开发海滨木槿的药用价值,作者对海滨木槿的茎进行了化学成分分离和鉴定,前期报道了从海滨木槿茎中首次分离得到4个木栓烷型三萜、1个齐墩果烷型三萜和3个甾醇类化合物<sup>[3]</sup>,本文对海滨木槿茎乙醇提取物中的化学成分开展了进一步分离和鉴定。

### 1 材料和方法

#### 1.1 材料

供试材料为2009年秋季在浙江省宁海县青珠农场内采

集人工种植5年的海滨木槿鲜茎,其幼苗(株龄2 a)由江苏省中国科学院植物研究所提供。青珠农场地势平坦,海滨木槿定植于该农场含盐量为0.1%的沙质土壤中。

#### 1.2 方法

参照已报道的海滨木槿茎的萃取和分离方法<sup>[3]</sup>,从石油醚萃取部分得到化合物1(25 mg)、化合物2(10 mg)、化合物3(51 mg)、化合物4(19 mg)和化合物5(15 mg);从乙酸乙酯萃取部分得到化合物6(27 mg)、化合物7(360 mg)、化合物8(9 mg)、化合物9(410 mg)、化合物10(10 mg)和化合物11(15 mg)。

### 2 结果和分析

化合物1:无色油状物,ESI-MS  $m/z$ :297[M+H]<sup>+</sup>,分子式为C<sub>20</sub>H<sub>40</sub>O。<sup>1</sup>H-NMR(300 MHz, CDCl<sub>3</sub>) $\delta$ :5.40(1H, dt,  $J$ =7.0, 1.1 Hz, H-2), 4.15(2H, d,  $J$ =7.0 Hz, H-1), 1.98(2H, m, H-4), 1.66(3H, s, H-17), 1.54(1H, m, H-15), 0.83~0.88(12H,

收稿日期: 2022-06-30

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(32070360)

作者简介: 唐 靛(1996—),女,四川达州人,硕士研究生,从事天然药物化学方面的研究。

①通信作者 E-mail: ychen@jib.ac.cn

引用格式: 唐 靛, 张国栋, 王瑞阳, 等. 海滨木槿茎乙醇提取物的化学成分[J]. 植物资源与环境学报, 2023, 32(1): 89-91.

m, H-16, 18, 19, 20)。<sup>13</sup>C-NMR (75 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 59.5 (C-1), 123.1 (C-2), 140.3 (C-3), 39.9 (C-4), 25.1 (C-5), 37.4 (C-6), 32.8 (C-7), 39.2 (C-8), 24.8 (C-9), 37.2 (C-10), 32.7 (C-11), 37.3 (C-12), 24.4 (C-13), 36.6 (C-14), 27.8 (C-15), 22.7 (C-16), 16.3 (C-17), 19.6 (C-18), 19.7 (C-19), 22.6 (C-20)。与文献[4]进行对比, 鉴定该化合物为植醇 (phytol)。

化合物 2: 白色针晶 (石油醚-乙酸乙酯), ESI-MS *m/z*: 427 [M+H]<sup>+</sup>, 分子式为 C<sub>30</sub>H<sub>50</sub>O。<sup>1</sup>H-NMR (300 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 5.13 (1H, t, *J*=7.2 Hz, H-12), 3.20 (1H, dd, *J*=5.1 Hz, H-3), 1.11 (3H, s, CH<sub>3</sub>-25), 0.93 (3H, s, CH<sub>3</sub>-23), 0.89 (3H, s, CH<sub>3</sub>-24), 0.86 (3H, s, CH<sub>3</sub>-27), 0.77 (3H, s, CH<sub>3</sub>-26), 0.76 (3H, s, CH<sub>3</sub>-28), 0.98 (3H, d, *J*=6.0 Hz, CH<sub>3</sub>-30), 0.91 (3H, d, *J*=6.0 Hz, CH<sub>3</sub>-29)。<sup>13</sup>C-NMR (75 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 38.8 (C-1), 27.2 (C-2), 79.0 (C-3), 38.7 (C-4), 55.2 (C-5), 18.3 (C-6), 32.9 (C-7), 40.1 (C-8), 47.7 (C-9), 36.8 (C-10), 23.3 (C-11), 124.4 (C-12), 139.6 (C-13), 42.0 (C-14), 28.7 (C-15), 26.6 (C-16), 37.7 (C-17), 59.1 (C-18), 39.6 (C-19), 39.6 (C-20), 31.2 (C-21), 41.5 (C-22), 28.1 (C-23), 15.6 (C-24), 15.6 (C-25), 16.8 (C-26), 23.2 (C-27), 28.1 (C-28), 17.4 (C-29), 21.3 (C-30)。与文献[5]进行对比, 鉴定该化合物为 α-香树脂醇 (α-amyrin)。

化合物 3: 白色针晶 (三氯甲烷), ESI-MS *m/z*: 427 [M+H]<sup>+</sup>, 分子式为 C<sub>30</sub>H<sub>50</sub>O。<sup>1</sup>H-NMR (300 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 5.63 (1H, br d, *J*=6.0 Hz, H-6), 3.46 (1H, t, *J*=2.8 Hz, H-3), 1.16 (3H, s, H-30), 1.14 (3H, s, H-24), 1.09 (3H, s, H-26), 1.04 (3H, s, H-23), 1.00 (3H, s, H-27), 0.97 (3H, s, H-28), 0.95 (3H, s, H-29), 0.85 (H, s, H-25)。<sup>13</sup>C-NMR (75 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 18.2 (C-1), 27.8 (C-2), 72.7 (C-3), 40.8 (C-4), 141.6 (C-5), 122.0 (C-6), 23.6 (C-7), 47.4 (C-8), 34.8 (C-9), 49.6 (C-10), 34.8 (C-11), 30.6 (C-12), 37.8 (C-13), 39.6 (C-14), 32.3 (C-15), 38.9 (C-16), 30.3 (C-17), 43.0 (C-18), 35.1 (C-19), 28.2 (C-20), 32.8 (C-21), 36.0 (C-22), 28.9 (C-23), 25.4 (C-24), 16.1 (C-25), 19.6 (C-26), 18.4 (C-27), 32.0 (C-28), 34.6 (C-29), 32.0 (C-30)。与文献[6]进行对比, 鉴定该化合物为粘霉烯醇 (glutinol)。

化合物 4: 白色粉末 (三氯甲烷-甲醇), ESI-MS *m/z*: 577 [M+H]<sup>+</sup>, 分子式为 C<sub>35</sub>H<sub>60</sub>O<sub>6</sub>。<sup>1</sup>H-NMR (300 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>) δ: 5.31 (1H, br s, H-7), 4.22 (1H, d, *J*=7.8 Hz, H-1'), 0.94 (3H, s, CH<sub>3</sub>-18), 0.79 (3H, s, CH<sub>3</sub>-19), 0.89 (3H, d, *J*=6.0 Hz, CH<sub>3</sub>-25), 0.80 (3H, d, *J*=6.0 Hz, CH<sub>3</sub>-21), 0.75 (3H, d, *J*=6.0 Hz, CH<sub>3</sub>-27), 0.65 (3H, d, *J*=6.0 Hz, CH<sub>3</sub>-29)。<sup>13</sup>C-NMR (75 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>) δ: 36.1 (C-1), 31.3 (C-2), 77.2 (C-3), 39.3 (C-4), 38.6 (C-5), 28.8 (C-6), 128.9 (C-7), 137.8 (C-8), 49.5 (C-9), 36.1 (C-10), 20.5 (C-11), 38.8 (C-12), 41.9 (C-13), 56.1 (C-14), 23.8 (C-15), 28.6 (C-16), 55.4 (C-

17), 11.7 (C-18), 19.0 (C-19), 35.4 (C-20), 18.5 (C-21), 35.4 (C-22), 25.4 (C-23), 45.3 (C-24), 19.6 (C-25), 31.1 (C-26), 18.8 (C-27), 22.5 (C-28), 11.7 (C-29), 100.9 (C-1'), 73.2 (C-2'), 76.7 (C-3'), 70.0 (C-4'), 75.2 (C-5'), 61.0 (C-6')。与文献[7]进行对比, 鉴定该化合物为 3β-7-豆甾烯-3-O-β-D-葡萄糖苷 (3β-stigmast-7-en-3-O-β-D-glucopyranoside)。

化合物 5: 白色固体, ESI-MS *m/z*: 391 [M+Na]<sup>+</sup>, 分子式为 C<sub>25</sub>H<sub>52</sub>O。<sup>1</sup>H-NMR (300 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 0.87 (3H, t, *J*=6.4 Hz, CH<sub>3</sub>-25), 1.25~1.32 (44H, br m, CH<sub>2</sub>-2~CH<sub>2</sub>-23), 1.56 (2H, m, CH<sub>2</sub>-24), 3.64 (2H, t, *J*=6.5 Hz, CH<sub>2</sub>-1)。<sup>13</sup>C-NMR (75 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 63.1 (C-1), 32.8 (C-2), 25.7 (C-3), 29.3~29.6 (19×C, C-4~C-22), 31.9 (C-23), 22.6 (C-24), 14.1 (C-25)。与文献[8]进行对比, 鉴定该化合物为 1-二十五烷醇 (1-pentacosanol)。

化合物 6: 淡黄色针晶 (石油醚-乙酸乙酯), ESI-MS *m/z*: 193 [M+H]<sup>+</sup>, 分子式为 C<sub>10</sub>H<sub>8</sub>O<sub>4</sub>。<sup>1</sup>H-NMR (500 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 7.58 (1H, d, *J*=9.5 Hz, H-4), 7.28 (1H, s, H-5), 6.84 (1H, s, H-8), 6.28 (1H, d, *J*=9.5 Hz, H-3), 3.95 (3H, s, OCH<sub>3</sub>)。<sup>13</sup>C-NMR (125 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 161.4 (C-2), 113.4 (C-3), 143.2 (C-4), 107.5 (C-5), 144.0 (C-6), 150.3 (C-7), 103.2 (C-8), 149.7 (C-9), 111.5 (C-10), 56.4 (OCH<sub>3</sub>)。与文献[9]进行对比, 鉴定该化合物为东莨菪素 (scopoletin)。

化合物 7: 无色无定型粉末, ESI-MS *m/z*: 419 [M+H]<sup>+</sup>, 分子式为 C<sub>22</sub>H<sub>26</sub>O<sub>8</sub>。<sup>1</sup>H-NMR (300 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 6.57 (4H, s, H-2, H-6, H-2', H-6'), 4.72 (2H, d, *J*=4.2 Hz, H-7, H-7'), 3.09 (2H, m, H-8, H-8'), 4.28 (2H, m, H-9a, H-9'a), 3.89 (2H, m, H-9b, H-9'b), 5.51 (2H, s, 2×ArOH), 3.89 (12H, s, 4×OCH<sub>3</sub>)。<sup>13</sup>C-NMR (75 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 132.0 (C-1, C-1'), 102.7 (C-2, C-2', C-6, C-6'), 147.1 (C-3, C-3', C-5, C-5'), 134.3 (C-4, C-4'), 86.0 (C-7, C-7'), 54.3 (C-8, C-8'), 71.7 (C-9, C-9'), 56.3 (4×OCH<sub>3</sub>)。与文献[10]进行对比, 鉴定该化合物为丁香脂素 (syringaresinol)。

化合物 8: 白色粉末 (石油醚-乙酸乙酯), ESI-MS *m/z*: 443 [M+H]<sup>+</sup>, 分子式为 C<sub>30</sub>H<sub>50</sub>O<sub>2</sub>。<sup>1</sup>H-NMR (300 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 4.67, 4.58 (2H, dd, *J*=2.0 Hz, H-29), 3.79 (1H, d, *J*=11.0 Hz, H-28β), 3.36 (1H, d, *J*=11.0 Hz, H-28α), 3.19 (1H, dd, *J*=11.0, 5.0 Hz, H-3α), 2.39 (1H, ddd, *J*=11.0, 11.0, 5.0 Hz, H-19), 1.68 (3H, s, CH<sub>3</sub>-30), 1.05 (3H, s, CH<sub>3</sub>-26), 0.98 (3H, s, CH<sub>3</sub>-23), 0.95 (3H, s, CH<sub>3</sub>-24), 0.88 (3H, s, CH<sub>3</sub>-25), 0.76 (3H, s, CH<sub>3</sub>-27)。<sup>13</sup>C-NMR (75 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 38.8 (C-1), 27.4 (C-2), 79.0 (C-3), 38.7 (C-4), 55.3 (C-5), 18.3 (C-6), 34.2 (C-7), 40.9 (C-8), 50.4 (C-9), 37.1 (C-10), 20.8 (C-11), 25.2 (C-12), 37.3 (C-13), 42.7 (C-14), 27.0 (C-15), 29.2 (C-16), 47.8 (C-17), 47.8 (C-18), 48.7 (C-19), 150.4 (C-20), 29.7 (C-21), 33.9 (C-22), 28.0 (C-23), 15.3 (C-24), 16.0 (C-25), 16.1 (C-26), 14.7 (C-27), 60.5 (C-28),

109.7(C-29), 19.1(C-30)。与文献[11]进行对比, 鉴定该化合物为白桦脂醇(betulin)。

化合物 9: 白色粉末(甲醇), ESI-MS  $m/z$ : 417 [M+H]<sup>+</sup>, 分子式为 C<sub>21</sub>H<sub>20</sub>O<sub>9</sub>。<sup>1</sup>H-NMR (300 MHz, C<sub>5</sub>D<sub>5</sub>N)  $\delta$ : 6.43(1H, d,  $J=9.5$  Hz, H-3), 7.72(1H, d,  $J=9.5$  Hz, H-4), 6.72(1H, s, H-5), 7.18(2H, s, H-2', 6'), 5.59(1H, d,  $J=8.2$  Hz, H-7'), 4.49(1H, m, H-8'), 4.31(1H, m, H-9'), 3.92(1H, m, H-9'), 3.79(3H, s, 6-OCH<sub>3</sub>), 3.75(6H, s, 2', 5'-OCH<sub>3</sub>)。<sup>13</sup>C-NMR (75 MHz, C<sub>5</sub>D<sub>5</sub>N)  $\delta$ : 160.8(C-2), 113.9(C-3), 144.5(C-4), 101.2(C-5), 146.5(C-6), 138.5(C-7), 133.2(C-8), 138.6(C-9), 112.0(C-10), 126.5(C-1'), 106.5(C-2'), 149.2(C-3'), 138.6(C-4'), 149.2(C-5'), 106.5(C-6'), 77.9(C-7'), 80.0(C-8'), 60.8(C-9'), 56.2(3', 5'-OCH<sub>3</sub>), 56.3(6-OCH<sub>3</sub>)。与文献[12]进行对比, 鉴定该化合物为臭矢菜素 D(cleomiscosin D)。

化合物 10: 淡黄色无定形固体, ESI-MS  $m/z$ : 433 [M+H]<sup>+</sup>, 分子式为 C<sub>27</sub>H<sub>44</sub>O<sub>4</sub>。<sup>1</sup>H-NMR (300 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 7.42(1H, d,  $J=16.0$  Hz, H-2), 7.02(1H, d,  $J=1.9$  Hz, H-5), 6.98(1H, dd,  $J=8.0, 2.0$  Hz, H-9), 6.70(1H, d,  $J=8.0$  Hz, H-8), 6.22(1H, d,  $J=15.9$  Hz, H-3), 4.05(2H, t,  $J=6.6$  Hz, H-1'), 1.58(2H, t,  $J=7.0$  Hz, H-2'), 1.20(30H, br s, 15×CH<sub>2</sub>), 0.81(3H, t,  $J=6.9$  Hz, CH<sub>3</sub>)。<sup>13</sup>C-NMR (75 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 167.8(C-1), 114.4(C-2), 144.7(C-3), 127.7(C-4), 115.9(C-5), 143.7(C-6), 146.2(C-7), 115.5(C-8), 122.4(C-9), 64.8(C-1'), 31.9(C-2'), 29.7, 29.6, 29.5, 29.4, 29.3, 28.7(-CH<sub>2</sub>×8), 26.0(C-16'), 22.7(C-17'), 14.1(C-18')。与文献[13]进行对比, 鉴定该化合物为 Z-咖啡酸硬脂醇酯(Z-octadecyl caffeate)。

化合物 11: 白色粉末(甲醇), ESI-MS  $m/z$ : 355.3 [M+H]<sup>+</sup>, 分子式为 C<sub>16</sub>H<sub>18</sub>O<sub>9</sub>。<sup>1</sup>H-NMR (300 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>)  $\delta$ : 7.95(1H, d,  $J=9.6$  Hz, H-4), 7.29(1H, s, H-8), 7.16(1H, s, H-5), 6.32(1H, d,  $J=9.6$  Hz, H-3), 5.60(1H, d,  $J=7.8$  Hz, H-1', 示苷键为  $\beta$  构型), 3.81(3H, s, OCH<sub>3</sub>)。<sup>13</sup>C-NMR (75 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>)  $\delta$ : 160.2(C-2), 113.2(C-3), 143.8(C-4), 109.9(C-5), 145.9(C-6), 149.8(C-7), 103.1(C-8), 148.8(C-9), 112.2(C-10), 99.7(C-1'), 73.0(C-2'), 77.0(C-3'), 69.7(C-4'), 76.6(C-5'), 60.6(C-6'), 56.1(-OCH<sub>3</sub>)。与文献[14]进行对比, 鉴定该化合物为东莨菪苷(scopolin)。

上述 11 个化合物均首次从海滨木槿中分离获得,  $\alpha$ -香树脂醇具有抗菌、抗病毒等药理活性<sup>[15]</sup>, 植醇和粘毒烯醇具有一定的抗炎活性<sup>[16-17]</sup>, 白桦脂醇具有抗宫颈癌的作用<sup>[18]</sup>。本文报道的 11 个化学成分除了三萜类化学成分外, 还包括香豆素类、木脂素类和脂肪族类化学成分。海滨木槿茎中的化学成分与中国华南地区红树林药用植物黄槿(*Hibiscus tiliaceus*

Linn.) 的化学成分相近<sup>[19]</sup>, 为深入发掘海滨木槿的药用价值提供了参考。

#### 参考文献:

- [1] 简光艳, 李秀芬, 朱建军, 等. 海滨木槿的研究利用现状与利用前景[J]. 上海农业科技, 2019(4): 70-72, 95.
- [2] 高筱钰, 丁释丰, 冯志坚. 国内木槿属植物研究现状综述[J]. 现代园艺, 2021(17): 16-18.
- [3] 姜 杉, 宋正达, 李丕睿, 等. 海滨木槿茎的化学成分[J]. 植物资源与环境学报, 2019, 28(2): 112-114.
- [4] 丁林芬, 郭亚东, 吴兴德, 等. 荷花玉兰化学成分的研究[J]. 中成药, 2017, 39(12): 2534-2538.
- [5] 叶 冠, 范明松, 黄成钢, 等. 抱茎苦苣菜化学成分研究[J]. 中国药理学杂志, 2005, 40(21): 1613-1615.
- [6] 闵 欢, 赵志敏, 郭未艳, 等. 尖齿臭茉莉的化学成分及其自由基清除活性研究[J]. 中草药, 2012, 43(6): 1050-1056.
- [7] 吴玉蓉, 肖超妮, 莫尚武, 等. 四川瓜蒌皮具钙拮抗作用化学成分的光谱研究[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2000, 37(1): 131-132.
- [8] ALI A, JAMEEL M, ALI M. New fatty acid and acyl glycoside from the aerial parts of *Phyllanthus fraternus* Webster [J]. Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences, 2016, 8(1): 43-46.
- [9] 徐 博, 金英今, 王一涵, 等. 葎草茎叶化学成分研究[J]. 中草药, 2014, 45(9): 1228-1231.
- [10] 左国营, 何红平, 洪 鑫, 等. 民间草药椭圆叶绣线菊的非生物碱成分[J]. 云南植物研究, 2005, 27(1): 101-106.
- [11] 王军民, 刘思远, 杨 莹, 等. 茯神化学成分的研究[J]. 中成药, 2021, 43(10): 2728-2732.
- [12] 王绍军, 吴 闯, 赵 赶. 帘子藤茎化学成分研究[J]. 中药材, 2016, 39(2): 326-328.
- [13] 陈 亮, 王 磊, 张庆文, 等. 黄连非生物碱类化学成分研究[J]. 中国中药杂志, 2012, 37(9): 1241-1244.
- [14] 王梦月, 卫莹芳, 李晓波. 荨麻抗风湿活性部位的化学成分研究[J]. 中草药, 2006, 37(9): 1300-1303.
- [15] 余 源. 酿酒酵母合成  $\alpha$ -香树脂醇及其合酶改造[D]. 天津: 天津大学, 2020: 1.
- [16] ADEBAYO S A, SHAI L J, ELOFF J N. First isolation of glutinol and a bioactive fraction with good anti-inflammatory activity from n-hexane fraction of *peltophorum africanum* leaf [J]. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine, 2017, 10(1): 42-46.
- [17] 张 盼, 封云倩, 刘红云, 等. 月月青化学成分研究[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(7): 173-175.
- [18] 黄 姗, 万 飞, 孙景环, 等. 白桦脂醇对宫颈癌裸小鼠移植瘤的抑制作用[J]. 中国临床药理学杂志, 2020, 36(23): 3930-3933.
- [19] 张小坡, 张俊清, 裴月湖, 等. 黄槿化学成分的研究[J]. 中草药, 2012, 43(3): 440-443.

(责任编辑: 郭严冬)