

## 分心木中 2 个新的脂肪酸酯

谭金燕<sup>1,2</sup>, 李建丽<sup>2#</sup>, 苏琪辉<sup>2</sup>, 李慧<sup>2</sup>, 程艳刚<sup>1,2</sup>, 乔元彪<sup>1,2</sup>, 李青山<sup>1,2\*</sup>, 王颖莉<sup>1,2\*</sup>

1. 山西中医药大学, 基于炎症反应的重大疾病创新药物山西省重点实验室, 山西 晋中 030619

2. 山西中医药大学, 山西省现代中药工程实验室, 山西 晋中 030619

**摘要:** 目的 研究分心木 *Diaphragma Juglandis Fructus* 的化学成分。方法 采用正相硅胶、反相 ODS、中压制备液相色谱和制备型高效液相色谱等多种色谱技术和手段进行分离和纯化, 通过 1D 和 2D-NMR、HR-ESI-MS 等谱学数据分析鉴定化合物结构。结果 从分心木中共分离得到 5 个脂肪酸类成分, 分别鉴定为胡桃酸酯 A (1)、胡桃酸酯 B (2)、pinellic acid (3)、(Z)-11R,12S,13S-trihydroxy-9-octadecenoate (4) 和 9S,12S,13S-三羟基十八烷-10E,15Z-二烯酸 (5)。结论 化合物 1 和 2 为新的脂肪酸酯类化合物, 化合物 3~5 为首次从胡桃中分离得到。

**关键词:** 分心木; 胡桃; 脂肪酸; 十八烷酸; 胡桃酸酯 A; 胡桃酸酯 B; 9S,12S,13S-三羟基十八烷-10E,15Z-二烯酸

中图分类号: R284.1 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2022)05-1360-05

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2022.05.010

## Two new fatty acid esters from *Diaphragma Juglandis Fructus*

TAN Jin-yan<sup>1,2</sup>, LI Jian-li<sup>2</sup>, SU Qi-hui<sup>2</sup>, LI Hui<sup>2</sup>, CHENG Yan-gang<sup>1,2</sup>, QIAO Yuan-biao<sup>1,2</sup>, LI Qing-shan<sup>1,2</sup>, WANG Ying-li<sup>1,2</sup>

1. Shanxi Key Laboratory of Innovative Drug for the Treatment of Serious Diseases Basing on the Chronic Inflammation, Shanxi University of Chinese Medicine, Jinzhong 030619, China

2. Shanxi Modern Chinese Medicine Engineering Laboratory, Shanxi University of Chinese Medicine, Jinzhong 030619, China

**Abstract: Objective** To study the chemical constituents from *Diaphragma juglandis Fructus*. **Methods** The chemical constituents were isolated and purified by silica gel, ODS, preparative MPLC and preparative HPLC. Their structures were elucidated based on 1D-NMR, 2D-NMR, and HR-ESI-MS. **Results** Five fatty acids compounds were isolated and identified from *Diaphragma juglandis Fructus*. The structures of 1 and 2 were established and named juglans acid ester A (1) and juglans acid ester B (2), respectively. The other compounds were identified as pinellic acid (3), (Z)-11R,12S,13S-trihydroxy-9-octadecenoate (4), and 9S,12S,13S-trihydroxy-octadeca-10E,15Z-dienoic acid (5). **Conclusions** Compounds 1 and 2 are new fatty acid esters. Compounds 3—5 are isolated from *Juglans regia* for the first time.

**Key words:** *Diaphragma Juglandis Fructus*; *Juglans regia* L.; fatty acids; octadecanoic acid; juglans acid ester A; juglans acid ester B; 9S,12S,13S-trihydroxy-octadeca-10E,15Z-dienoic acid

分心木 *Diaphragma Juglandis Fructus* 为胡桃科植物胡桃 *Juglans regia* L. 果核内的木质隔膜, 又名核桃隔膜、核桃瓣膜<sup>[1-2]</sup>。传统中医学认为分心木具有涩精、健脾固肾、利尿清热等功效, 可用于治疗遗精、尿频、尿血以及暑热泻痢等疾病<sup>[3-4]</sup>。现代药

理学研究发现, 分心木对糖尿病也能起到较好的预防和治疗作用<sup>[5-6]</sup>。此外, 长期服用分心木茶, 可缓解老年人的腰膝酸软症状, 并有助于睡眠和提高免疫力<sup>[7]</sup>。目前, 从分心木中分离得到的化合物主要集中在黄酮类、酚酸类和醌类化学成分, 其中黄酮

收稿日期: 2022-01-05

基金项目: 山西省卫生健康委科研项目 (2020094); 基于炎症反应的重大疾病创新药物山西省重点实验室开放基金资助项目 (2021sxcxyw10); 中央引导地方科技发展资金项目 (YDZX20201400001518)

作者简介: 程艳刚 (1992—), 博士, 研究方向为中药及复方药效物质基础。E-mail: 931313534@qq.com

\*通信作者: 王颖莉 (1967—), 博士, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为中药药效物质基础。E-mail: wyltyut@163.com

李青山 (1965—), 博士, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为中药与天然药物药效物质基础与作用机制。E-mail: sxlqs2012@163.com

#并列第一作者: 李建丽 (1997—), 硕士研究生, 研究方向为中药及复方药效物质基础。E-mail: lijianli1124jl@163.com

类成分在分心木中具有较高含量<sup>[8]</sup>。分心木资源丰富，但其作为核桃的副产物主要被制作成燃料或大部分被丢弃，利用率低、资源浪费现象严重<sup>[9-10]</sup>。为了更好地利用分心木药用资源，寻找新的活性成分，本实验对分心木 70%乙醇提取物的醋酸乙酯萃取部位进行研究，最终共分离得到 5 个脂肪酸类化合物，分别鉴定为胡桃酸酯 A (juglans acid ester A, **1**)、胡桃酸酯 B (juglans acid ester B, **2**)、pinellic acid (**3**)、(Z)-11R,12S,13S-trihydroxy-9-octadecenoate (**4**) 和 9S,12S,13S-三羟基十八烷-10E,15Z-二烯酸 (9S,12S,13S-trihydroxyoctadeca-10E,15Z-dienoic acid, **5**)，其中化合物 **1** 和 **2** 为新的脂肪酸酯类化合物。

### 1 仪器与材料

Bruker Ascend-600 MHz 型核磁共振波谱仪 (德国 Bruker 公司); Triple TOF<sup>TM</sup>5600 MS/MS 液质联用色谱仪 (美国 ABSciex 公司); Büchi pump Manager C-610 型中压色谱仪 (瑞士 Büchi 公司); Waters 2695-2998-2414 分析型高效液相色谱仪 (美国 Waters 公司); 岛津 Essentia LC-16P 制备型高效液相色谱仪 (日本 SHIMADZU 公司); Sharpsil-U C<sub>18</sub> 分析型色谱柱 (250 mm×4.6 mm, 5 μm); Sharpsil-U C<sub>18</sub> 制备型色谱柱 (250 mm×21.2 mm, 5 μm); 柱色谱硅胶 (200~300、80~120 目, 青岛海洋化工厂); 柱色谱 ODS (日本 YMC 公司); 色谱级甲醇 (瑞典 OCEANPAK 公司); 其他试剂均为分析纯 (天津市致远化学试剂有限公司)。

分心木于 2021 年 3 月购自河北安国中药材市场，经山西中医药大学裴香萍教授鉴定为胡桃科植物胡桃 *Juglans regia* L. 果实的干燥木质隔膜。样品标本 (20210301) 放置于山西中医药大学现代中药工程实验室。

### 2 提取与分离

取分心木 5 kg，用 8 倍量 70%乙醇加热回流提取 3 次 (每次 2 h)，合并提取液，减压浓缩得总浸膏 1.1 kg。浸膏加入适量蒸馏水使其混悬分散，依次用石油醚 (60~90 °C)、醋酸乙酯和水饱和正丁醇等体积反复萃取 3 次，回收溶剂得到石油醚、醋酸乙酯和正丁醇 3 个萃取部位。取醋酸乙酯萃取部位 (约 260 g) 经硅胶柱色谱，二氯甲烷-甲醇 (50 : 0、50 : 1、20 : 1、10 : 1、5 : 1、3 : 1、2 : 1、1 : 1、0 : 1) 系统分离得到 8 个组分 A~H。组分 B 经 ODS 中压制备液相分离 (甲醇-水 10%~100%)，得到 15 个流分 B-1~B-15。B-12 经制备型高效液相色谱

分离 (64%甲醇) 得到化合物 **1** (1.2 mg,  $t_R=22.9$  min) 和 **2** (2.5 mg,  $t_R=23.7$  min); 组分 C 经 ODS 中压制备液相分离 (10%~100%甲醇)，共得到 13 个流分 C-1~C-13。C-9 经制备型高效液相色谱分离 (61%甲醇) 得到化合物 **3** (7.7 mg,  $t_R=23.5$  min)，C-10 经制备型高效液相色谱分离 (70%甲醇) 得到化合物 **5** (6.6 mg,  $t_R=25.2$  min)，C-11 经制备型高效液相色谱分离 (75%甲醇) 得到化合物 **4** (7.3 mg,  $t_R=27.1$  min)。

### 3 结构鉴定

化合物 **1**: 无色油状物;  $[\alpha]_D^{20} +32.0^\circ$  ( $c$  0.05, MeOH); HR-ESI-MS 给出准分子离子峰  $m/z$  259.153 8  $[M+H]^+$  (计算值为 259.154 5); 结合 <sup>1</sup>H-NMR 和 <sup>13</sup>C-NMR 谱推测分子式为 C<sub>13</sub>H<sub>22</sub>O<sub>5</sub>，不饱和度为 3。通过 <sup>1</sup>H-NMR 谱数据 (表 1) 可以判断化合物 **1** 含有 2 个连氧次甲基质子信号 [ $\delta_H$  4.30 (1H, ddd,  $J=8.2, 5.5, 2.8$  Hz) 和 4.20 (1H, m)] 和 1 个甲氧基质子信号 [ $\delta_H$  3.65 (3H, s)]。<sup>13</sup>C-NMR 结合 DEPT 图谱显示 13 个碳信号，包括 2 个酯羰基碳信号 ( $\delta_C$  176.0 和 178.1)、2 个连氧碳信号 ( $\delta_C$  89.8 和 72.2) 和 1 个甲氧基碳信号 ( $\delta_C$  51.9)，此外还可以观察到 8 个亚甲基碳信号 ( $\delta_C$  38.1, 34.7, 33.8, 30.1×2, 30.0, 26.4, 25.9)。经文献查阅，发现化合物 **1** 与文献中已知化合物 sorcomic acid<sup>[11]</sup> 的核磁数据非常相似，其表 1 化合物 **1** 的 <sup>1</sup>H-NMR (600 MHz, CD<sub>3</sub>OD) 和 <sup>13</sup>C-NMR (150 MHz, CD<sub>3</sub>OD) 数据

Table 1 <sup>1</sup>H-NMR (600 MHz, CD<sub>3</sub>OD) and <sup>13</sup>C-NMR (150 MHz, CD<sub>3</sub>OD) data of compound **1**

碳位	$\delta_H$	$\delta_C$
1		176.0
2	2.32 (2H, t, $J=7.4$ Hz)	34.7
3	1.61 (2H, overlapped)	25.9
4	1.35 (2H, overlapped)	30.1
5	1.35 (2H, overlapped)	30.0
6	1.35 (2H, overlapped)	30.1
7	1.45 (2H, m)	26.4
8	1.62 (2H, overlapped)	33.8
9	4.30 (1H, ddd, $J=8.2, 5.4, 2.7$ Hz)	89.8
10	4.20 (1H, m)	72.2
11	2.89 (1H, dd, $J=17.9, 6.5$ Hz)	38.1
	2.39 (1H, dd, $J=17.9, 3.4$ Hz)	
12		178.1
1-OCH <sub>3</sub>	3.65 (3H, s)	51.9

<sup>1</sup>D-NMR 主要差异在于化合物 **1** 中多出 1 组甲氧基碳信号, 并且 C-1 的位移值略微向高场区移动。这提示化合物 **1** 可能是 sorcomic acid 羧基上的羟基被甲氧基取代形成酯而得到的。这一推论被化合物 **1** 的分子式 (C<sub>13</sub>H<sub>22</sub>O<sub>5</sub>) 及其二维相关谱 (图 1) 所证实。

在化合物 **1** 的 HMBC 谱中, H-OCH<sub>3</sub> (δ<sub>H</sub> 3.65) 与 C-1 (δ<sub>C</sub> 176.0) 间存在明显相关, 证实甲氧基与 C-1 相连。化合物 **1** 的相对构型可通过 NOESY 实验确定。在 NOESY 相关谱中可明显观察到 H-11α

和 H-9、H-11β 和 H-10、H-10 和 H-8 间存在相关信号, 表明 H-9 和 H-10 间是反式构型。化合物 **1** 的绝对构型则通过与已知化合物 sorcomic acid 比对旋光度值来确定。已知化合物 sorcomic acid 的旋光度值为 [α]<sub>D</sub><sup>25</sup> +28.0° (c 0.35, MeOH), 化合物 **1** 的旋光度值为 [α]<sub>D</sub><sup>20</sup> +32.0° (c 0.05, MeOH), 因此确定化合物 **1** 的绝对构型与 sorcomic acid 一致, 即为 9*R*,10*S*。综上所述, 确定了化合物 **1** 的结构如图 1 所示, 经检索其为新化合物, 命名为胡桃酸酯 A。

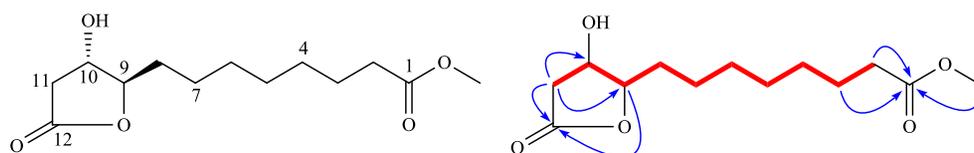


图 1 化合物 **1** 的结构及关键 <sup>1</sup>H-<sup>1</sup>H COSY (粗线) 和 HMBC (箭头) 相关

Fig. 1 Structure of compound **1** and its key <sup>1</sup>H-<sup>1</sup>H COSY correlations (red bold lines), HMBC correlations (blue arrows)

化合物 **2**: 无色油状物; [α]<sub>D</sub><sup>20</sup> +9.0° (c 0.1, MeOH); HR-ESI-MS *m/z*: 577.394 8 [2M+H]<sup>+</sup> (计算值为 577.395 2), 同时结合 <sup>1</sup>H-NMR、<sup>13</sup>C-NMR 和 DEPT 谱推测其分子式为 C<sub>15</sub>H<sub>28</sub>O<sub>5</sub>, 不饱和度为 2。 <sup>1</sup>H-NMR 谱数据 (表 2) 中显示化合物 **2** 含有 1 组烯烃质子信号 [δ<sub>H</sub> 5.70 (1H, overlapped), 5.71 (1H, overlapped)], 3 个连氧次甲基质子信号 [δ<sub>H</sub> 4.07 (1H, q, *J* = 6.3 Hz)、3.91 (1H, t, *J* = 5.5 Hz) 和 3.41 (1H, m)], 1 个甲氧基质子信号 [δ<sub>H</sub> 3.65 (3H, s)], 1 个甲基质子信号 [δ<sub>H</sub> 0.91 (3H, s)] 以及信号严重重叠的亚甲基质子信号。 <sup>13</sup>C-NMR 结合 DEPT 图谱显示 15 个碳信号, 包括 1 个酯羰基碳信号 (δ<sub>C</sub> 175.8)、1 组烯碳信号 (δ<sub>C</sub> 136.2 和 131.4)、3 个连氧碳信号 (δ<sub>C</sub> 76.5、75.7 和 72.6)、1 个甲氧基碳信号 (δ<sub>C</sub> 52.0) 和 1 个甲基碳信号 (δ<sub>C</sub> 14.4), 此外还可以观察到 7 个亚甲基碳信号 (δ<sub>C</sub> 37.6, 34.6, 33.6, 33.1, 26.6, 23.7, 22.7)。

在化合物 **2** 的 HMBC 谱中, 可以清晰地看到 H-OCH<sub>3</sub> (δ<sub>H</sub> 3.65) 与 C-1 (δ<sub>C</sub> 175.8) 信号呈远程相关, 由此可以确定甲氧基连接在 C-1 位上。此外, 可以通过 NOESY 谱确定出 C6-C7 间双键为反式构型<sup>[12]</sup>。经过上述分析并结合不饱和度值推测化合物 **2** 为链式脂肪酸酯类化合物, 平面结构为 (*E*)-5,8,9-三羟基-6-十四烯酸甲酯, 这一推论可以通过 HSQC、<sup>1</sup>H-<sup>1</sup>H COSY 和 HMBC 相关谱进行验证, 如图 2 所示。通过查阅文献发现, 化合物 **2** 中 C-5 和 C-8 的绝对构型可以根据 H-6 和 H-7 在 <sup>1</sup>H-NMR 中的偶合

表 2 化合物 **2** 的 <sup>1</sup>H-NMR (600 MHz, CD<sub>3</sub>OD) 和 <sup>13</sup>C-NMR (150 MHz, CD<sub>3</sub>OD) 数据

Table 2 <sup>1</sup>H-NMR (600 MHz, CD<sub>3</sub>OD) and <sup>13</sup>C-NMR (150 MHz, CD<sub>3</sub>OD) data of compound **2**

碳位	δ <sub>H</sub>	δ <sub>C</sub>
1		175.8
2	2.35 (2H, t, <i>J</i> = 7.4 Hz)	34.6
3	1.69 (2H, m)	22.1
4	1.53 (2H, m)	37.6
5	4.07 (1H, q, <i>J</i> = 6.3 Hz)	72.6
6	5.70 (1H, overlapped)	136.2
7	5.71 (1H, overlapped)	131.4
8	3.91 (1H, t, <i>J</i> = 5.5 Hz)	76.5
9	3.41 (1H, m)	75.7
10	1.53 (1H, overlapped)	33.6
11	1.52 (1H, overlapped)	26.6
	1.35 (1H, overlapped)	
12	1.30 (2H, m)	33.1
13	1.33 (2H, m)	23.7
14	0.91 (3H, t, <i>J</i> = 7.0 Hz)	14.4
1-OCH <sub>3</sub>	3.65 (3H, s)	52.0

模式进行推测。当 C-5 和 C-8 的绝对构型一致时, 即为 5*S*, 8*S* 或 5*R*, 8*R*, 则 H-6 和 H-7 的化学位移值非常相近; 当 C-5 和 C-8 的绝对构型相反时, 即为 5*S*, 8*R* 或 5*R*, 8*S* 则 H-6 和 H-7 的化学位移值相隔较远<sup>[11]</sup>。在化合物 **2** 中, H-6 和 H-7 的化学位移几乎

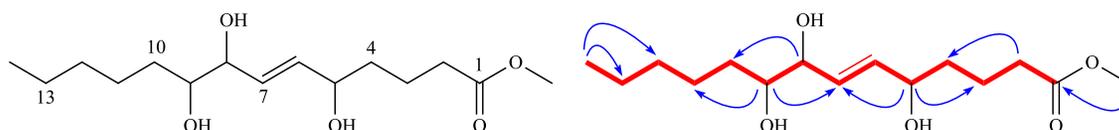


图 2 化合物 2 的结构及关键 <sup>1</sup>H-<sup>1</sup>H COSY (粗线) 和 HMBC (箭头) 相关

Fig. 2 Structure of compound 2 and its key <sup>1</sup>H-<sup>1</sup>H COSY correlations (red bold lines), HMBC correlations (blue arrows)

重叠, 因此推测 C-5 和 C-8 的绝对构型为 5*S*, 8*S* 或 5*R*, 8*R*。化合物 2 绝对构型的确定由于缺少直接证据加之其量较少, 因此还有待于进一步测定。综上所述, 确定了化合物 2 的结构如图 2 所示, 经检索其为新化合物, 命名为胡桃酸酯 B。

化合物 3: 无色油状物, ESI-MS *m/z*: 329.3 [M-H]<sup>-</sup>。<sup>1</sup>H-NMR (600 MHz, CD<sub>3</sub>OD) δ: 5.74~5.66 (2H, m, H-10, 11), 4.06 (1H, q, *J* = 6.2 Hz, H-9), 3.91 (1H, t, *J* = 5.7 Hz, H-12), 3.42 (1H, m, H-13), 2.28 (2H, t, *J* = 7.4 Hz, H-2), 1.64~1.58 (2H, m, H-3), 1.53 (2H, m, H-8), 1.34 (16H, m, H-4~7, 14~17), 0.91 (3H, t, *J* = 6.9 Hz, H-18); <sup>13</sup>C-NMR (150 MHz, CD<sub>3</sub>OD) δ: 178.2 (C-1), 136.5 (C-11), 131.1 (C-10), 76.5 (C-12), 75.8 (C-13), 73.0 (C-9), 38.2 (C-8), 35.3 (C-2), 33.6 (C-14), 33.1 (C-16), 30.4, 30.3, 30.2 (C-4 or C-5 or C-6), 26.6 (C-15), 26.4 (C-7), 26.2 (C-3), 23.7 (C-17), 14.4 (C-18)。以上数据与文献报道基本一致<sup>[13]</sup>, 故鉴定化合物 3 为 pinellin acid。

化合物 4: 白色无定形粉末, ESI-MS *m/z*: 353.2 [M+Na]<sup>+</sup>, [α]<sub>D</sub><sup>25</sup> -8.3 (*c* 1.0, MeOH)。<sup>1</sup>H-NMR (600 MHz, CD<sub>3</sub>OD) δ: 5.57~5.50 (2H, m, H-9, 10), 4.59 (1H, dd, *J* = 8.2, 3.9 Hz, H-11), 3.58 (1H, m, H-13), 3.25 (1H, dd, *J* = 6.4, 3.9 Hz, H-12), 2.27 (2H, t, *J* = 7.4 Hz, H-2), 2.18~2.07 (2H, m, H-8), 1.59~1.50 (4H, m, H-4, 14a, 15a), 1.47~1.27 (14H, m, H-3, 5~7, 14b, 15b, 16, 17), 0.92 (3H, t, *J* = 7.0 Hz, H-18); <sup>13</sup>C-NMR (150 MHz, CD<sub>3</sub>OD) δ: 178.0 (C-1), 133.3 (C-10), 130.9 (C-9), 78.9 (C-12), 72.7 (C-13), 67.9 (C-11), 35.2 (C-2), 33.8 (C-14), 33.2 (C-16), 30.7 (C-7), 30.3 (C-5, 6), 30.2 (C-3), 28.8 (C-8), 26.6 (C-15), 26.2 (C-4), 23.8 (C-17), 14.4 (C-18)。以上数据与文献报道基本一致<sup>[14]</sup>, 故鉴定化合物 4 为 (*Z*)-11*R*,12*S*,13*S*-trihydroxy-9-octadecenoate。

化合物 5: 无色油状物, ESI-MS *m/z*: 329.2 [M+H]<sup>+</sup>, [α]<sub>D</sub><sup>25</sup> -15.0 (*c* 1.0, MeOH)。<sup>1</sup>H-NMR (600 MHz, CD<sub>3</sub>OD) δ: 5.76~5.70 (2H, m, H-10, 11), 5.49~5.43 (2H, m, H-15, 16), 4.06 (1H, m, H-9), 3.96 (1H, t, *J* =

5.3 Hz, H-12), 3.46 (1H, m, H-13), 2.32~2.28 (2H, m, H-3), 2.28 (2H, t, *J* = 7.2 Hz, H-2), 2.12~2.07 (1H, m, H-14), 2.07 (1H, m, H-17), 1.60 (2H, m, H-7), 1.47~1.35 (1H, m, H-8), 1.34 (6H, m, H-4~6), 0.97 (3H, t, *J* = 7.6 Hz, H-18); <sup>13</sup>C-NMR (150 MHz, CD<sub>3</sub>OD) δ: 177.8 (C-1), 136.5 (C-10), 134.3 (C-16), 131.1 (C-11), 126.4 (C-15), 75.9 (C-13), 75.8 (C-12), 73.0 (C-9), 38.3 (C-8), 35.2 (C-2), 31.5 (C-14), 30.6 (C-4), 30.5 (C-5), 30.2 (C-6), 26.5 (C-7), 26.2 (C-3), 21.7 (C-17), 14.6 (C-18)。以上数据与文献报道基本一致<sup>[15]</sup>, 故鉴定化合物 5 为 9*S*,12*S*,13*S*-trihydroxy-octadeca-10*E*,15*Z*-dienoic acid。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

- [1] 洪茜茜, 叶永丽, 张银志, 等. 核桃分心木化学成分及功能活性研究进展 [J]. 食品研究与开发, 2021, 42(7): 194-202.
- [2] 洪茜茜, 耿树香, 张银志, 等. 核桃分心木镇静催眠活性成分研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2021, 33(6): 964-970.
- [3] 曾诗榆, 苏薇薇, 王永刚. 核桃分心木的研究进展 [J]. 药学研究, 2021, 40(8): 524-527.
- [4] Meng Q R, Li Y H, Xiao T C, et al. Antioxidant and antibacterial activities of polysaccharides isolated and purified from *Diaphragma juglandis fructus* [J]. *Int J Biol Macromol*, 2017, 105(Pt 1): 431-437.
- [5] 李国艳, 程艳刚, 曾桐春, 等. 基于网络药理学的分心木总黄酮抗 2 型糖尿病作用机制研究及关于 AKT/FoxO1 信号通路的细胞实验验证 [J]. 药物评价研究, 2019, 42(1): 30-40.
- [6] 胡佳卉, 钱会南, 杨凤, 等. 从肝论治方药治疗 2 型糖尿病有效性和安全性的系统评价 [J]. 世界中医药, 2020, 15(18): 2709-2716.
- [7] 沙玉欢, 毛晓英, 吴庆智, 等. 核桃分心木黄酮物质的组分及其抗氧化性分析 [J]. 食品科学, 2021, 42(12): 91-98.
- [8] 何旭华, 阚欢, 黄陆繁, 等. 云南核桃分心木黄酮提取及抗氧化性研究 [J]. 现代食品, 2020(19): 204-209.
- [9] Liu R X, Zhao Z Y, Dai S J, et al. Identification and quantification of bioactive compounds in *Diaphragma*

- juglandis fructus by UHPLC-Q-orbitrap HRMS and UHPLC-MS/MS [J]. *J Agric Food Chem*, 2019, 67(13): 3811-3825.
- [10] Hu Q, Liu J, Li J, *et al.* Phenolic composition and nutritional attributes of *Diaphragma juglandis* fructus and shell of walnut (*Juglans regia* L.) [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2020, 29(2): 187-196.
- [11] Kim C S, Suh W S, Subedi L, *et al.* Neuroprotective fatty acids from the stem bark of *Sorbus commixta* [J]. *Lipids*, 2016, 51(8): 989-995.
- [12] Shirahata T, Sunazuka T, Yoshida K, *et al.* Total synthesis, elucidation of absolute stereochemistry, and adjuvant activity of trihydroxy fatty acids [J]. *Tetrahedron*, 2006, 62(40): 9483-9496.
- [13] 张艳军, 聂辉, 周德雄, 等. 桂野桐化学成分的研究 [J]. *中草药*, 2017, 48(11): 2172-2176.
- [14] Fang Y S, Liu S X, Ma Y C, *et al.* A new phenylpropanoid glucoside and a chain compound from the roots of *Allium tuberosum* [J]. *Nat Prod Res*, 2017, 31(1): 70-76.
- [15] Qiu Y K, Zhao Y Y, Dou D Q, *et al.* Two new  $\alpha$ -pyrones and other components from the cladodes of *Opuntia dillenii* [J]. *Arch Pharm Res*, 2007, 30(6): 665-669.

[责任编辑 王文倩]