

# 薄壳山核桃仁油甘油三酯成分分离鉴定

许培源, 袁 博, 左 飞, 李永荣, 蒋继宏\*

(江苏师范大学 江苏省药用植物生物生物技术重点实验室, 江苏 徐州 221116)

**摘 要:** 对薄壳山核桃仁油进行提取, 利用制备型液相色谱-蒸发光散射-质谱联用技术分离和鉴定。分离得到7个单体化合物, 通过核磁与质谱数据比对, 7个单体化合物均为甘油三酯, 分别为三亚油酸甘油酯、二亚油酸油酸甘油酯、棕榈酸二亚油酸甘油酯、亚油酸二油酸甘油酯、棕榈酸亚油酸油酸甘油酯、三油酸甘油酯、棕榈酸二油酸甘油酯。

**关键词:** 薄壳山核桃油; 分离鉴定; 甘油三酯

## Identification of Triacylglycerols from Pecan (*Carya illinoensis*) Oil

XU Pei-yuan, YUAN Bo, ZUO Fei, LI Yong-rong, JIANG Ji-hong\*

(Key Laboratory of Biotechnology for Medicinal Plants of Jiangsu Province, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China)

**Abstract:** Seven monomeric compounds from pecan (*Carya illinoensis*) oil were separated and identified by preparative high performance liquid chromatography with evaporative light scattering detection combined with mass spectrometry (HPLC-ELSD-MS). All these compounds were confirmed as triglycerides by comparison of their NMR and MS data with those of authentic standards or literature data, namely trilinolein, dilinolein, 1,2-dilinoleoyl-3-palmitoyl-rac-glycerol, dioleoylglycerol, 1-palmitin-2-olein-3-linolein, glycerol trioleate, dioleoyl 2-palmitoyl triglyceride, respectively.

**Key words:** *Carya illinoensis* oil; separation and identification; triacylglycerols

中图分类号: O623.612

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2014) 06-0159-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201406034

薄壳山核桃 (*Carya illinoensis*) 为胡桃科山核桃属, 原产美国和墨西哥, 是世界著名的干果之一, 又名长山核桃、碧根果、长寿果、美国山核桃, 是珍贵的干果和木本产油经济树种<sup>[1-2]</sup>。薄壳山核桃坚果壳薄、出仁率高、保健价值高, 是榨取高级食用油和制作冰淇淋等的原料, 具有重要的经济价值。薄壳山核桃于1900年引入我国, 先后在江苏、浙江、福建等地种植。薄壳山核桃果仁中含油脂72%、蛋白质11%、碳水化合物13%, 且含有对人体有益的氨基酸、VB<sub>1</sub>, 具有重要的食用和经济价值意义<sup>[3]</sup>。薄壳山核桃仁含有丰富的营养素, 其中所含脂肪的主要成分是亚油酸甘油酯<sup>[4]</sup>, 食用后可减少肠道对胆固醇的吸收, 可作为高血压、动脉硬化患者的保健品。此外, 这些油脂还可满足大脑基质的需求。薄壳山核桃种仁内所含多种活性酯, 具有有明显的抗癌、防止心血管被氧化、防止心脑血管动脉粥样硬化作用, 对冠心病、心肌梗塞、心绞痛、脑血栓、脑溢血、中风等疾

病的预防和治疗有明显的效果<sup>[5-6]</sup>。同时由于其产油量较大, 可用于食用油替代和食品保健开发。

目前对薄壳山核桃的研究只是局限于对其原产地及其分布、生态要求、生物学特性、品种类型、繁殖培育、病虫害防治、栽培技术、植物生长物质、遗传多样性、品种鉴定、化学成分的研究和综合利用等方面, 对其有效成分研究几乎为空白, 对薄壳山核桃甘油三酯化学成分的研究就更少<sup>[7-8]</sup>。由于其甘油三酯成分比较复杂且含量较低的成分难鉴定, 本研究采用液相色谱-蒸发光散射-质谱联用技术对含量高的成分进行核磁鉴定、对含量较少的成分进行质谱数据比对, 推测其可能成分。研究结果可为薄壳山核桃的成分研究提供一定的参考依据, 为其作为食品保健功能食品的进一步研究提供重要研究基础。

收稿日期: 2013-06-02

基金项目: 江苏师范大学自然科研基金项目 (12XLB04); 江苏省高校青蓝工程优秀科技创新团队资助项目 (药用微生物前期开发); 江苏省研究生教育创新工程项目 (CX11\_0911)

作者简介: 许培源 (1989—), 男, 硕士研究生, 研究方向为天然产物化学。E-mail: xpyxupeiyuan@163.com

\*通信作者: 蒋继宏 (1962—), 男, 教授, 博士, 研究方向为药用植物生物技术。E-mail: jjh669@163.com

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

薄壳山核桃购于徐州市场，去壳，晒干，粉碎，过100目筛，备用。

石油醚（分析纯）、乙腈（色谱纯）、四氢呋喃（色谱纯）天津市康科德科技有限公司。

1.2 仪器与设备

1260高效液相色谱 美国Agilent公司；蒸发光散射检测器 上海通微分析技术有限公司；AB SCIEX 5500质谱仪 美国AB SCIEX公司；W2-100旋转蒸发仪 上海申生科技有限公司；SZF-06C脂肪酸提取仪 浙江托普仪器有限公司；AV 400型傅里叶变换核磁共振波谱仪 德国Bruker公司。

1.3 方法

1.3.1 桃仁油的提取

称取10.0 g粉碎后的薄壳山核桃桃仁粉，置于脂肪酸提取仪中，按料液比1:20（g/mL）加入石油醚，60℃提取1 h，过滤，残渣继续提取，重复5次，合并滤液，旋转蒸发，将蒸馏瓶中的提取物用石油醚溶解后，置于干燥器中放置1周。

1.3.2 甘油三酯的提取分析

1.3.2.1 色谱条件

色谱柱： $C_{18}$ 色谱柱（250 mm×1.0 mm，5  $\mu$ m）；流动相A：乙腈；流动相B：乙腈-四氢呋喃（1:1，V/V）；流速3 mL/min；紫外检测器208 nm；进样量0.5 mL；分流比300:1；蒸发光条件：温度40℃；流速2.5 L/min；洗脱程序见表1。

表1 梯度洗脱程序

Table 1 Gradient elution program

| 时间/min | 流动相A/% | 流动相B/% |
|--------|--------|--------|
| 0      | 50     | 50     |
| 24.00  | 40     | 60     |
| 43.00  | 10     | 90     |
| 43.01  | 0      | 100    |
| 80.00  | 0      | 100    |

1.3.2.2 质谱条件

大气压化学电离源；正离子模式；喷雾电压3 000 V；毛细管温度250℃；蒸发温度400℃；电晕针电流4  $\mu$ A；鞘气（高纯液氮）压力35 kPa；质量扫描范围 $m/z$  300~900；扫描时间1 s。

1.3.2.3 薄壳山核桃油成分鉴定

利用分流器将制备液相色谱分离所得组分进行三重四极杆质谱分析，通过质量分析器获得各个组分的相对分子质量，同时分流器另一出口接入自动接收器中，根据质谱信号以及蒸发光检测器接收各个组分，浓缩，得到油状单体，采用液相色谱-蒸发光检测器对各个单体进行纯度鉴定。

2 结果与分析

2.1 薄壳山核桃成分分离及含量测定

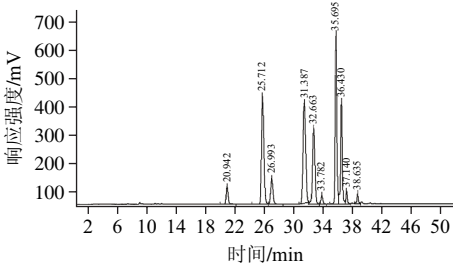


图1 薄壳山核桃油液相色谱-蒸发光检测器图谱

Fig.1 HPLC-ELSD profile of pecan oil

从图1可以看出，薄壳山核桃油各组分间样品分离情况较好，出现7个峰面积较大色谱峰，说明提取物中有7个主要成分。20.9（A）、25.7（B）、26.9（C）、31.4（D）、32.7（E）、35.7 min（G）和36.4 min（H）这7个峰峰面积较大且在紫外吸收谱图上也有明显吸收，这7种物质的相对含量如表2所示。

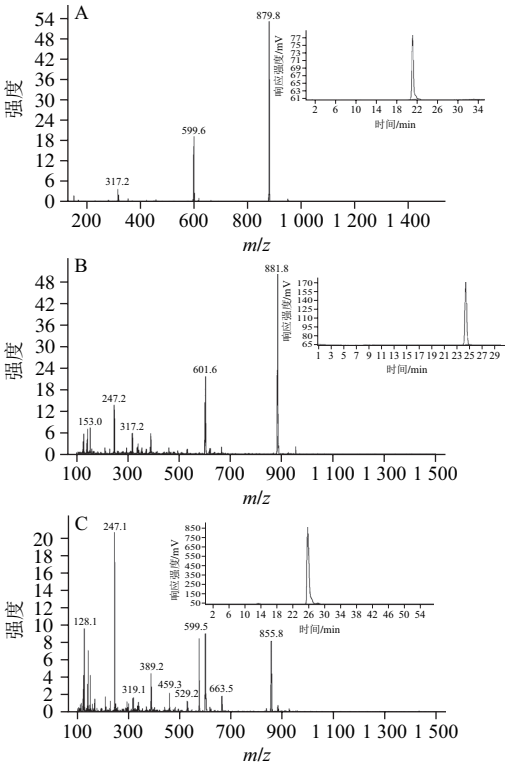
表2 薄壳山核桃油主要成分的相对含量

Table 2 Peak area percentages of 7 major components in pecan oil

| 物质   | A    | B     | C    | D     | E     | G     | H     | 其他   |
|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| 相对含量 | 2.77 | 20.21 | 4.71 | 21.48 | 13.94 | 21.60 | 12.02 | 3.27 |

2.2 薄壳山核桃油成分鉴定

薄壳山核桃油各主要成分质谱分析如图2所示。



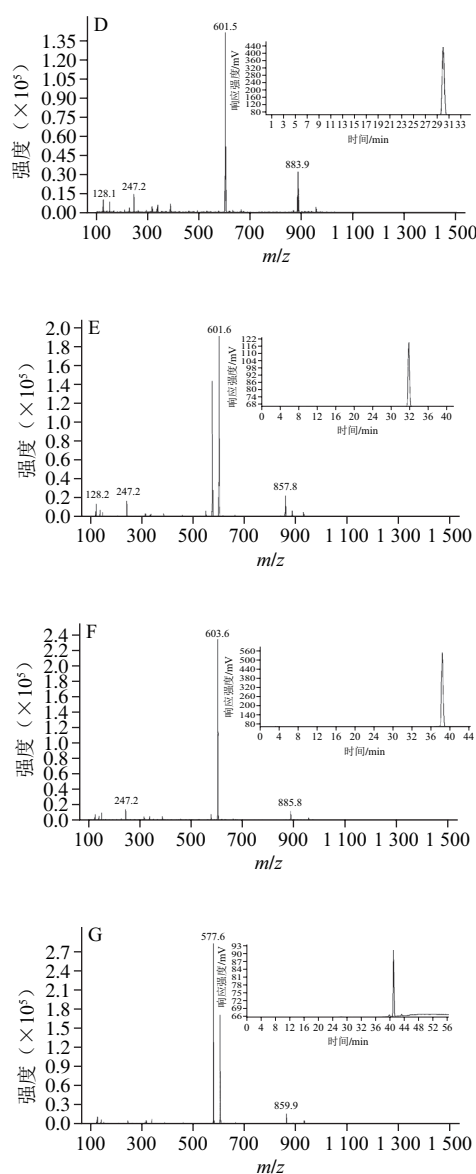


图2 7种主要成分的质谱图

Fig.2 MS spectra of 7 major components in pecan oil

据文献[9]报道,甘油三酯类物质的质谱图中会同时存在信号强度较大的分子离子峰 $[M+1]^+$ 和失去1个脂肪酸碎片的离子峰 $[M+1-\text{脂肪酸}]^+$ 。当甘油三酯含2种或者3种脂肪酸时,可以失去2种或者3种脂肪酸,因此可能存在2种或3种 $[M+1-\text{脂肪酸}]^+$ 的碎片离子峰。从得到的7个主要单体组份质谱图上看,分子离子与其最相近的离子之间失去的均为1分子脂肪酸,如亚油酸、油酸等,因此初步判定7种主要组分为甘油三酯。同时通过液相色谱-蒸发光检测器鉴定该7个单体组分均达到90%的纯度,可以进行核磁共振鉴定。

### 2.3 薄壳山核桃油甘油三酯成分鉴定

化合物A,无色油状。质谱图显示 $879.8[M]^+$ ,其中碎片 $m/z$  599.6代表 $[M+1-\text{亚油酸}]^+$ ,

$^1\text{H-NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ , 500 MHz)  $\delta$  5.34 (12 H, m, 烯烃H), 5.42 (1 H, m,  $\text{Gl-H}_2$ ), 4.20 (2 H, dd,  $J=11.9, 4.3$  Hz,  $\text{Gl-H}_{1a}$ ,  $\text{H}_{3a}$ ), 4.38 (2 H, dd,  $J=11.9, 6.0$  Hz,  $\text{Gl-H}_{2b}$ ,  $\text{H}_{3b}$ ), 2.77 (6 H, t,  $J=6.6$  Hz,  $\text{H}_{\alpha-11,\beta-11,\alpha'-11}$ ), 2.31 (2 H, t,  $J=7.6$  Hz,  $\text{H}_{\alpha-1}$ ), 1.31 (12 H, m,  $\text{H}_{\alpha-7,\beta-7,\alpha'-7}$ ), 0.89 (9 H, m,  $-\text{CH}_3$ )。  $^{13}\text{C-NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ , 500 MHz)  $\delta$  130.17 ( $\text{C}_{\alpha,\alpha'-9}$ ), 129.65 ( $\text{C}_{\alpha,\alpha'-10}$ ), 128.05 ( $\text{C}_{\alpha,\alpha'-12}$ ), 127.87 ( $\text{C}_{\alpha,\alpha'-13}$ ), 129.93 ( $\text{C}_{\beta-9}$ ), 129.6 ( $\text{C}_{\beta-10}$ ), 68.9 ( $\text{Gl-C}_{\beta-2}$ ), 62.08 ( $\text{Gl-C}_{\alpha-2,\alpha'-2}$ ), 173.2 ( $\text{C}_{\alpha-1,\alpha'-1}$ ), 172.78 ( $\text{C}_{\beta-1}$ )。通过与文献[10]比对,该化合物为三亚油酸甘油酯。

化合物B,无色油状。质谱图显示峰 $881.8[M]^+$ ,其中碎片 $m/z$  601.6代表 $[M+1-\text{油酸}]^+$ ,特征峰分子式 $\text{C}_{57}\text{H}_{100}\text{O}_6$ 。  $^1\text{H-NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ , 500 MHz)  $\delta$  5.34 (8 H, m, 烯烃 $\alpha\text{H}$ ,  $\alpha'\text{H}$ ), 5.31 (2 H, m, 烯烃 $\beta\text{H}$ ), 5.42 (1 H, m,  $\text{Gl-H}_2$ ), 4.20 (2 H, dd,  $J=11.9, 4.3$  Hz,  $\text{Gl-H}_{1a}$ ,  $\text{H}_{3a}$ ), 4.38 (2 H, dd,  $J=11.9, 6.0$  Hz,  $\text{Gl-H}_{2b}$ ,  $\text{H}_{3b}$ ), 2.77 (4 H, t,  $J=6.6$  Hz,  $\text{H}_{\alpha-11,\beta-11,\alpha'-11}$ ), 1.99 (2 H, t,  $J=6.7$  Hz,  $\text{H}_{\beta-11}$ ), 2.31 (2 H, t,  $J=7.6$  Hz,  $\text{H}_{\alpha-2}$ ), 1.32 (12 H, m,  $\text{H}_{\alpha-7,\beta-7,\alpha'-7}$ ), 0.88 (9 H, m,  $-\text{CH}_3$ )。  $^{13}\text{C-NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ , 500 MHz)  $\delta$  130.12 ( $\text{C}_{\alpha,\alpha'-9}$ ), 128.02 ( $\text{C}_{\alpha,\alpha'-10}$ ), 127.85 ( $\text{C}_{\alpha-12}$ ), 129.92 ( $\text{C}_{\alpha-13}$ ), 129.89 ( $\text{C}_{\beta-9}$ ), 129.6 ( $\text{C}_{\beta-10}$ ), 68.8 ( $\text{Gl-C}_{\beta-2}$ ), 62.04 ( $\text{Gl-C}_{\alpha-2,\alpha'-2}$ ), 173.12 ( $\text{C}_{\alpha-1,\alpha'-1}$ ), 172.71 ( $\text{C}_{\beta-1}$ )。通过与文献[11-12]比对,该化合物为二亚油酸油酸甘油酯。

化合物C,无色油状。质谱图显示峰 $855.8[M]^+$ ,其中碎片 $m/z$  599.5代表 $[M+1-\text{亚油酸}]^+$ 特征峰,分子式 $\text{C}_{55}\text{H}_{98}\text{O}_6$ 。  $^1\text{H-NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ , 500 MHz)  $\delta$  5.41 (8 H, m, 烯烃 $\alpha\text{H}$ ,  $\alpha'\text{H}$ ), 5.42 (1 H, m,  $\text{Gl-H}_2$ ), 4.21 (2 H, dd,  $J=11.9, 4.3$  Hz,  $\text{Gl-H}_{1a}$ ,  $\text{H}_{3a}$ ), 4.38 (2 H, dd,  $J=11.9, 6.0$  Hz,  $\text{Gl-H}_{2b}$ ,  $\text{H}_{3b}$ ), 2.71 (4 H, t,  $J=6.6$  Hz,  $\text{H}_{\alpha-11,\beta-11,\alpha'-11}$ ), 2.31 (2 H, t,  $J=7.6$  Hz,  $\text{H}_{\alpha-2}$ ), 1.29 (12 H, m,  $\text{H}_{\alpha-7,\beta-7,\alpha'-7}$ ), 0.88 (6 H, m,  $-\text{CH}_3$ ), 0.90 (2 H, m,  $-\text{CH}_3$ )。  $^{13}\text{C-NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ , 500 MHz)  $\delta$  130.06 ( $\text{C}_{\alpha,\alpha'-9}$ ), 128.8 ( $\text{C}_{\alpha,\alpha'-10}$ ), 127.92 ( $\text{C}_{\alpha,\alpha'-12}$ ), 127.79 ( $\text{C}_{\alpha,\alpha'-13}$ ), 68.8 ( $\text{Gl-C}_{\beta-2}$ ), 62.04 ( $\text{Gl-C}_{\alpha-2,\alpha'-2}$ ), 172.71 ( $\text{C}_{\alpha-1,\alpha'-1}$ ), 173.16 ( $\text{C}_{\beta-1}$ )。以上数据与文献[13]报道一致,故初步鉴定为棕榈酸二亚油酸甘油酯。

化合物D,无色油状。质谱图显示峰 $883.9[M]^+$ ,其中碎片 $m/z$  601.5代表 $[M+1-\text{油酸}]^+$ 特征峰,分子式 $\text{C}_{57}\text{H}_{102}\text{O}_6$ 。  $^1\text{H-NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ , 500 MHz)  $\delta$  5.25 (8 H, m, 烯烃 $\alpha\text{H}$ ,  $\alpha'\text{H}$ ), 5.41 (1 H, 烯烃 $\beta-9\text{H}$ ), 5.48

(1 H, 烯炔 $\beta$ -10 H), 5.45 (1 H, 烯炔 $\beta$ -12 H), 5.40 (1 H, 烯炔 $\beta$ -13 H), 5.42 (1 H, m, Gl-H<sub>2</sub>), 4.21 (2 H, dd,  $J=11.9$ , 4.3 Hz, Gl-H<sub>1a</sub>, H<sub>3a</sub>), 4.38 (2 H, dd,  $J=11.9$ , 6.0 Hz, Gl-H<sub>2b</sub>, H<sub>3b</sub>), 1.98 (4 H, t,  $J=6.6$  Hz, H <sub>$\alpha$ -11, $\alpha'$ -11</sub>), 2.71 (2 H, t,  $J=6.4$  Hz, H <sub>$\beta$ -11</sub>), 2.32 (2 H, t,  $J=7.6$  Hz, H <sub>$\alpha$ -2</sub>), 1.28 (12 H, m, H <sub>$\alpha$ -7, $\beta$ -7, $\alpha'$ -7</sub>), 0.88 (9 H, m, —CH<sub>3</sub>)。 <sup>13</sup>C-NMR (CDCl<sub>3</sub>, 500 MHz)  $\delta$  130.06 (C <sub>$\alpha,\alpha'$ -9</sub>), 128.8 (C <sub>$\alpha,\alpha'$ -10</sub>), 127.92 (C <sub>$\alpha,\alpha'$ -12</sub>), 127.79 (C <sub>$\alpha,\alpha'$ -13</sub>), 68.8 (Gl-C <sub>$\beta$ -2</sub>), 62.04 (Gl-C <sub>$\alpha$ -2, $\alpha'$ -2</sub>), 172.72 (C <sub>$\alpha$ -1, $\alpha'$ -1</sub>), 173.14 (C <sub>$\beta$ -1</sub>)。经过比对数据鉴定为亚油酸二油酸甘油酯<sup>[14-18]</sup>。

化合物E, 无色油状。质谱图显示峰857.8[M]<sup>+</sup>, 其中碎片  $m/z$  601.5代表[M+1—油酸]<sup>+</sup>特征峰, 分子式C<sub>55</sub>H<sub>100</sub>O<sub>6</sub>。 <sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>, 500 MHz)  $\delta$  5.25 (6 H, m, 烯炔 $\alpha$ H,  $\alpha'$ H), 5.42 (1 H, m, Gl-H<sub>2</sub>), 4.21 (2 H, dd,  $J=11.9$ , 4.3 Hz, Gl-H<sub>1a</sub>, H<sub>3a</sub>), 4.38 (2 H, dd,  $J=11.9$ , 6.0 Hz, Gl-H<sub>2b</sub>, H<sub>3b</sub>), 1.98 (4 H, t,  $J=6.6$  Hz, H <sub>$\alpha$ -11, $\alpha'$ -11</sub>), 2.71 (2 H, t,  $J=6.4$  Hz, H <sub>$\beta$ -11</sub>), 2.32 (2 H, t,  $J=7.6$  Hz, H <sub>$\alpha$ -2</sub>), 1.28 (12 H, m, H <sub>$\alpha$ -7, $\beta$ -7, $\alpha'$ -7</sub>), 0.88 (9 H, m, —CH<sub>3</sub>)。 <sup>13</sup>C-NMR (CDCl<sub>3</sub>, 500 MHz)  $\delta$  129.95 (C <sub>$\alpha,\alpha'$ -9</sub>), 128.03 (C <sub>$\alpha$ -10</sub>), 127.85 (C <sub>$\beta$ -10</sub>), 130.16 (C <sub>$\beta$ -9</sub>), 128.045 (C <sub>$\beta$ -12</sub>), 129.96 (C <sub>$\beta$ -13</sub>), 68.8 (Gl-C <sub>$\beta$ -2</sub>), 62.04 (Gl-C <sub>$\alpha$ -2, $\alpha'$ -2</sub>), 172.72 (C <sub>$\alpha$ -1, $\alpha'$ -1</sub>), 173.14 (C <sub>$\beta$ -1</sub>)。通过比对文献[19-20]可知, 该化合物为棕榈酸亚油酸油酸甘油酯。

化合物G, 无色油状。质谱图显示峰885.8[M]<sup>+</sup>, 其中碎片  $m/z$  601.5代表[M+1—油酸]<sup>+</sup>特征峰, 分子式C<sub>57</sub>H<sub>104</sub>O<sub>6</sub>。 <sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>, 500 MHz)  $\delta$  5.25 (12 H, m, 烯炔 $\alpha$ H,  $\beta$ H,  $\alpha'$ H), 5.42 (1 H, m, Gl-H<sub>2</sub>), 4.21 (2 H, dd,  $J=11.9$ , 4.3 Hz, Gl-H<sub>1a</sub>, H<sub>3a</sub>), 4.38 (2 H, dd,  $J=11.9$ , 6.0 Hz, Gl-H<sub>2b</sub>, H<sub>3b</sub>), 1.98 (4 H, t,  $J=6.6$  Hz, H <sub>$\alpha$ -11, $\alpha'$ -11</sub>), 2.71 (2 H, t,  $J=6.4$  Hz, H <sub>$\beta$ -11</sub>), 2.32 (2 H, t,  $J=7.6$  Hz, H <sub>$\alpha$ -2</sub>), 1.28 (12 H, m, H <sub>$\alpha$ -7, $\beta$ -7, $\alpha'$ -7</sub>), 0.88 (9 H, m, —CH<sub>3</sub>)。 <sup>13</sup>C-NMR (CDCl<sub>3</sub>, 500 MHz)  $\delta$  129.64 (C <sub>$\alpha,\beta,\alpha'$ -9</sub>), 129.89 (C <sub>$\alpha,\beta,\alpha'$ -10</sub>), 68.8 (Gl-C <sub>$\beta$ -2</sub>), 62.04 (Gl-C <sub>$\alpha$ -2, $\alpha'$ -2</sub>), 172.72 (C <sub>$\alpha$ -1, $\alpha'$ -1</sub>), 173.14 (C <sub>$\beta$ -1</sub>)。通过比对文献[21-22]可知, 该化合物为三油酸甘油酯。

化合物H, 无色油状。质谱图显示峰859.9[M]<sup>+</sup>, 其中碎片  $m/z$  601.5代表[M+1—油酸]<sup>+</sup>特征峰, 分子式C<sub>55</sub>H<sub>102</sub>O<sub>6</sub>。 <sup>1</sup>H-NMR (CDCl<sub>3</sub>, 500 MHz)  $\delta$  5.25 (4 H, m, 烯炔 $\alpha$ H,  $\alpha'$ H), 5.42 (1 H, m, Gl-H<sub>2</sub>), 4.21 (2 H, dd,  $J=11.9$ , 4.3 Hz, Gl-H<sub>1a</sub>, H<sub>3a</sub>), 4.38 (2 H, dd,  $J=11.9$ , 6.0 Hz, Gl-H<sub>2b</sub>, H<sub>3b</sub>), 1.98 (4 H, t,  $J=6.6$  Hz, H <sub>$\alpha$ -11, $\alpha'$ -11</sub>), 1.24 (2 H, t,

$J=6.4$  Hz, H <sub>$\beta$ -11</sub>), 2.32 (2 H, t,  $J=7.6$  Hz, H <sub>$\alpha$ -2</sub>), 1.28 (12 H, m, H <sub>$\alpha$ -7, $\beta$ -7, $\alpha'$ -7</sub>), 0.88 (9 H, m, —CH<sub>3</sub>)。 <sup>13</sup>C-NMR (CDCl<sub>3</sub>, 500 MHz)  $\delta$  129.64 (C <sub>$\alpha,\alpha'$ -9</sub>), 129.89 (C <sub>$\alpha,\alpha'$ -10</sub>), 68.8 (Gl-C <sub>$\beta$ -2</sub>), 62.04 (Gl-C <sub>$\alpha$ -2, $\alpha'$ -2</sub>), 172.72 (C <sub>$\alpha$ -1, $\alpha'$ -1</sub>), 173.23 (C <sub>$\beta$ -1</sub>)。以上数据比对文献[23-24], 故初步鉴定为棕榈酸二油酸甘油酯。

### 3 结论

本研究通过液相色谱-蒸发光检测器-质谱联用技术, 对薄壳山核桃油中的甘油三酯进行了分离、鉴定, 通过核磁共振法确定了甘油三酯的结构, 其主要成分为三亚油酸甘油酯、二亚油酸油酸甘油酯、棕榈酸二亚油酸甘油酯、亚油酸二油酸甘油酯、棕榈酸亚油酸油酸甘油酯、三油酸甘油酯、棕榈酸二油酸甘油酯, 为薄壳山核桃的质量监控提供了研究基础和方法。

### 参考文献:

- [1] 吴耕民. 中国温带落叶果树[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1993: 719-729.
- [2] 习学良, 范志远, 张雨, 等. 美国山核桃在云南的引种表现及丰产栽培技术[J]. 中国南方果树, 2004, 33(5): 72-74.
- [3] 姚小华. 美国山核桃优新品种和无性系开花物候特性研究[J]. 江西农业大学学报, 2004, 26(5): 675-680.
- [4] 朱桃花, 范璐, 钱向明, 等. HPLC分析植物油甘油三酯结构组成的研究现状[J]. 中国油脂, 2011, 36(5): 59-63.
- [5] 邵海燕, 李兴飞, 陈杭君, 等. 山核桃多酚物质提取及抗氧化研究进展[J]. 食品科学, 2011, 32(5): 336-341.
- [6] 俞春莲, 王正加, 夏国华, 等. 10个不同品种的薄壳山核桃脂肪含量及脂肪酸组成分析[J]. 浙江农林大学学报, 2013, 30(5): 714-718.
- [7] 姚小华, 王开良, 任华东, 等. 薄壳山核桃优新品种和无性系开花物候特性研究[J]. 江西农业大学学报, 2004, 26(5): 675-680.
- [8] 吴文龙, 阎连飞. 薄壳山核桃的引种栽培[J]. 江苏林业科技, 2003, 30(1): 11-13.
- [9] 向智敏, 祝明, 陈碧莲, 等. HPLC-MS分析薏苡仁油中的甘油三酯成分[J]. 中国中药杂志, 2005, 30(18): 1436-1437.
- [10] ZOU Jianhua, DAI Jungui. Chemical constituents in marine fungus of *Cladosporium cladosporioides*[J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2009, 44(6): 418-421.
- [11] BEERMANN C, WINTERLING N, GREEN A, et al. Comparison of the structures of triacylglycerols from native and transgenic medium-chain fatty acid-enriched rape seed oil by liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization ion-trap mass spectrometry (LC-APCI-IT-MS)[J]. Lipids, 2007, 42(4): 383-394.
- [12] BI Yanlan, YANG Guolong, LI Hong, et al. Characterization of the chemical composition of lotus plumule oil[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(20): 7672-7677.
- [13] VLAHOV G, SCHIAVONE C, SIMONE N, et al. <sup>13</sup>C NMR regiospecific analysis of olive *Olea europaea* L.' oil triglycerides[J]. International Symposium on Olive Growing, 2000, 586(2): 587-590.
- [14] TSYDENDAMBAEV V D, VLADIMIR D, VERESHCHAGIN, et al.

- Changes in triacylglycerol composition during ripening of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) seeds[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(5): 1278-1283.
- [15] YANG Luying, KUKSIS A, MYHER J J, et al. Contribution of de novo fatty acid synthesis to very low density lipoprotein triacylglycerols: evidence from mass isotopomer distribution analysis of fatty acids synthesized from [2H6]ethanol[J]. Journal of Lipid Research, 1996, 37(2): 262-274.
- [16] ZERININA O V, NECHAEV A P, GEIKO N S. Structure of sunflower oil triglycerides[J]. Maslozhirovaya Promyshlennost, 1982(7): 27-28.
- [17] MYHER J J, KUKSIS A, VASDEV S C, et al. Acylglycerol structure of mustard seed oil and of cardiac lipids of rats during dietary lipidosis[J]. Canadian Journal of Biochemistry, 1979, 57(11): 1315-1327.
- [18] KAUFMAN M, WIESMAN Z. Pomegranate oil analysis with emphasis on MALDI-TOF/MS triacylglycerol finger printing[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(25): 10405-10413.
- [19] ADHIKARI P, ZHU Xuemei, GAUTAM A, et al. Scaled-up production of zero-trans margarine fat using pine nut oil and palm stearin[J]. Food Chemistry, 2009, 119(4): 1332-1338.
- [20] RANALLI A, CONTENTO S, LUCERA L, et al. Characterization of carrot root oil arising from supercritical fluid carbon dioxide extraction[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(15): 4795-4801.
- [21] HADDADA F M, MANAI H, OUESLATI I, et al. Fatty acid, triacylglycerol, and phytosterol composition in six tunisian olive varieties[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(26): 10941-10946.
- [22] LESKINEN H, SUOMELA J P, KALLIO H. Quantification of triacylglycerol regioisomers in oils and fat using different mass spectrometric and liquid chromatographic methods[J]. Rapid Communications in Mass Spectrometry, 2007, 21(14): 2361-2373.
- [23] KINTA Y, HATTA T. Composition and structure of fat bloom in untempered chocolate[J]. Journal of Food Science, 2005, 70(7): 450-452.
- [24] FOUBERT I, VANROLLEGHEM P A, THAS O, et al. Influence of chemical composition on the isothermal cocoa butter crystallization[J]. Journal of Food Science, 2004, 69(9): E478-E487.
- [25] CHAN P, KAO P F, TOMLINSON B. Cardiovascular effects of trilinolein, a natural triglyceride isolated from the herb Sanchi[J]. Acta Cardiologica Sinica, 2005, 21(2): 71-76.