

不同产地瓜蒌籽油组分分析

许晓兰, 毕艳兰, 王金梦, 杨国龙, 汤佳丽

(河南工业大学 粮油食品学院, 郑州 450001)

摘要:对安徽、河南、山东 3 个产地的瓜蒌籽油的基本理化指标、脂肪酸组成、甘油酯组成、甘三酯组成及微量组分进行了对比。结果表明:3 个产地的瓜蒌籽油均呈深绿色,瓜蒌籽油中的组分主要是甘三酯,主要脂肪酸组成为油酸(17.13%~26.17%)、亚油酸(35.83%~37.91%)、瓜蒌酸(22.57%~37.47%),不饱和脂肪酸含量达 93% 以上;河南瓜蒌籽油中瓜蒌酸含量最高,达 37.47%;瓜蒌籽油 sn-2 位脂肪酸主要是亚油酸和油酸,瓜蒌酸主要分布在甘三酯 sn-1,3 位上;3 个产地的瓜蒌籽油甘三酯组成主要为 β -TcLO、 β -TcLL、 β -TcLTc;3 个产地的瓜蒌籽油中生育酚总量在 415.71~486.59 mg/kg,其中 γ -生育酚含量最高(67%~74%),其次是 α -生育酚(25%~33%);3 个产地的瓜蒌籽油中有 5 种植物甾醇,总含量在 0.19%~0.28%。

关键词:瓜蒌籽油;理化指标;脂肪酸组成;瓜蒌酸

中图分类号:TS225.1;TQ646 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2018)12-0122-05

Components of seed oil of *Trichosanthes kirilowii* from different regions

XU Xiaolan, BI Yanlan, WANG Jinmeng, YANG Guolong, TANG Jiali

(College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The basic physicochemical indexes, fatty acid composition, glyceride composition, triglyceride composition and trace components of the seed oils of *Trichosanthes kirilowii* (TKO) from Anhui, Henan and Shandong were comparatively analyzed. The results showed that the TKO from the three regions showed a dark green color. Triglycerides was main components in TKO. TKO was rich in oleic acid (17.13% - 26.17%), linoleic acid (35.83% - 37.91%) and trichosanic acid (22.57% - 37.47%), and the content of unsaturated fatty acids reached above 93%. The content of trichosanic acid in TKO from Henan was the highest (37.47%). The fatty acids at sn-2 position were mainly linoleic acid and oleic acid, and trichosanic acid was mainly distributed at sn-1,3 position. The principal components of triglyceride in TKO from three regions were β -TcLO, β -TcLL and β -TcLTc. The total content of tocopherols in TKO from three regions was 415.71 - 486.59 mg/kg, in which the content of γ -tocopherol (67% - 74%) was the highest, followed by α -tocopherol (25% - 33%). Five kinds of sterols were detected from TKO, and the total content of sterols was 0.19% - 0.28%.

Key words: seed oil of *Trichosanthes kirilowii*; physicochemical index; fatty acid composition; trichosanic acid

瓜蒌(*Trichosanthes kirilowii*) 又称栝楼,葫芦科多年生攀缘型藤本植物,是一种经济作物,也是一种常见中药^[1-2]。瓜蒌在我国主产于安徽、山东、河南、河北等地^[3]。瓜蒌籽油中富含的瓜蒌酸(Tri-

chosanic acid)是一种共轭三烯酸,被称为“超级共轭亚麻酸”^[4]。Yamasaki等^[5]发现瓜蒌酸可以显著降低载脂蛋白分泌,具有降脂作用。Melo等^[6]研究发现瓜蒌酸具有抑制结肠癌的作用。瓜蒌籽资源丰富,含油率高,同时兼具食用和药用价值,是一种亟待人们开发的油料资源。

Huang等^[7]对湖南株洲产瓜蒌籽油含糖量、蛋白质、叶绿素、脂肪酸组成进行了测定。韦传宝等^[8]对安徽瓜蒌籽油酸值、过氧化值、碘值、皂化值

收稿日期:2018-04-09;修回日期:2018-08-23

作者简介:许晓兰(1992),女,硕士研究生,研究方向为脂质化学与品质(E-mail)798372531@qq.com。

通信作者:毕艳兰,教授(E-mail)bylzy@126.com。

进行了分析。唐春风^[9]定性定量分离鉴定了瓜蒌籽中的甾醇。国内外学者^[6,10-12]一致认为油酸、亚油酸、瓜蒌酸是瓜蒌籽油中的主要不饱和脂肪酸,棕榈酸、硬脂酸是瓜蒌籽油中主要的饱和脂肪酸,其中瓜蒌酸是一种特殊共轭三烯酸。Crombie等^[13]证明了瓜蒌酸为9,11,13顺式-反式-顺式十八碳共轭三烯酸。周亮^[14]通过红外光谱法、紫外光谱法、杂环化衍生法联合GC-MS法确定瓜蒌酸的结构。

本研究以安徽、河南、山东3个产地的瓜蒌籽提取的瓜蒌籽油为原料,对比其毛油理化指标、微量组分、脂肪酸组成、甘油酯及其甘三酯组成,以期为瓜蒌籽深入开发利用提供可靠的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

产地为安徽、河南、山东的瓜蒌籽(出仁率分别为 $(53.1 \pm 1.4)\%$ 、 $(52.7 \pm 0.7)\%$ 、 $(53.4 \pm 0.6)\%$,瓜蒌仁含油率分别为 $(46.7 \pm 0.6)\%$ 、 $(47.0 \pm 0.3)\%$ 、 $(46.1 \pm 0.4)\%$)。

正己烷(色谱纯),无水乙醇、95%乙醇、正己烷、氢氧化钠、酚酞、邻苯二甲酸氢钾、氯仿、冰乙酸、淀粉、碘化钾、无水硫酸钠、硫代硫酸钠、硅胶、羧甲基纤维素钠、溴化钾、蒸馏水、乙醚均为分析纯。

1.1.2 仪器与设备

Agilent 6890N型气相色谱仪、Agilent 7890N型气相色谱仪,美国Agilent科技有限公司;TU-1810紫外可见分光光度计;WQF-510红外光谱仪;GC-2000/Trace气相色谱质谱联用仪,美国Finnigan公司;ZF7-C紫外分析仪;TDL-80-2E低速台式离心机;DZKW-S-4电热恒温水浴锅;RE-52系列旋转蒸发器;SHZ-D循环水式多用真空泵;BSA224S电子天平(感量0.0001g);WGL-125B电热鼓风干燥箱;DF-101S集热式恒温加热磁力搅拌器;KQ-500型超声波清洗器。

1.2 试验方法

1.2.1 瓜蒌籽油提取工艺流程

瓜蒌籽→剥壳破碎→超声浸提(正己烷)→离心分离→上清液→旋转蒸发→真空干燥→瓜蒌籽毛油。

其中料液比为1:5,超声功率为400W,超声时间为15min,离心转速为5000r/min,离心时间为5min,重复提取3次。

1.2.2 瓜蒌籽油基本理化指标的测定

水分含量测定参照AOCS Ac 2-41;酸值测定

参照AOCS Cd 3d-63;过氧化值测定参照AOCS Cd 8-53;皂化物含量测定参照AOCS Ca 6a-40。

1.2.3 瓜蒌籽油脂肪酸组成分析

1.2.3.1 全样脂肪酸组成

样品制备:三氟化硼甲酯化参照文献AOCS Ce 2-66。

色谱条件:参照AOCS Ce 1-62。色谱柱为SGE BPX-70(30.0m×250μm×25.0μm);载气为N₂,流速0.4mL/min;柱箱温度200℃,保持25min;进样口温度210℃;FID检测器温度300℃;分流比20:1;进样量1μL。

质谱条件:EIMS,能量70eV,发射电流150μA,检测器电压30V。

1.2.3.2 sn-2位的脂肪酸组成

样品制备:参照GB/T 24894—2010。

色谱条件:同1.2.3.1色谱条件。

1.2.3.3 计算sn-1,3位脂肪酸组成

根据全样脂肪酸、sn-2位脂肪酸组成,结合1,3-随机-2-随机分布学说,利用公式计算sn-1,3位脂肪酸组成^[15]。

1.2.3.4 瓜蒌籽油甘油酯及甘三酯组成分析

瓜蒌籽油甘油酯的组成分析参照文献[16],甘三酯组成及含量采用本试验研发软件进行。

1.2.4 瓜蒌籽油微量组分分析

1.2.4.1 生育酚组成与含量分析

生育酚组成与含量分析参照AOCS Ce 8-89。

1.2.4.2 植物甾醇的含量与组成分析

样品制备:取1g瓜蒌籽油,加入胆甾醇作为内标,皂化1h后,正己烷萃取不皂化物,经旋转蒸发器浓缩后,利用薄层色谱法分离甾醇,乙醚萃取甾醇后硅烷化,再用正己烷溶解待气相色谱分析。

色谱条件参照文献[17]。

1.2.5 数据处理

所有试验进行工艺平行试验,得到数据以“平均值±标准偏差”表示,并且用SPSS进行显著性分析, $p < 0.05$ 表示有显著性差异, $p > 0.05$ 表示数据无显著性差异。

2 结果与分析

2.1 瓜蒌籽油的理化指标(见表1)

由表1可知,瓜蒌籽油满足GB 2716—2005《食用植物油卫生标准》,因此可以作为新型植物食用油进一步开发利用。瓜蒌籽油中的皂化物含量(1.36%~1.77%)与大豆油中皂化物的含量(1.5%,GB/T 1535—2003)基本相当。

表1 瓜蒌籽油理化指标

项目	安徽	河南	山东
色泽	深绿色	深绿色	深绿色
水分/%	0.20 ± 0.02 ^a	0.19 ± 0.01 ^a	0.20 ± 0.01 ^a
酸值(KOH)/ (mg/g)	0.61 ± 0.02 ^a	1.55 ± 0.04 ^c	1.28 ± 0.02 ^b
过氧化值/ (mmol/kg)	2.87 ± 0.14 ^a	2.43 ± 0.17 ^a	2.51 ± 0.22 ^a
不皂化物/%	1.42 ± 0.25 ^a	1.36 ± 0.13 ^a	1.77 ± 0.18 ^a

2.2 瓜蒌籽油的脂肪酸组成

瓜蒌籽油的脂肪酸(全样脂肪酸、sn-2位脂肪酸、sn-1,3位脂肪酸)组成及相对含量见表2~表4。

表2 瓜蒌籽油全样脂肪酸组成及相对含量

脂肪酸	全样脂肪酸相对含量/%		
	安徽	河南	山东
棕榈酸 C _{16:0}	3.69 ± 0.00 ^b	3.77 ± 0.05 ^b	3.55 ± 0.55 ^a
硬脂酸 C _{18:0}	3.16 ± 0.02 ^b	2.93 ± 0.02 ^a	3.10 ± 0.12 ^{ab}
油酸 C _{18:1}	26.17 ± 0.01 ^c	17.13 ± 0.02 ^a	22.15 ± 0.04 ^b
亚油酸 C _{18:2}	35.83 ± 0.08 ^a	37.91 ± 1.35 ^a	36.62 ± 0.21 ^a
亚麻酸 C _{18:3}	0.39 ± 0.00 ^c	0.34 ± 0.00 ^a	0.36 ± 0.01 ^b
山萘酸 C _{22:0}	0.17 ± 0.00 ^a	0.23 ± 0.01 ^a	0.22 ± 0.05 ^a
瓜蒌酸 9c, 11t,13c - C _{18:3}	25.67 ± 1.48 ^a	37.47 ± 0.25 ^b	22.57 ± 1.48 ^a
α-桐酸 9c, 11t,13t - C _{18:3}	2.99 ± 0.81 ^a	1.12 ± 0.11 ^a	5.79 ± 0.64 ^b
梓树酸 9t, 11t,13c - C _{18:3}	1.93 ± 0.75 ^a	0.12 ± 0.17 ^a	5.63 ± 1.34 ^b

注:同行数据后面不同小写字母表示不同油脂的脂肪酸组成之间存在显著性差异($P < 0.05$)。下同。

表3 瓜蒌籽油 sn-2 位脂肪酸组成及相对含量

脂肪酸	sn-2 位脂肪酸相对含量/%		
	安徽	河南	山东
棕榈酸 C _{16:0}	0.92 ± 0.28 ^a	0.69 ± 0.01 ^a	0.60 ± 0.01 ^a
硬脂酸 C _{18:0}	0.46 ± 0.15 ^a	0.40 ± 0.06 ^a	0.39 ± 0.01 ^a
油酸 C _{18:1}	27.36 ± 0.30 ^c	20.45 ± 0.08 ^a	23.99 ± 0.02 ^b
亚油酸 C _{18:2}	70.72 ± 0.69 ^a	77.68 ± 0.24 ^c	75.04 ± 0.04 ^b
亚麻酸 C _{18:3}	-	-	-
山萘酸 C _{22:0}	-	-	-
瓜蒌酸 9c, 11t,13c - C _{18:3}	0.55 ± 0.05 ^a	0.78 ± 0.25 ^a	-
α-桐酸 9c, 11t,13t - C _{18:3}	-	-	-
梓树酸 9t, 11t,13c - C _{18:3}	-	-	-

注:“-”表示未检出。

表4 瓜蒌籽油 sn-1,3 位脂肪酸组成及相对含量

脂肪酸	sn-1,3 位脂肪酸相对含量/%		
	安徽	河南	山东
棕榈酸 C _{16:0}	5.09 ± 0.15 ^a	5.31 ± 0.08 ^a	5.02 ± 0.04 ^a
硬脂酸 C _{18:0}	4.52 ± 0.04 ^a	4.20 ± 0.01 ^a	4.45 ± 0.18 ^a
油酸 C _{18:1}	25.57 ± 0.16 ^c	15.46 ± 0.08 ^a	21.24 ± 0.05 ^b
亚油酸 C _{18:2}	18.38 ± 0.21 ^c	16.51 ± 0.22 ^a	17.40 ± 0.34 ^b
亚麻酸 C _{18:3}	0.59 ± 0.00 ^c	0.51 ± 0.00 ^a	0.54 ± 0.01 ^b
山萘酸 C _{22:0}	0.26 ± 0.00 ^a	0.35 ± 0.02 ^a	0.38 ± 0.11 ^a
瓜蒌酸 9c, 11t,13c - C _{18:3}	37.82 ± 1.63 ^a	55.82 ± 0.25 ^b	33.85 ± 3.13 ^a
α-桐酸 9c, 11t,13t - C _{18:3}	4.49 ± 1.21 ^a	1.68 ± 0.16 ^a	8.69 ± 0.95 ^b
梓树酸 9t, 11t,13c - C _{18:3}	2.90 ± 1.12 ^a	0.18 ± 0.25 ^a	8.45 ± 2.02 ^b

由表2可知,3个产地的瓜蒌籽油全样脂肪酸组成基本一致,主要脂肪酸均为油酸、亚油酸、瓜蒌酸,且不饱和脂肪酸含量均达到93%以上。河南瓜蒌籽油中瓜蒌酸含量最高,达到37.47%,而安徽、山东的瓜蒌籽油中瓜蒌酸含量无显著性差异。

由表3、表4可知,甘油酯 sn-2 位上的脂肪酸主要是不饱和脂肪酸,含量均大于98%,其中 sn-2 位上亚油酸含量最高,其次是油酸。饱和脂肪酸优先分布在甘三酯的 sn-1,3 位上。理论上植物油中不饱和脂肪酸分布在 sn-2 位上,而瓜蒌籽油中瓜蒌酸与其他不饱和脂肪酸不同,在 sn-2 位上几乎不存在,几乎100%分布在甘三酯 sn-1,3 位上,这可能与瓜蒌酸特殊的共轭结构和空间位阻有关。根据瓜蒌酸优先分布位置,可为纯化瓜蒌酸、开发 sn-1,3 位专一性酶提供科学依据。

2.3 瓜蒌籽油甘油酯组成(见表5)

表5 瓜蒌籽油甘油酯组成及相对含量

甘油酯	相对含量/%		
	安徽	河南	山东
甘一酯	0.38 ± 0.04	1.45 ± 0.37	1.76 ± 0.01
甘二酯	3.54 ± 0.48	4.19 ± 0.01	4.00 ± 0.04
甘三酯	93.42 ± 1.29	91.51 ± 0.71	90.92 ± 0.14

由表5可知,瓜蒌籽油中的组分主要是甘三酯,比大多油脂甘三酯含量($\geq 95\%$)略低,甘二酯含量各产地基本相等,安徽产地瓜蒌籽油相比河南、山东产地瓜蒌籽油甘一酯含量少,这可能与瓜蒌籽产地、品种、种植气候以及成熟度有关,也可能是瓜蒌籽毛油发生了轻微水解。

2.4 瓜蒌籽油甘三酯组成(见表6)

由表6可知,只有河南瓜蒌籽油甘三酯中 β -TcLTc含量超过15%,3个产地的瓜蒌籽油甘三酯

中含量均相对较高的有 β -TcLO、 β -TcLL、 β -TcLTc, 甘三酯含量在5%~15%间的有安徽的 β -OLL、 β -TcOO, 山东的 β -OLL, 河南的 β -TcOTc, 其他均小于5%。

表6 瓜蒌籽油甘三酯组成及相对含量

甘三酯	当量碳数	相对含量/%		
		安徽	河南	山东
LLL	42	2.44 ± 0.04 ^b	2.12 ± 0.05 ^a	2.13 ± 0.12 ^a
β -PLL	44	1.33 ± 0.06 ^a	1.36 ± 0.00 ^a	1.27 ± 0.03 ^a
β -OLL	44	6.69 ± 0.09 ^c	3.97 ± 0.06 ^a	5.36 ± 0.15 ^b
β -TcLL	46	10.00 ± 0.65 ^a	14.33 ± 0.21 ^b	8.56 ± 1.05 ^a
β -StLL	46	1.19 ± 0.02 ^a	1.08 ± 0.01 ^a	1.13 ± 0.08 ^a
β -OLO	46	4.54 ± 0.01 ^c	1.86 ± 0.01 ^a	3.38 ± 0.01 ^b
β -PLO	46	1.83 ± 0.06 ^c	1.27 ± 0.01 ^a	1.60 ± 0.01 ^b
β -OOL	46	2.61 ± 0.01 ^c	1.05 ± 0.00 ^a	1.71 ± 0.04 ^b
β -LLCa	46	0.00 ± 0.00 ^a	0.00 ± 0.00 ^a	2.13 ± 0.45 ^b
β -OLCa	48	1.04 ± 0.40 ^a	0.00 ± 0.00 ^a	2.69 ± 0.65 ^b
β -TcOL	48	3.90 ± 0.21 ^b	3.77 ± 0.06 ^b	2.74 ± 0.33 ^a
β -TcLP	48	2.73 ± 0.24 ^a	4.59 ± 0.06 ^b	2.55 ± 0.21 ^a
β -TcLO	48	13.73 ± 0.87 ^b	13.42 ± 0.07 ^b	10.79 ± 0.98 ^a
β -StLO	48	1.63 ± 0.02 ^c	1.01 ± 0.00 ^a	1.42 ± 0.06 ^b
OOO	48	1.79 ± 0.00 ^c	0.49 ± 0.00 ^a	1.09 ± 0.01 ^b
β -LLEa	48	1.17 ± 0.31 ^b	0.00 ± 0.00 ^a	2.19 ± 0.18 ^c
β -TcOO	50	5.35 ± 0.28 ^b	3.53 ± 0.01 ^a	2.74 ± 0.59 ^a
β -TcLSt	50	2.43 ± 0.16 ^a	3.64 ± 0.00 ^b	2.27 ± 0.30 ^a
β -TcLEa	50	2.39 ± 0.51 ^a	1.45 ± 0.14 ^a	4.37 ± 0.04 ^b
β -EaLCa	50	0.00 ± 0.00 ^a	0.00 ± 0.00 ^a	1.12 ± 0.39 ^b
β -OLEa	50	1.61 ± 0.42 ^b	0.00 ± 0.00 ^a	2.77 ± 0.31 ^c
β -TcLCa	50	1.54 ± 0.52 ^a	0.16 ± 0.22 ^a	4.24 ± 0.62 ^b
β -TcLTc	50	10.27 ± 1.18 ^a	24.20 ± 0.14 ^b	8.64 ± 1.59 ^a
β -TcOP	50	1.07 ± 0.08 ^b	1.21 ± 0.01 ^b	0.82 ± 0.06 ^a
β -TcOCa	52	0.00 ± 0.00 ^a	0.00 ± 0.00 ^a	1.36 ± 0.21 ^b
β -TcOTc	52	4.01 ± 0.42 ^b	6.37 ± 0.03 ^c	2.76 ± 0.33 ^a

注:P. 棕榈酸;St. 硬脂酸;O. 油酸;L. 亚油酸;Tc. 瓜蒌酸;Ea. α -桐酸;Ca. 梓树酸。

2.5 瓜蒌籽油的微量组分

2.5.1 生育酚组成与含量(见表7)

表7 瓜蒌籽油生育酚组成与含量

生育酚	含量/(mg/kg)		
	安徽	河南	山东
α -生育酚	135.83 ± 4.04 ^{ab}	122.71 ± 5.99 ^a	148.57 ± 2.67 ^b
γ -生育酚	279.88 ± 3.44 ^a	363.88 ± 6.50 ^c	331.08 ± 4.03 ^b
δ -生育酚	-	-	-
总生育酚	415.71 ± 7.47 ^a	486.59 ± 12.49 ^b	479.65 ± 6.71 ^b

由表7可知,3个产地的瓜蒌籽油生育酚总量在415.71~486.59 mg/kg,其中 γ -生育酚含量最高,占总量的67%~74%,其次是 α -生育酚(25%~33%), δ -生育酚不存在。瓜蒌籽油中的生育酚含量与瓜蒌籽油的提取程度和产地等因素有关^[18]。

2.5.2 植物甾醇的组成与含量(见图1)

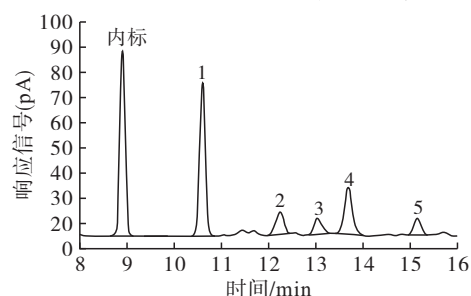


图1 瓜蒌籽油植物甾醇气相色谱图

由图1可知,瓜蒌籽油中有5种植物甾醇,根据面积归一法计算,3个产地瓜蒌籽油中的植物甾醇总含量为0.19%~0.28%,与大豆油中甾醇含量(0.30%)^[19]相似。根据文献[9,14]推测的为瓜蒌仁二醇,7-氧代二氢瓜蒌仁二醇,10 α -葫芦二烯醇,豆甾-7-烯-3 β -醇,豆甾烷-3 β ,6 α -二醇。本文对每种峰对应的具体甾醇不再进行鉴定。

3 结论

3个产地瓜蒌籽毛油呈深绿色,其基本理化指标符合食用油卫生标准,瓜蒌籽油中不皂化物含量与大豆油的基本相当,可作为新型的食用植物油进一步开发利用。3个产地的瓜蒌籽油主要脂肪酸均为油酸、亚油酸、瓜蒌酸,不饱和脂肪酸含量均达到93%以上。河南瓜蒌籽油中瓜蒌酸含量最高(37.47%)。瓜蒌酸主要分布在甘三酯sn-1,3位上。瓜蒌籽油中的组分主要是甘三酯。仅河南瓜蒌籽油甘三酯中 β -TcLTc超过15%,3个产地的瓜蒌籽油甘三酯中含量均相对较高的有 β -TcLO、 β -TcLL、 β -TcLTc,甘三酯含量在5%~15%间的有安徽的 β -OLL、 β -TcOO,山东的 β -OLL,河南的 β -TcOTc,其他均小于5%。3个产地的瓜蒌籽油中生育酚总量在415.71~486.59 mg/kg,其中 γ -生育酚占67%~74%, α -生育酚占25%~33%。3个产地的瓜蒌籽油中有5种植物甾醇,总甾醇含量在0.19%~0.28%。

参考文献:

- [1] 巢志茂,何波,敖平. 瓜蒌的化学成分研究进展[J]. 国外医学(中医中药分册),1998,290(20):7-10.
- [2] 万丽娟,卢金清,许俊杰,等. 瓜蒌籽化学成分和药理作用的研究进展[J]. 中国药房,2015,26(30):4440-4443.
- [3] 陈瑞生,陈相银,张露露. 瓜蒌的药用价值[J]. 首都医药,2013,20(3):43.
- [4] KOBAA K, AKAHOSHIB A, YAMASAKIC M, et al. Dietary conjugated linolenic acid in relation to CLA differently

(下转第133页)

间,经压榨所得核桃油的酸值(KOH)为0.26~0.51 mg/g,过氧化值为0.12~3.27 mmol/kg,均在国标所要求的质量指标范围内,说明新疆气候环境有利于核桃原料的贮存。

(2)11个品种的核桃油中脂肪酸主要由棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和亚麻酸组成,其中棕榈酸含量为5.67%~7.44%,硬脂酸含量为2.21%~3.31%,油酸含量为14.42%~31.46%,亚油酸含量为50.49%~62.78%,亚麻酸含量为9.56%~14.69%。饱和脂肪酸含量为8.26%~10.27%,不饱和脂肪酸含量为89.73%~91.74%,具有较高的营养价值。

参考文献:

[1] 高海生,朱凤妹,李润丰. 我国核桃加工产业的生产现状与发展趋势[J]. 经济林研究, 2008, 26(3):119-126.

[2] 化婷,刘丙花,侯立群. 核桃种仁营养成分研究进展[J]. 山东林业科技, 2014(3):95-98.

[3] 田津瑞. 核桃油提取及影响核桃仁贮藏品质因素的研究[D]. 太原:山西大学, 2015.

[4] 朱振宝,刘梦颖,易建华,等. 不同产地核桃油理化性质、脂肪酸组成及氧化稳定性比较研究[J]. 中国油脂, 2015, 40(3):87-90.

[5] 陈炳卿. 营养与食品卫生学[M]. 北京:人民卫生出版社, 1995:20-35.

[6] 刘力,龚宁,夏国华,等. 山核桃种仁蛋白质及氨基酸成分含量的变异分析[J]. 林业科学研究, 2006, 19(3):376-378.

[7] 郝艳宾,王淑兰,王克建,等. 核桃油和核桃蛋白饮料系列产品工艺的研究[J]. 食品科学, 2003, 24(2):103-104.

[8] 李煦. 核桃仁抗氧化、降血压作用及提取工艺研究[D]. 贵阳:贵州师范大学, 2015.

[9] 杨春梅. 影响核桃仁中多酚类物质抗氧化活性因素的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2007.

[10] 李桂花. 油料油脂检验与分析[M]. 北京:化学工业出版社, 2006:98-100.

[11] 陈树俊,田津瑞,康俊杰,等. 不同核桃贮藏前后油脂理化特性与脂肪酸气相色谱分析[J]. 食品工业科技, 2015, 36(8):324-327.

[12] 冯春艳,荣瑞芬,历重先. 不同核桃品种脂肪酸的气相色谱分析比较[J]. 食品科学, 2009, 30(24):262-264.

[13] LI J, LIU R J, CHANG G F, et al. A strategy for the highly efficient production of docosahexaenoic acid by *Aurantiochytrium limacinum* SR21 using glucose and glycerol as the mixed carbon sources [J]. Bioresour Technol, 2015, 177(2):2443-2450.

(上接第125页)

modifies body fat mass and serum and liver lipid levels in rats[J]. Lipids, 2002, 37(4):343-350.

[5] YAMASAKI M, KITAGAWA T, KOYABAGI N, et al. Dietary effect of pomegranate seed oil on immune function and lipid metabolism in mice[J]. Nutrition, 2006, 22:54-59.

[6] MELO I L P, CARVALHO E B T, MANCINI - FOLHO J. Pomegranate seed oil (*Punica granatum* L.): a source of PA (conjugated α - linolenic acid) [J]. Int J Food Sci Nutr, 2014, 2:1024-1034.

[7] HUANG Y, HE P, BADERC K P. Seeds of *Trichosanthes kirilowii*, an energy - rich diet[J]. Z Naturforsch, 2000, 55:189-194.

[8] 韦传宝,祁伟,刘昌利. 栝楼籽仁油的特性和抗氧化剂的抗氧化作用[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(3):92-99.

[9] 唐春风. 瓜蒌籽的化学成分和定性定量研究[D]. 北京:中国协和医科大学, 2005.

[10] LO H Y, LI T C. Hypoglycemic effects of *Trichosanthes kirilowii* and its protein constituent in diabetic mice: the involvement of insulin receptor pathway [J]. Bmc Complement Altern M, 2017, 17(1):53.

[11] 曾益坤,黄秀娟,王兴国. 栝楼籽油理化性质及其脂

肪酸组成分析[J]. 中国油脂, 2007, 32(10):80-82.

[12] KIMSJ J, CHRISTIE W W. The structure of the triacylglycerols, containing punicic acid, in the seed oil of *Trichosanthes kirilowii* [J]. J Am Oil Chem Soc, 1995, 72:1037-1042.

[13] CROMBIE L, JACKLIN A G. Lipids. Part VI. Total synthesis of α - and β - eleostearic and punicic (*Trichosan* - ic) acid [J]. J Chem Soc, 1957, 58:1632-1646.

[14] 周亮. 瓜蒌仁中生理活性成分分析及其结构鉴定[D]. 江苏 无锡:江南大学, 2007.

[15] 徐学兵. 油脂化学[M]. 北京:中国商业出版社, 1993.

[16] 刘太宇,陈竞男,徐广维,等. 酶促酯化合成甘油三酯工艺条件的研究[J]. 中国油脂, 2015, 40(5):34-38.

[17] BI Y L, YANG G L, LI H, et al. Characterization of the chemical composition of lotus plumule oil [J]. J Agric Food Chem, 2006, 54:7672-7677.

[18] DAVID D, CHRIS V, JAN H. Tocopherols in breeding lines and effects of planting location, fatty acid composition, and temperature during development [J]. J Am Oil Chem Soc, 1999, 76:349-355.

[19] PHILLIPS K M, RUGGIO D M, TOIVO J I, et al. Free and esterified sterol composition of edible oils and fats [J]. J Food Compos Anal, 2002, 15(2):123-142.