

美藤果油的营养组成分析与评价

薛莉^{1,2}, 杨瑞楠^{1,2}, 汪雪芳^{1,3}, 张良晓^{1,3,4*}, 张文^{1,3*}, 李培武^{1,3,4,5*}

- (1. 中国农业科学院油料作物研究所, 武汉 430062; 2. 农业部油料作物生物学与遗传育种重点实验室, 武汉 430062;
3. 农业部生物毒素检测重点实验室, 武汉 430062; 4. 农业部油料及制品质量监督检验测试中心, 武汉 430062;
5. 农业部油料产品质量安全风险评估实验室, 武汉 430062)

摘要: 目的 分析美藤果油中的主要营养成分(脂肪酸、植物甾醇和维生素 E)并与常见食用植物油(大豆油、花生油、菜籽油、芝麻油、橄榄油)的营养成分进行比较。**方法** 基于国家标准与文献报道的方法对植物油中的脂肪酸、植物甾醇和维生素 E 进行检测。**结果** 美藤果油的亚麻酸含量(43.62%)高于常见食用植物油, 不饱和程度高, 脂肪酸组成合理。植物甾醇含量为 265.61 mg/100 g, 高于花生油和橄榄油, 且豆甾醇、维生素 E 含量都明显高于其他常见食用植物油。维生素 E 总含量为 122.73 mg/100 g, 其中 δ -生育酚含量最高(59.69 mg/100 g)。**结论** 美藤果油不饱和脂肪酸含量高, 富含亚麻酸、植物甾醇和维生素 E。与常见食用植物油相比, 美藤果油在一定程度上具有更好的营养保健价值, 是一种优质的植物油。

关键词: 美藤果油; 营养成分; 脂肪酸; 植物甾醇; 维生素 E

Analysis and quality evaluation of nutritional components in sacha inchi oil

XUE Li^{1,2}, YANG Rui-Nan^{1,2}, WANG Xue-Fang^{1,3}, ZHANG Liang-Xiao^{1,3,4*},
ZHANG Wen^{1,3*}, LI Pei-Wu^{1,3,4,5*}

- (1. *Oil Crops Research Institute of the Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430062, China;*
2. *Key Laboratory of Detection for Mycotoxins, Ministry of Agriculture, Wuhan 430062, China;*
3. *Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Oil Crops, Ministry of Agriculture, Wuhan 430062, China;* 4. *Quality Inspection and Test Center for Oilseeds Products, Ministry of Agriculture, Wuhan 430062, China;* 5. *Laboratory of Risk Assessment for Oilseeds Products, Ministry of Agriculture, Wuhan 430062, China)*

ABSTRACT: Objective To analyze the main nutritional components (fatty acids, phytosterol and vitamin E) in the sacha inchi oil, and compare them with common edible vegetable oils (soybean oil, peanut oil, rapeseed oil, sesame oil, and olive oil). **Methods** According to national standards and literature reports, the contents of fatty acids, phytosterols and vitamin E of sacha inchi oil were detected, respectively. **Results** The sacha inchi oil had the higher content of linolenic acid (43.62%) than common edible vegetable oils, which had high degree of unsaturated, and the

基金项目: 国家农产品质量安全风险评估重大项目(GJFP2017001, GJFP2017015-02)、农业部、财政部专项课题(CARS-12)

Fund: Supported by the National Key Project for Agro-Product Quality & Safety Risk Assessment (GJFP2017001, GJFP2017015-02) and the Earmarked Fund for China Agriculture Research System (CARS-12)

***通讯作者:** 张良晓, 博士, 副研究员, 主要研究方向为食品油特异品质检测与营养评价。E-mail: liangxiao_zhang@hotmail.com

李培武, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全标准与检测技术研究。E-mail: peiwuli@oilcrops.cn

***Corresponding author:** ZHANG Liang-Xiao, Ph.D, Associate Professor, Oil Crops Research Institute of the Chinese Academy of Agricultural Sciences, No.2 Xudong 2nd Road, Wuchang District, Wuhan 430062, China. E-mail: liangxiao_zhang@hotmail.com

LI Pei-Wu, Ph.D, Professor, Oil Crops Research Institute of the Chinese Academy of Agricultural Sciences, No.2 Xudong 2nd Road, Wuchang District, Wuhan 430062, China. E-mail: peiwuli@oilcrops.cn

composition of fatty acids was reasonable. The content of phytosterol in the sacha inchi oil was 265.61 mg/100 g, which was higher than that of peanut oil and olive oil, and the contents of stigmaterol and vitamin E were significantly higher than those of other common edible vegetable oils. The total content of vitamin E was 122.73 mg/100 g, and the content of δ -tocopherol was the highest (59.69 mg/100 g). **Conclusion** The content of unsaturated fatty acid is high in sacha inchi oil and it is also rich in linolenic acid, phytosterol and vitamin E. Because of its better nutritional value, it is a kind of high quality vegetable oil compared with common edible vegetable oils.

KEY WORDS: sacha inchi oil; nutrient composition; fatty acid; phytosterol; vitamin E

1 引言

美藤果又名印加果、星油藤、印奇果、南美油藤,属于大戟科多年生木质藤本油料植物^[1],其种植周期短、营养价值高,是一种高油脂、高蛋白的新型木本油料作物。原产于南美洲安第斯山脉地区热带雨林,在当地已有3000年的历史^[2],我国于2006年成功地将美藤果引进到中国科学院西双版纳热带植物园。美藤果油是以美藤果种籽为原料,经脱壳、粉碎、压榨、过滤等工艺而制成的淡黄色透明油状液体。Garmendia等^[3]研究表明,摄入美藤果油能降低高胆固醇患者总胆固醇和非酯化脂肪酸平均水平,对血脂异常患者有益。2013年卫生部将其批准为新资源食品,目前已广泛应用于食品、保健、制药及化妆品等行业^[4,5]。

目前市场上出现的美藤果油品牌主要是印奇美藤果油,其价格明显高于常见食用植物油。为此,本研究对美藤果油中的主要营养成分进行分析,并与常见食用植物油的营养成分进行比较,以期更好地认识美藤果油的营养组成,为消费者科学选购美藤果油提供数据支撑。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

所用的标准品:37种脂肪酸甲酯混合标准溶液(色谱纯)、 β -谷甾醇(纯度 $\geq 95\%$)、豆甾醇(纯度 $\geq 95\%$)、菜油甾醇(分析纯)、菜籽甾醇(分析纯)、 α -生育酚(纯度 $\geq 98\%$)、 γ -生育酚(纯度 $\geq 98\%$)、 δ -生育酚(纯度 $\geq 98\%$)(美国Sigma公司);氢氧化钾、石油醚(分析纯,西陇化工股份有限公司);乙醚、乙醇(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);正己烷、甲醇(色谱纯,安徽时联特种溶剂股份有限公司)。

美藤果油来源于市场上销售的印奇美藤果油。

2.2 仪器与设备

7890A气相色谱仪(美国安捷伦公司);TQ-8040三重四级杆气质联用仪(日本岛津公司);Agilent 1200高效液相色谱仪(美国安捷伦公司);LPE型分析天平(上海越平仪器有限公司);WX系列涡旋混合器(美国IKA公司);DTC超声波清洗机(鼎泰生化科技设备制造有限公司);BF-2000氮吹仪(八方世纪有限公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 脂肪酸检测

脂肪酸组分的检测参照GB 5009.168-2016《食品中脂肪酸的测定》及参考文献^[6]。具体步骤:称取0.2g美藤果油于试管中,加入2mL石油醚-乙醚溶液,1mL KOH-甲醇溶液,涡旋混合后静置0.5h。再次涡旋后加水使其分层。吸取上层清液800 μ L,加入200 μ L石油醚稀释后进行气相色谱仪检测分析,以37种脂肪酸甲酯标准品的保留时间进行定性,峰面积归一法定量。

气相色谱条件:Agilent 7890 A气相色谱仪;Agilent DB-23毛细管柱(30 m \times 0.32 mm, 0.25 μ m);升温程序为初始温度180 $^{\circ}$ C,保持2 min,以3 $^{\circ}$ C/min升至230 $^{\circ}$ C,保持12 min;进样口温度:250 $^{\circ}$ C;检测器温度:280 $^{\circ}$ C;进样量:1 μ L;载气(N_2)流量:180 mL/min;流量:30 mL/min;空气流量:400 mL/min;分流比:150:1。

2.3.2 植物甾醇含量测定

植物甾醇含量的检测参照参考文献建立的方法^[7,8]。

具体步骤:称取50 mg美藤果油于25 mL具塞试管中,加入200 μ L胆甾烷醇(100 μ g/mL)内标。加入5 mL氢氧化钾-乙醇溶液,涡旋,75 $^{\circ}$ C水浴加热30 min使其充分皂化,室温下冷却。然后加入2 mL去离子水,5 mL正己烷,涡旋1 min,静置,提取上清液,用正己烷提取2次,合并上清液,氮吹仪吹干,然后加入100 μ L衍生试剂(N-甲基-N-三甲基硅烷七氟丁酰胺:1-甲基咪唑=95:5, V:V),涡旋使其充分混合,105 $^{\circ}$ C加热15 min,冷却到室温,加入正己烷定容至1 mL,气相色谱-质谱联用法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)分析,以甾醇标准品以及特征离子进行定性,内标法定量。

气相色谱法-质谱条件:TQ-8040三重四级杆气相色谱质谱联用仪分析。色谱柱:DB-5MS 色谱柱(30 m \times 0.25 mm, 0.25 μ m);进样口温度:290 $^{\circ}$ C;分流比:20:1;进样量:1 μ L;流速:1.2 mL/min;程序升温:初始温度100 $^{\circ}$ C,保持1 min,以40 $^{\circ}$ C/min升至290 $^{\circ}$ C,保持15 min;电离方式:EI;电离电压:70 eV;离子源温度:250 $^{\circ}$ C;传输线温度:290 $^{\circ}$ C;监测方式:SIM模式。

2.3.3 维生素E含量检测

维生素E组分含量测定参照GB/T 26635-2011《动植

物油脂 生育酚及生育三稀酚含量测定 高效液相色谱法》及相关文献^[9]。具体步骤:称取 1.0 g 美藤果油于 10 mL 试管中,加入 5 mL 无水乙醇,水浴超声 2 h,静置 1 h,8000 r/min 离心 5 min,取 1 mL 上清液,过 0.22 μm 有机膜,高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)检测分析,以 α-生育酚、γ-生育酚、δ-生育酚标准品保留时间定性,外标法定量。

高效液相色谱分析条件:流动相为甲醇:水=98:2(V:V);柱温:30 ℃;色谱柱:C₁₈反相柱;检测器:紫外检测器;波长:300 nm;进样量:10 μL。

3 结果与分析

3.1 美藤果油脂肪酸组成分析及与常见食用植物油脂肪酸的比较

美藤果油脂肪酸组成及相对含量见表 1。由表 1 可知,

美藤果油主要由 9 种脂肪酸组成,其中主要的脂肪酸为 α-亚麻酸(43.62%)、亚油酸(38.54%)、棕榈酸(10.12%)、油酸(5.35%)和硬脂酸(1.06%),5 种脂肪酸含量占总脂肪酸含量的 98.68%,不饱和脂肪酸含量为 88%,这个结果与前人报道结果接近^[10]。α-亚麻酸含量较高,接近亚麻籽油中亚麻酸含量(约 49%)^[2,11]。亚麻酸和亚油酸作为人体最为重要的必需脂肪酸,在美藤果油中的含量之和高达 82%,研究表明亚麻酸和亚油酸是大脑、视网膜和其他神经组织的长碳链多不饱和脂肪酸的前体物质,对维护机体正常生理功能具有重要作用^[12]。德国、日本等国已将亚麻酸及其衍生物作为药物添加剂用来预防和治疗心血管疾病且已申请相关专利^[13]。因此美藤果油是 α-亚麻酸重要来源,具有较高药用和食用价值,市场发展潜力大。

且从表 1 可知,美藤果油的脂肪酸组成与常见的植物油(大豆油、菜籽油、花生油、芝麻油、橄榄油)脂肪酸组

表 1 美藤果油与常见食用植物油脂肪酸的比较

Table 1 Comparison of fatty acids between sacha inchi oil and common edible vegetable oils

脂肪酸	脂肪酸含量(%)					
	美藤果油	大豆油 ^[14]	菜籽油 ^[14]	花生油 ^[14]	芝麻油 ^[14]	橄榄油 ^[14]
肉豆蔻酸(C14:0)	-	0.09	0.05	0.03	0.02	-
十五烷酸(C15:0)	-	0.02	0.02	-	-	-
十六碳二烯酸(C16:2)	-	-	0.06	-	-	-
棕榈油酸(C16:1)	0.40	0.14	0.24	0.09	0.18	0.73
棕榈酸(C16:0)	10.12	15.32	5.03	12.11	10.00	11.48
十七酸(C17:0)	-	0.16	0.05	0.07	0.08	0.17
硬脂酸(C18:0)	1.06	5.16	2.32	3.97	6.75	4.37
油酸(C18:1)	5.35	25.44	60.91	41.07	40.12	75.21
亚油酸(C18:2)	38.54	47.15	20.10	32.88	40.67	5.99
十九碳烯酸(C19:1)	-	-	-	0.02	-	-
亚麻酸(C18:3)	43.62	7.95	8.01	0.08	0.43	0.73
花生三烯酸(C20:3)	-	0.00	-	-	-	-
化生酸(C20:0)	0.14	0.63	0.85	1.93	1.01	0.64
二十碳一烯酸(C20:1)	0.72	0.31	1.56	1.31	0.30	0.41
二十碳二烯酸(C20:2)	0.07	0.05	0.07	0.03	0.03	-
二十一烷酸(C21:0)	-	0.05	-	-	-	-
山俞酸(C22:0)	-	0.64	0.49	4.16	0.21	0.18
二十二碳二烯酸(C22:2)	-	-	0.04	0.13	-	-
芥酸(C22:1)	-	-	-	0.04	0.03	-
木质素酸(C24:0)	-	0.20	0.21	1.95	0.15	0.03
二十六烷酸(C26:0)	-	-	-	0.15	-	-
饱和脂肪酸(SFA)	11.32	22.22	9.02	24.41	18.25	16.87
不饱和脂肪酸(UFA)	88.68	81.09	90.99	75.61	81.73	83.07
单不饱和脂肪酸(MUFA)	6.46	25.94	62.71	42.49	40.60	76.35
多不饱和脂肪酸(PUFA)	82.22	55.15	28.28	33.12	41.13	6.72

成相比存在较大差异,除了菜籽油的不饱和脂肪酸含量(90.99%)略高于美藤果油(88.68%)外,其他植物油不饱和脂肪酸含量均低于美藤果油。而美藤果油的多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)含量明显高于其他常见植物油,是大豆油的1.49倍、菜籽油的2.91倍、花生油的2.48倍、芝麻油的2.00倍、橄榄油的12.24倍。PUFA主要由亚油酸和亚麻酸组成,占不饱和脂肪酸含量的92.64%。美藤果油的 α -亚麻酸含量明显高于其他常见食用植物油,其亚油酸含量高于菜籽油、花生油和橄榄油。而单不饱和脂肪酸含量为6.46%,主要是油酸,低于其他常见植物油饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)含量是11.32%,主要是棕榈酸和硬脂酸,除略高于菜籽油(9.02%)外明显低于其他植物油。一般将PUFA与SFA相对含量的比值作为评价脂肪酸性质的一个重要指标^[15]。当PUFA/SFA > 2时,植物油具有降低血脂的功能,而且比值越高,降低血脂的效果就越明显^[16],美藤果油的PUFA:SFA的比值为7.26,明显优于大豆油(2.48)、菜籽油(3.14)、花生油(1.35)、芝麻油(2.25)、橄榄油(0.40),由此可见美藤果油可能对于降低血脂更有益,是一种优质植物油。

3.2 美藤果油与常见植物油的植物甾醇及维生素E的分析比较

除脂肪酸的组成作为评价植物油的指标之外,植物油中的特质微量成分如植物甾醇、维生素E也具有一定的重要生理功能,是评价优质食用油的重要指标。植物甾醇是一种天然的生物活性物质,具有降低胆固醇、调节免疫力、抗炎、抗癌等功能。植物油是植物甾醇最主要的来源之一。由表2可知,美藤果油中的植物甾醇含量为265.61 mg/100 g,明显高于橄榄油(48.93 mg/100 g)等其它木本食用油。美藤果油中的 β -谷甾醇含量最高,为159.17 mg/100 g,占总甾醇含量的60%,临床试验证明 β -谷甾醇通过激活鞘磷脂循环抑制人结肠癌HT-29细胞生长,

可以达到预防和治疗结肠癌的目的^[19],此外还具有抗炎、降血糖、降血脂、治疗前列腺和宫颈癌等功能^[20-22]。其次值得注意的是美藤果油的豆甾醇含量(69.73 mg/100 g)高于其他常见植物油。研究表明豆甾醇具有抗氧化活性、抗肿瘤、降低血液中胆固醇、预防心血管疾病等功能^[23,24]。由此可见美藤果油中有益甾醇含量较高。

维生素E是食用植物油中重要的天然抗氧化剂,美藤果油的维生素E含量为122.73 mg/100 g,是大豆油的1.12倍,菜籽油的2.06倍,花生油的2.97倍,芝麻油的3.83倍,橄榄油的16.84倍。与常见植物油不同的是,美藤果油中的 δ -维生素E含量明显高于其他常见食用油,据报道微波和加热条件下维生素E的抗氧化能力依次是 δ -维生素E > γ -维生素E > β -维生素E > α -维生素E^[25],可见美藤果油具有较强的氧化稳定性。李光勋等^[26]和Smolarek等^[27]的研究表明, δ -生育酚比 α -生育酚和 γ -生育酚能更好地抑制肿瘤细胞的生长,可作为预防乳腺癌的有效药物。综上所述,美藤果油富含有益植物甾醇和 δ -生育酚,在特质微量成分上优于常见食用植物油,可作为日常食用植物油的营养补充,从而达到预防心血管疾病、抑制肿瘤细胞增长等功效。

4 结论

美藤果油的不饱和脂肪酸含量高达88%,亚麻酸和亚油酸含量较高,脂肪酸组成合理,富含植物甾醇,且维生素E含量高,尤其是 δ -维生素E。与其他常见植物油相比,美藤果油具有更好的营养价值。消费者可在日常生活中选择食用美藤果油,在一定程度上弥补亚麻酸摄入的不足,进而补充亚油酸、植物甾醇和维生素E的摄入,达到预防心血管疾病和抑制肿瘤生长的目的。因此,美藤果油作为一种高不饱和脂肪酸、高植物甾醇和高维生素E的新型油料作物,可满足人们对于营养健康食用油的需求,具有广阔的市场发展空间。

表2 美藤果油与常见植物油植物甾醇及维生素E含量的比较
Table 2 Comparison of the contents of sterols and vitamin E in sacha inchi oil and common plant oil plants

组分名称	植物甾醇和维生素E含量(mg/100 g)					
	美藤果油	大豆油 ^[9,16]	菜籽油 ^[9,17]	花生油 ^[9,17]	芝麻油 ^[9,17]	橄榄油 ^[17,18]
菜籽甾醇	2.28	—	28.64	—	—	—
菜油甾醇	34.43	83.51	273.30	49.04	78.78	5.20
豆甾醇	69.73	33.40	7.10	13.47	27.77	—
β -谷甾醇	159.17	105.71	192.45	97.99	205.16	43.73
甾醇总量	265.61	222.62	501.49	160.50	311.71	48.93
α -维生素E	5.01	11.53	18.10	20.08	—	4.62
γ -维生素E	58.04	67.50	38.30	18.32	32.00	1.80
δ -维生素E	59.69	26.16	3.10	2.96	—	0.87
维生素E总量	122.73	105.19	59.50	41.36	32.00	7.29

参考文献

- [1] 蔡志全, 杨清, 唐寿贤, 等. 木本油料作物星油藤种子营养价值的评价[J]. 营养学报, 2011, 33(2): 193-195.
Cai ZQ, Yang Q, Tang SX, *et al.* Nutritional evaluation in seeds of a woody oil crop *Plukenetia volubilis* linneo [J]. J Nutr 2011, 33 (2), 193-195.
- [2] Guillén MD, Ruiz A, Cabo N, *et al.* Characterization of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil by FTIR spectroscopy and ¹H NMR. comparison with linseed oil [J]. J Am Oil Chem Soc, 2003, 80(8), 755-762.
- [3] Garmendia F, Pando R, Ronceros G. Effect of sacha inchi oil (*Plukenetia volubilis* l) on the lipid profile of patients with hyperlipoproteinemia [J]. Revista Peruana De Med Exp Y Salud Pub, 2011, 28(4): 628.
- [4] 关于批准茶树花等 7 种新资源食品的公告(2013 年第 1 号) [EB/OL]. [2018-3-15]. <http://www.nhfpc.gov.cn/sps/s7891/201301/50f91734cc56444b8c084f0d0468a690.shtml>.
Announcement on the approval of seven new resource foods such as tea tree flowers (No. 1 of 2013) [EB/OL]. [2018-3-15]. <http://www.nhfpc.gov.cn/sps/s7891/201301/50f91734cc56444b8c084f0d0468a690.shtml>.
- [5] 张嘉怡, 杜冰, 谢蓝华, 等. 绿色新资源食品-美藤果油[J]. 中国油脂, 2013, 38(7): 1-4.
Zhang JY, Du B, Xie Lh, *et al.* A new resource green food -Sacha inchi oil [J]. China Oils Fats, 2013, 3 (7): 1-4.
- [6] 汪雪芳, 杨瑞楠, 薛莉, 等. 28 种功能性食用油脂脂肪酸组成研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(11): 4336-4343.
Wang XF, Yang RN, Xue L, *et al.* Determination of fatty acid composition of 28 kinds of functional vegetable oils [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(11): 4336-4343.
- [7] 王素君, 李培武, 张良晓, 等. 超声波辅助提取植物油中甾醇和生育酚[J]. 中国油料作物学报, 2016, 38(3): 373-378.
Wang SJ, Li PW, Zhang LX, *et al.* Ultrasound-assisted extraction of sterols and tocopherol from edible oils [J]. J Chin Oils Crop Sci, 2016, 38(3): 373-378.
- [8] 徐宝成, 张良晓, 王华, 等. SPE-GC-GC-TOFMS 检测油脂中游离甾醇及精炼废弃油脂的判别[J]. 食品科学, 2015, (2): 188-193.
Xu BC, Zhang LX, Wang H, *et al.* A method for determination of free phytosterols derived from vegetable oils by SPE-GC-GC-TOFMS and its application for discrimination of refined waste oils [J]. Food Sci 2015, (2): 188-193.
- [9] 温运启, 刘玉兰, 王璐阳, 等. 不同食用植物油中维生素 E 组分及含量研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(3): 35-39.
Wen YQ, Liu YL, Wang LY, *et al.* Contents and components of vitamin E in different edible vegetable oils [J]. China Oils Fats, 2017, 42(3): 35-39.
- [10] 刘付英. 美藤果及美藤果油的理化性质和油脂的脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂, 2014, (7): 95-97.
Liu FY. Physicochemical properties of Sacha Inchi and Sacha Inchi oil and fatty acid composition of Sacha Inchi oil [J]. China Oil Fats, 2014, (7): 95-97.
- [11] 李高阳, 丁霄霖. 亚麻籽油中脂肪酸成分的 GC-MS 分析[J]. 食品与机械, 2005, 21(5): 30-32.
Li GY, Ding XL. Analysis of fatty acids of flaxseed oil with GC-MS [J]. Food Mach, 2005, 21(5): 30-32.
- [12] 吴小玉. 印加果油补充人体必需脂肪酸作用浅析[J]. 健身科学, 2008, 5: 54-55.
Wu XY. An analysis of the effect of Sacha Inchi oil supplemented on essential fatty acids in human body [J]. Health Sci, 2008, 5: 54-55.
- [13] 陶国琴, 李晨. α -亚麻酸的保健功效及应用[J]. 食品科学, 2000, 21(12): 140-143.
Tao GQ, Li C. Health benefits and applications of alpha-linolenic acid [J]. Food Sci, 2000, 21(12): 140-143.
- [14] 杨春英, 刘学铭, 陈智毅. 15 种食用植物油脂肪酸的气相色谱-质谱分析[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 211-214.
Yang CY, Liu XM, Chen ZY. Determination of fatty acid profiles in fifteen kinds of edible vegetable oil by gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food Sci, 2013, 34(6): 211-214.
- [15] 李晓莺, 曹有龙, 何军. 5 种油脂植物种子脂肪酸含量及组成分析[J]. 粮油加工, 2006, (7): 58-59.
Li XY, Cao YL, He J. Fatty acid content and composition analysis of 5 kinds of oil plant seeds [J]. Grain Oil Process, 2006, (7): 58-59.
- [16] 王瑞, 刘海学, 马佃珍, 等. 几种食用油中脂肪酸含量的测定与分析[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(7): 106-109.
Wang R, Liu HX, Ma LZ, *et al.* Several fatty acids in edible oils measurement and analysis [J]. Food Res Dev, 2011, 32(7): 106-109.
- [17] 杨春英, 刘学铭, 陈智毅, 等. 气相色谱-质谱联用法测定 14 种食用植物油中的植物甾醇[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(2): 123-128.
Yang CY, Liu XM, Chen ZY, *et al.* Determination of phytosterol in fourteen kinds of edible vegetable oil by gas chromatography-mass spectrometry [J]. J Chin Cere Oils Ass, 2013, 28(2): 123-128.
- [18] 冯鑫, 别玮, 郝欣, 等. 超临界色谱串联质谱法测定橄榄油中维生素 E 含量的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(11): 4341-4347.
Feng X, Bie W, Hao X, *et al.* Determination of vitamin E in olive oil by supercritical fluid chromatography tandem mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual 2015, 6(11): 4341-4347.
- [19] Baskar AA, Ignacimuthu S, Paulraj GM, *et al.* Chemopreventive potential of beta-Sitosterol in experimental colon cancer model-An *in vitro* and *in vivo* study [J]. Bmc Comp Altern Med, 2010, 10(1): 24.
- [20] Bouic PJ, Clark A, Lamprecht, J, *et al.* The effects of B-sitosterol (BSS) and B-sitosterol glucoside (BSSG) mixture on selected immune parameters of marathon runners: inhibition of post marathon immune suppression and inflammation [J]. J Inter Sports Med, 1999, 20(4): 258.
- [21] Bradford PG, Awad, AB. Phytosterols as anticancer compounds [J]. Mol Nutr Food Res, 2007, 51(2): 161-170.
- [22] Yoshida Y, Niki E. Antioxidant effects of phytosterol and its components [J]. J Nutr Sci Vita, 2003, 49(4): 277-280.
- [23] Kim YS, Li XF, Kang KH, *et al.* Stigmasterol isolated from marine microalgae *Navicula incerta* induces apoptosis in human hepatoma HepG2 cells [J]. Bmb Rep, 2013, 47(8): 433.

- [24] Batta AK, Xu G, Honda A, *et al.* Stigmasterol reduces plasma cholesterol levels and inhibits hepatic synthesis and intestinal absorption in the rat [J]. *Meta-clin Exp*, 2006, 55(3): 292–299.
- [25] 鲁志成, 谷克仁, 邓芳. 天然维生素 E 的抗氧化性及其影响因素的分析与探讨[J]. *中国油脂*, 2003, 28(8): 59–62.
- Lu ZC, Gu KR, Deng F. Analysis and discussion on the antioxidative activity of natural vitamin E and its influencing factors [J]. *China Oils Fats*, 2003, 28(8): 59–62.
- [26] Li GX, Lee MJ, Liu AB, *et al.* δ -tocopherol is more active than α - or γ -tocopherol in inhibiting lung tumorigenesis *in vivo* [J]. *Cancer Prev Res*, 2011, 4(3): 404–413.
- [27] Smolarek AK, Nanjoo S. Chemopreventive activity of vitamin E in breast cancer: A focus on γ - and δ -tocopherol [J]. *Nutrition*, 2011, 3(11): 962–986.

(责任编辑: 姜 姗)

作者简介



薛 莉, 硕士, 主要研究方向为食品加工与安全。

E-mail: xueli201611@126.com



张良晓, 博士, 副研究员, 硕士生导师, 主要研究方向食品油特异品质检测与营养评价。

E-mail: liangxiao_zhang@hotmail.com



李培武, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向为农产品质量与食品安全标准与检测技术研究。

E-mail: peiwuli@oilcrops.cn