

## 火麻油总脂肪酸及 sn-2 位脂肪酸组成分析

朱丽<sup>1</sup>, 聂小彤<sup>2</sup>, 张林<sup>1</sup>, 刘苗<sup>1</sup>, 周思<sup>1</sup>, 谭微<sup>2</sup>

(1. 广州市疾病预防控制中心, 广州 510000; 2. 柳州工学院 食品与化学工程系, 广西 柳州 545616)

**摘要:**采用气相色谱法测定火麻油中总脂肪酸和 sn-2 位脂肪酸的组成和含量, 并与其他 9 种常见植物油进行对比, 旨在为火麻油的营养价值研究提供基础数据。结果表明, 3 种不同品牌火麻油主要由软脂酸 (C16:0)、硬脂酸 (C18:0)、油酸 (C18:1n9c)、亚油酸 (C18:2n6c)、 $\alpha$ -亚麻酸 (C18:3n3) 组成, 其中多不饱和脂肪酸含量为 70.57%~78.73%, sn-2 位多不饱和脂肪酸含量为 77.61%~83.74%, 说明以亚油酸和  $\alpha$ -亚麻酸为主的多不饱和脂肪酸更易连接在甘油三酯结构的 sn-2 位上。另外, 对比其他 9 种常见植物油, 火麻油总脂肪酸和 sn-2 位脂肪酸中油酸含量均最低, 亚油酸和亚麻酸含量较高; 多不饱和脂肪酸含量均最高, 分别为 77.90% 和 83.74%; n-6 系脂肪酸与 n-3 系脂肪酸比例分别为 3.7:1 和 4.2:1。研究结果表明, 火麻油是一种不饱和脂肪酸含量较高且易于被人体吸收代谢的植物油。

**关键词:**火麻油; 脂肪酸; sn-2 位脂肪酸; 气相色谱

中图分类号: TS227; O657.7+1 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2021)07-0138-05

### Determination of compositions of total fatty acids and sn-2 fatty acids in hemp oil

ZHU Li<sup>1</sup>, NIE Xiaotong<sup>2</sup>, ZHANG Lin<sup>1</sup>, LIU Miao<sup>1</sup>, ZHOU Si<sup>1</sup>, TAN Wei<sup>2</sup>

(1. Guangzhou Center for Disease Control and Prevention, Guangzhou 510000, China;

2. Department of Food and Chemical Engineering, Liuzhou Institute of Technology, Liuzhou 545616, Guangxi, China)

**Abstract:** The compositions and contents of total fatty acids and sn-2 fatty acids in hemp oil were determined and analyzed by gas chromatography, and they were compared with other nine kinds of vegetable oils so as to provide useful data for the research of nutritional value of hemp oil. The results showed that three different brands of hemp oils were mainly composed of palmitic acid (C16:0), stearic acid (C18:0), oleic acid (C18:1n9c), linoleic acid (C18:2n6c) and  $\alpha$ -linolenic acid (C18:3n3). The content of unsaturated fatty acids was 70.57%~78.73%, and the content of sn-2 polyunsaturated fatty acids was 77.61%~83.74%, which indicated that the polyunsaturated fatty acids mainly composed of linoleic acid and  $\alpha$ -linolenic acid were easily linked to the sn-2 position of the triglyceride structure. In addition, compared with other nine kinds of common vegetable oils, the oleic acid content

in total fatty acids and sn-2 fatty acids of hemp oil was the lowest, while the contents of linoleic acid and linolenic acid were higher. The contents of polyunsaturated fatty acids in total fatty acids and sn-2 fatty acids of hemp oil were the highest, which were 77.90% and 83.74% respectively, and the ratios of n-6 fatty acid to n-3 fatty acid were 3.7:1 and 4.2:1 respectively. Hemp oil was a kind of edible oil with high content of unsaturated fatty acids and

收稿日期: 2020-06-03; 修回日期: 2021-04-16

基金项目: 广州市卫生健康科技项目 (20211A011063); 广西高校中青年骨干教师基础能力提升项目 (2017KY1382); 广西大学生创新创业训练计划项目 (201913639071, 201813639070); 广西科技大学鹿山学院科研创新团队项目 (2018LSTD02)

作者简介: 朱丽 (1987), 女, 高级工程师, 硕士, 研究方向为食品营养 (E-mail) foodtestzl@126.com。

通信作者: 谭微, 高级实验师 (E-mail) thurmantan@126.com。

was easy to be absorbed and metabolized by human body.

**Key words:** hemp oil; fatty acid; sn-2 fatty acid; gas chromatography

我国火麻主要种植于广西、云南、安徽、陕西、甘肃等省份。火麻油提取方法主要有压榨法、水酶法、微波辅助提取法和超声波辅助提取法<sup>[1-2]</sup>。火麻油中亚油酸和亚麻酸含量较高,世界各国推荐  $n-6$  系与  $n-3$  系脂肪酸比例不同,火麻油中  $n-6$  系与  $n-3$  系脂肪酸的比例接近 2000 年中国营养学会在《中国居民膳食营养素参考摄入量》提出的 4:1~6:1<sup>[3]</sup>。不饱和脂肪酸在抗心血管病、促进生长发育、抗炎、抗癌等方面发挥着重要作用<sup>[4]</sup>。火麻油具有高不饱和脂肪酸<sup>[5]</sup>和药食同源的特性,作为新兴的植物油逐渐受到人们的重视。近年来,各大超市、农副产品专卖店和保健品专卖店均有火麻油出售,其中以巴马火麻油最为著名,被称为“长寿油”。火麻油价格较高,受利益驱使部分商家向火麻油中添加成本较低的普通植物油或以其他产地的火麻油冒充巴马火麻油以牟取暴利,严重侵害了消费者的利益。

植物油中主要成分是甘油三酯,不同植物油总脂肪酸和 sn-2 位脂肪酸组成存在差异,脂肪酸的位置分布对甘油三酯的吸收代谢情况有重要影响,其决定油脂的应用价值,sn-2 位脂肪酸易于被人体吸收代谢<sup>[6-7]</sup>。脂肪酸测定的常见方法为气相色谱法<sup>[8-9]</sup>以及薄层层析法联合气相色谱法<sup>[10]</sup>。冯纳等<sup>[11]</sup>采用气相色谱法测定不同物种茶油 sn-2 位脂肪酸的组成及含量,发现茶油不饱和脂肪酸平均含量为 79.28%,主要分布在 sn-2 位,易被人体消化吸收。袁小武等<sup>[12]</sup>用猪胰脂肪酶处理常见植物油,采用薄层层析法联合气相色谱法对 sn-2 位脂肪酸组成进行分析测定,发现不饱和脂肪酸主要位于 sn-2 位,少量饱和脂肪酸在 sn-1 位和 sn-3 位。张协光等<sup>[13]</sup>对多种植物油 sn-2 位脂肪酸组成及含量进行测定,发现不同品种植物油 sn-2 位脂肪酸的含量存在显著差异。

目前,国内火麻油产品标准不完善,现有火麻油标准主要是企业标准。与常见植物油相比,关于火麻油总脂肪酸及 sn-2 位脂肪酸组成的研究较少。本文选取不同品牌火麻油为研究对象,采用气相色谱-氢火焰离子化检测器(FID)测定火麻油总脂肪酸和 sn-2 位脂肪酸的组成及含量,并与花生油、玉米油、大豆油等其他常见植物油相比较,以期对火麻油中 sn-2 位脂肪酸的进一步研究提供科学依据,

同时也为火麻油的营养价值研究和居民生活中油脂合理的饮食搭配提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

磨师傅火麻油、十琅火麻油、道心园火麻油、花生油、大豆油、核桃油、芝麻油、橄榄油、玉米油、葵花籽油、油茶籽油、亚麻籽油,市售。

猪胰脂肪酶(100~400 U/mg)、37 种脂肪酸甲酯混标(>98%),Sigma 公司;正己烷、甲醇,色谱纯;盐酸、三(羟甲基)氨基甲烷、乙醚、氢氧化钾、无水氯化钙、硫酸氢钠、无水乙醇、胆酸钠、2,7-二氯荧光素、甲酸,分析纯。

GC-2010 Plus 气相色谱仪(日本岛津),ZF-1 三用紫外分析仪,UPK-I-20T 超纯水机,FA2004B 电子天平,KQ5200DB 数控超声波清洗器,TDZ4-WS 离心机,数显电子恒温水浴锅,电热鼓风干燥箱,硅胶 G 板,V2S025 涡旋混匀器(德国 IKA),ST2100 pH 计,层析缸。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 总脂肪酸的制备

参照 GB 5009.168—2016 制备火麻油总脂肪酸并进行甲酯化,溶液经有机滤膜过滤后转移至进样小瓶备用。

#### 1.2.2 sn-2 位脂肪酸的制备

参照 GB/T 24894—2010 采用薄层层析法分离、制备火麻油 sn-2 位脂肪酸,并对 sn-2 位脂肪酸进行甲酯化,待分析。薄层层析(TLC)条件:在距离硅胶 G 板 1 cm 和 1.5 cm 的位置用铅笔轻轻画一条横线,放入 103℃烘箱中活化 1 h,迅速放入干燥器内冷却至室温;展开剂为正己烷-乙醚-98%甲酸(体积比 70:30:1)。

#### 1.2.3 总脂肪酸和 sn-2 位脂肪酸的测定

采用气相色谱法测定火麻油总脂肪酸及 sn-2 位脂肪酸组成及含量。

气相色谱条件:SP2560 毛细管色谱柱(100 m × 0.25 mm × 0.2 μm);氢火焰离子化检测器(FID);进样口温度 270℃,检测器温度 280℃;升温程序为初始温度 100℃,保持 13 min,以 10℃/min 升至 180℃,保持 6 min,以 1℃/min 升至 200℃,保持 20 min,以 4℃/min 升至 230℃,保持 10.5 min;分流比 10:1;进样量 1.0 μL。

### 1.2.4 数据处理与统计

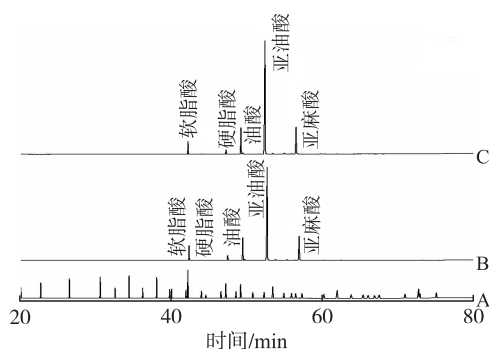
选用 WPS Excel 2019 软件进行数据处理分析,结果用“平均值  $\pm$  标准差”表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 火麻油总脂肪酸和 sn-2 位脂肪酸组成

#### 2.1.1 火麻油总脂肪酸和 sn-2 位脂肪酸的气相色谱分析

火麻油样品中总脂肪酸和 sn-2 位脂肪酸的气相色谱图如图 1 所示。由图 1 可知,火麻油中脂肪酸分离较好,主要包含 5 种脂肪酸,分别为软脂酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸,火麻油 sn-2 位脂肪酸中亚油酸含量较高。



注:A 为 37 种脂肪酸甲酯混标;B 为火麻油中总脂肪酸甲酯;C 为火麻油中 sn-2 位脂肪酸甲酯。

图 1 火麻油样品中总脂肪酸及 sn-2 位脂肪酸的气相色谱图

#### 2.1.2 不同品牌巴马火麻油总脂肪酸组成及含量(见表 1)

表 1 不同品牌巴马火麻油总脂肪酸组成及含量 %

脂肪酸	火麻油 A	火麻油 B	火麻油 C
C16:0	9.19 $\pm$ 0.04	6.30 $\pm$ 0.01	6.09 $\pm$ 0.02
C18:0	1.97 $\pm$ 0.03	2.56 $\pm$ 0.00	2.60 $\pm$ 0.04
C20:0	0.49 $\pm$ 0.01	0.64 $\pm$ 0.00	0.60 $\pm$ 0.01
C22:0	0.15 $\pm$ 0.00	0.22 $\pm$ 0.01	0.21 $\pm$ 0.00
C24:0	0.10 $\pm$ 0.01	0.09 $\pm$ 0.00	0.08 $\pm$ 0.00
C16:1n7	0.07 $\pm$ 0.01	0.08 $\pm$ 0.00	0.08 $\pm$ 0.00
C18:1n9c	16.11 $\pm$ 0.17	10.92 $\pm$ 0.01	11.97 $\pm$ 0.15
C20:1	0.28 $\pm$ 0.03	0.33 $\pm$ 0.01	0.31 $\pm$ 0.01
C18:2n6c	60.36 $\pm$ 0.15	60.57 $\pm$ 0.04	60.93 $\pm$ 0.13
C18:3n6	0.20 $\pm$ 0.02	0.42 $\pm$ 0.00	0.42 $\pm$ 0.03
C18:3n3	10.01 $\pm$ 0.06	17.74 $\pm$ 0.04	16.55 $\pm$ 0.04
SFA	11.90	9.81	9.58
UFA	87.03	90.06	90.26
MUFA	16.46	11.33	12.36
PUFA	70.57	78.73	77.90

注:火麻油 A 为磨师傅火麻油,火麻油 B 为十琅火麻油,火麻油 C 为道心园火麻油。下同

由表 1 可知:3 种品牌巴马火麻油中的饱和脂肪酸为软脂酸(C16:0)、硬脂酸(C18:0)、花生酸

(C20:0)、山嵛酸(C22:0)、木焦油酸(C24:0);不饱和脂肪酸含量约 90%,包括棕榈油酸(C16:1n7c)、油酸(C18:1n9c)、花生一烯酸(C20:1)、亚油酸(C18:2n6c)、 $\alpha$ -亚麻酸(C18:3n3)、 $\gamma$ -亚麻酸(C18:3n6),多不饱和脂肪酸含量存在差异。3 种品牌巴马火麻油主要由软脂酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、 $\alpha$ -亚麻酸组成。

#### 2.1.3 不同品牌巴马火麻油 sn-2 位脂肪酸组成及含量(见表 2)

表 2 不同品牌巴马火麻油 sn-2 位脂肪酸组成及含量 %

脂肪酸	火麻油 A	火麻油 B	火麻油 C
C16:0	3.48 $\pm$ 0.25	5.63 $\pm$ 0.65	1.84 $\pm$ 0.36
C18:0	1.68 $\pm$ 0.18	2.08 $\pm$ 0.35	1.96 $\pm$ 0.03
C20:0	0.44 $\pm$ 0.90	0.62 $\pm$ 0.01	0.42 $\pm$ 0.01
C18:1n9c	16.75 $\pm$ 0.40	10.38 $\pm$ 0.88	12.01 $\pm$ 0.30
C18:2n6c	67.22 $\pm$ 1.35	64.61 $\pm$ 1.81	67.19 $\pm$ 0.41
C18:3n6	0.36 $\pm$ 0.02	1.52 $\pm$ 0.35	0.55 $\pm$ 0.03
C18:3n3	10.03 $\pm$ 0.35	15.49 $\pm$ 0.46	16.00 $\pm$ 0.05
SFA	5.60	8.33	4.22
UFA	94.36	92.00	95.75
MUFA	16.75	10.38	12.01
PUFA	77.61	81.62	83.74

由表 2 可知,3 个不同品牌巴马火麻油 sn-2 位的不饱和脂肪酸含量均大于 92%,且含量排序为火麻油 C > 火麻油 A > 火麻油 B。火麻油中 sn-2 位亚油酸含量高达 64.61% ~ 67.22%,多不饱和脂肪酸含量为 77.61% ~ 83.74%,与表 1 对比,说明以亚油酸和  $\alpha$ -亚麻酸为主的多不饱和脂肪酸更易连接在甘三酯结构的 sn-2 位上,更易被人体吸收。不同品牌火麻油 sn-2 脂肪酸含量差异研究可为火麻油产地溯源提供一定的基础数据。

### 2.2 火麻油与其他常见植物油总脂肪酸及 sn-2 位脂肪酸组成比较

#### 2.2.1 火麻油与其他 9 种植物油总脂肪酸组成比较(见表 3)

由表 3 可知,常见植物油中主要的脂肪酸为棕榈酸、硬脂酸、花生酸、油酸、亚油酸。在 10 种不同植物油中,主要的饱和脂肪酸为棕榈酸、硬脂酸、花生酸,硬脂酸和花生酸含量普遍较低,分别在 5% 和 2% 以下。相比于其他植物油,大豆油、橄榄油、花生油和玉米油棕榈酸含量在 10% 左右,其他的植物油棕榈酸含量在 5.81% ~ 8.05% 之间;而花生油中的花生酸、山嵛酸和木焦油酸含量都较高。10 种不同植物油主要的不饱和脂肪酸为油酸、亚油酸和亚麻酸,油酸含量差异较大(11.97% ~ 81.12%),其中橄

榄油和油茶籽油中的油酸含量最高,分别为78.39%和81.12%,而火麻油中油酸含量最低,为11.97%。亚油酸含量较高的有火麻油、大豆油、核桃油、葵花籽油、玉米油,含量在54.56%~63.65%之间,其中葵花籽油和核桃油含量最高且相当,分别为63.65%和63.61%,而橄榄油和油茶籽油含量最低,不足10%。亚麻籽油中 $\alpha$ -亚麻酸含量高达52.90%;其次是火麻油、核桃油和大豆油,含量分别

为16.55%、7.89%和5.98%;其余的6种植物油亚麻酸含量均低于1%。此外,橄榄油中的花生四烯酸(C20:4)含量为1.09%,其余植物油中均未检出。火麻油的多不饱和脂肪酸含量最高,为77.90%。火麻油总脂肪酸中的 $n-6$ 系脂肪酸和 $n-3$ 系脂肪酸比例为3.7:1,接近2000年中国营养学会在《中国居民膳食营养素参考摄入量》提出的4:1~6:1,可吸收价值最高。

表3 不同植物油中总脂肪酸组成及含量

脂肪酸	火麻油	大豆油	橄榄油	核桃油	花生油	葵花籽油	亚麻籽油	油茶籽油	玉米油	芝麻油	%
C14:0	-	0.06±0.00	-	-	-	0.06±0.00	-	-	-	-	
C16:0	6.09±0.02	10.78±0.15	10.00±0.02	6.25±0.03	10.75±0.03	5.98±0.02	5.81±0.03	7.20±0.02	11.59±0.01	8.05±0.05	
C17:0	-	0.08±0.00	-	-	0.06±0.00	-	0.10±0.00	-	0.05±0.00	-	
C18:0	2.60±0.04	3.87±0.04	2.97±0.02	2.24±0.04	3.10±0.01	2.81±0.01	4.16±0.02	1.71±0.01	1.40±0.01	3.06±0.01	
C20:0	0.60±0.01	0.29±0.01	0.34±0.01	0.08±0.00	1.31±0.02	0.20±0.01	0.17±0.01	0.05±0.00	0.31±0.00	0.36±0.01	
C22:0	0.21±0.00	0.32±0.00	0.07±0.01	-	2.44±0.01	0.66±0.02	0.18±0.02	0.10±0.00	0.09±0.00	-	
C24:0	0.08±0.00	0.10±0.00	-	-	1.19±0.01	0.23±0.00	-	0.06±0.01	0.12±0.02	-	
C16:1n7	0.08±0.00	0.07±0.00	0.69±0.01	0.08±0.00	0.05±0.00	0.09±0.00	0.07±0.00	0.08±0.00	0.06±0.00	-	
C18:1n7t	-	-	-	-	-	-	-	0.10±0.01	-	-	
C18:1n9c	11.97±0.15	22.56±1.02	78.39±0.09	17.92±0.20	48.27±0.11	26.14±0.06	20.12±0.04	81.12±0.07	26.72±0.05	39.92±0.06	
C20:1	0.31±0.01	0.67±0.01	0.19±0.01	0.96±0.02	0.81±0.00	0.12±0.01	0.22±0.01	0.45±0.00	0.24±0.00	0.35±0.01	
C22:1n9	-	-	-	-	0.05±0.00	-	-	0.07±0.01	-	-	
C18:2n6c	60.93±0.13	54.56±0.73	5.55±0.07	63.61±0.09	31.79±0.10	63.65±0.11	16.31±0.03	8.63±0.03	58.54±0.09	49.65±0.03	
C18:3n6	0.42±0.03	0.47±0.00	-	0.78±0.01	-	-	0.34±0.01	-	0.06±0.00	-	
C18:3n3	16.55±0.04	5.98±0.09	0.59±0.01	7.89±0.05	-	-	52.90±0.17	0.21±0.00	0.55±0.01	-	
C20:4n6	-	-	1.09±0.14	-	-	-	-	-	-	-	
SFA	9.58	15.50	13.38	8.57	18.85	9.94	10.42	9.12	13.56	11.47	
MUFA	12.36	23.30	79.27	18.96	49.18	26.35	20.41	81.82	27.02	40.27	
PUFA	77.90	61.01	7.23	72.28	31.79	63.65	69.55	8.84	59.15	49.65	

注:火麻油为道心园火麻油,“-”表示含量小于0.05%或未检出。下同

### 2.2.2 火麻油与其他9种植物油sn-2位脂肪酸组成比较(见表4)

表4 不同植物油sn-2位脂肪酸组成及含量

脂肪酸	火麻油	大豆油	橄榄油	核桃油	花生油	葵花籽油	亚麻籽油	油茶籽油	玉米油	芝麻油	%
C16:0	1.84±0.36	-	6.22±0.20	-	7.20±0.10	-	5.78±0.21	5.31±0.06	7.92±0.01	7.90±0.02	
C18:0	1.96±0.03	3.04±0.06	2.03±0.08	1.77±0.11	2.24±0.02	5.27±0.03	4.19±0.10	1.31±0.00	1.15±0.01	3.32±0.15	
C20:0	0.42±0.01	-	-	-	1.01±0.01	-	-	-	-	0.31±0.02	
C22:0	-	-	-	-	1.82±0.01	0.46±0.04	-	-	-	-	
C24:0	-	-	-	-	0.84±0.02	-	-	-	-	-	
C16:1n7	-	-	0.71±0.03	-	-	-	-	0.10±0.00	-	-	
C18:1n9c	12.01±0.30	23.51±0.10	83.46±0.85	19.05±0.64	48.11±0.35	25.49±0.16	20.20±0.32	83.93±0.03	25.33±0.31	39.78±0.12	
C20:1	-	-	0.65±0.03	0.80±0.14	0.65±0.01	-	-	0.36±0.04	-	0.36±0.02	
C18:2n6c	67.19±0.41	67.51±0.03	6.59±0.10	69.80±0.16	38.13±0.15	68.68±0.72	16.40±0.22	9.01±0.06	65.05±0.37	49.23±0.38	
C18:3n6	0.55±0.03	-	-	0.78±0.02	-	-	0.31±0.01	-	-	-	
C18:3n3	16.00±0.05	5.93±0.09	-	7.79±0.23	-	-	53.30±0.52	0.18±0.01	0.55±0.01	-	
SFA	4.22	3.04	8.25	1.77	13.11	5.73	9.97	6.62	9.07	11.53	
MUFA	12.01	23.51	84.82	19.85	48.76	25.49	20.20	84.39	25.33	40.14	
PUFA	83.74	73.44	6.59	78.37	38.13	68.68	70.01	9.19	65.60	49.23	

由表 4 可知,10 种不同植物油 sn-2 位脂肪酸中均检出硬脂酸、油酸、亚油酸,不饱和脂肪酸含量均较高。除大豆油、核桃油、葵花籽油的 sn-2 位未检出软脂酸外,其余植物油软脂酸含量在 1.84% ~ 7.92% 之间,含量大小依次为玉米油 > 芝麻油 > 花生油 > 橄榄油 > 亚麻籽油 > 油茶籽油 > 火麻油。10 种不同植物油 sn-2 位的硬脂酸含量普遍不高,均在 5.27% 以下。此外,花生油 sn-2 位中还检出其他饱和脂肪酸,如花生酸、山嵛酸和木焦油酸。另外,10 种不同植物油 sn-2 位的油酸含量与总脂肪酸的油酸含量差异不大,其中橄榄油和油茶籽油中的油酸含量均为最高,且火麻油中油酸含量均最低。火麻油、大豆油、核桃油、葵花籽油、玉米油和芝麻油中 sn-2 位亚油酸含量在 49.23% ~ 69.80%。此外,亚麻籽油中含有较高 sn-2 位  $\alpha$ -亚麻酸,含量为 53.30%,其次是火麻油,含量为 16.00%。火麻油 sn-2 位多不饱和脂肪酸含量最高,为 83.74%。火麻油 sn-2 位脂肪酸中的  $n-6$  系脂肪酸和  $n-3$  系脂肪酸比例为 4.2:1,符合 2000 年中国营养学会在《中国居民膳食营养素参考摄入量》提出的 4:1 ~ 6:1,可吸收价值最高。

### 3 结 论

火麻油主要由棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、 $\alpha$ -亚麻酸组成,其总脂肪酸和 sn-2 位脂肪酸中饱和脂肪酸含量均较低,而不饱和脂肪酸含量均较高。研究表明亚油酸和亚麻酸为主的多不饱和脂肪酸更易连接在甘三酯结构的 sn-2 位上。通过对比分析火麻油与常见植物油脂肪酸组成,发现火麻油总脂肪酸和 sn-2 位脂肪酸的多不饱和脂肪酸含量均最高,含量分别为 77.90% 和 83.74%,油茶籽油总脂肪酸和 sn-2 位脂肪酸单不饱和脂肪酸油酸含量最高,分别为 81.12% 和 83.93%。此外,火麻油总脂肪酸和 sn-2 位脂肪酸中油酸含量均最低,亚油酸

和亚麻酸含量较高。

### 参考文献:

- [1] 任汉阳,张瑜,刘红雨,等. 火麻仁研究进展[J]. 河南中医, 2003(11): 78-80.
- [2] 陈聪颖. 巴马火麻蛋白饮料的研制及其稳定性研究[D]. 江苏 无锡:江南大学, 2012.
- [3] 王莉梅. 不同比例  $n-6/n-3$  多不饱和脂肪酸体外营养评价[D]. 江苏 无锡:江南大学, 2015.
- [4] 伍先绍,凌海,胡蓉. 火麻油的脂肪酸组成及理化指标分析[J]. 粮油食品科技, 2017, 25(1): 24-28.
- [5] BERTRAND M, LUDGER B. Virgin hemp seed oil: an interesting niche product [J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2008, 110(7): 655-661.
- [6] 肖坤,龚灿,郭强胜,等. 定量核磁共振碳谱同时测定食用油中甘油三酯的 sn-1,3 和 sn-2 脂肪酸含量[J]. 分析化学, 2020, 48(6): 802-810.
- [7] 王俊芳,杨国良,王荣艳. 婴幼儿配方奶粉中甘油三酯 Sn-2 位脂肪酸的检测[J]. 中国乳业, 2019(7): 67-70.
- [8] 李丹华,朱圣陶. 气相色谱法测定常见植物油中脂肪酸[J]. 粮食与油脂, 2006(8): 46-48.
- [9] 李长秀,唐忠,杨海鹰. 气相色谱法测定生物柴油中脂肪酸甲酯和脂肪酸甘油酯含量[J]. 分析测试学报, 2005, 24(5): 66-68.
- [10] 陈雅,孟德胜,杨征,等. 松籽油中  $\gamma$ -亚麻酸的薄层色谱和气相色谱鉴别[J]. 中国药业, 2007(24): 25.
- [11] 冯纳,钟海雁,周波,等. 不同物种茶油脂肪酸组成及其在 Sn-2 位上的分布[J]. 食品与机械, 2016, 32(3): 20-23.
- [12] 袁小武,邓泽元,李静,等. 胰脂肪酶法测定食用油甘油三酯中脂肪酸的位置分布[J]. 食品科学, 2008, 29(11): 544-547.
- [13] 张协光,彭祖茂,张涵,等. 薄层色谱联用气相色谱法研究食用植物油中 sn-2 位脂肪酸的分布[J]. 中国油脂, 2017, 42(7): 35-39.

(上接第 128 页)

(6) 现场穿线管用镀锌管配防爆专用软连接管,组成隔爆型电缆配管,以达到浸出车间防爆等级要求。

### 3 结 语

防爆碟片离心机作为防爆设备,安装在防爆禁区,在购置时要配置充氮、测氧、测振等保护设施,安装时要考虑管线密封、接地等,使用过程中,采用 PLC 系统时时监控,保证离心机稳定、安全运行。

### 参考文献:

- [1] 崔平永,张燕飞,王成涛,等. 棉籽混合油精炼工业化应用实践[J]. 中国油脂, 2014, 39(9): 82-84.
- [2] 旋转电机外壳防护分级(IP 代码): GB/T 4942.1—2001 [S]. 北京:中国标准出版社, 2001.
- [3] 电气装置安装工程接地装置施工及验收规范: GB 50169—2016 [S]. 北京:中国计划出版社, 2016.
- [4] 张德友,陈道林. 离心机氮气保护防爆系统设计[J]. 过滤与分离, 2009, 39(1): 31-33.