

# 奇亚籽油的研究进展

常馨月, 陈程莉, 龚 娣, 董 全

(西南大学 食品科学学院, 重庆 400715)

**摘要:** 奇亚籽油含有丰富的多不饱和脂肪酸(PUFAs), 其中亚麻酸含量达60%以上, 被认为是 $\omega-3$ 多不饱和脂肪酸的良好来源, 具有抗增殖和促凋亡作用、免疫刺激剂作用、体外抗氧化和抗高血压作用以及调节血脂和肝酶等功效, 食用奇亚籽油对于维持正常的生理和脑功能具有重要的意义。从奇亚籽油的提取方法及脂肪酸组成、理化性质和生物活性等方面, 综述了近年来国内外有关奇亚籽油的研究报道, 旨在为奇亚籽油的开发利用提供参考, 并对其今后的研究重点进行展望。

**关键词:** 奇亚籽油; 提取方法; 理化性质; 生物活性

中图分类号: TS224; TS225.1 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2020)02-0111-06

## Progress in chia seed oil

CHANG Xinyue, CHEN Chengli, GONG Di, DONG Quan

(College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** Chia seed oil is rich in polyunsaturated fatty acids, in which linolenic acid accounts for more than 60%. It is considered to be a good source of  $\omega-3$  polyunsaturated fatty acids. It has anti-proliferative, apoptotic, immunity stimulant action, anti-oxidation and anti-hypertensive effects in vitro, and regulation of blood lipids and liver enzymes. Taking chia seed oil is of great significance for maintaining normal physiological and brain functions. From the aspects of extraction methods, fatty acid composition, physicochemical properties and biological activity of chia seed oil, the research on chia seed oil at home and abroad in recent years were reviewed to provide references for the development and utilization of chia seed oil, and its future research priorities were put forward.

**Key words:** chia seed oil; extraction method; physicochemical property; biological activity

奇亚籽(Chia seed)为芡欧鼠尾草的种子, 属唇形花科, 又名山香籽、鼠尾巴草种子, 它原产于墨西哥中部、南部和危地马拉等地区, 目前主要种植于墨西哥、玻利维亚、厄瓜多尔和危地马拉等地<sup>[1]</sup>。奇亚籽种子呈椭圆状, 个头较小, 一般长约2 mm, 直径在1 mm左右, 表面较光滑, 颜色有米黄、深咖、黑色、白色或者灰色<sup>[2]</sup>。据有关记载, 早在公元前3 500年, 奇亚籽就是阿兹特克人和玛雅人民的粮食作物之一, 有关其食用时间已经超过5 000年。

2005年, 美国食品药品监督管理局将奇亚籽列入可食用的安全食品; 2009年欧盟同意在面包中可添加奇亚籽粉; 2014年, 我国在相关规定下, 将奇亚籽批准为新食品原料。奇亚籽含油25%~50%, 油中含有丰富的多不饱和脂肪酸, 其中亚麻酸含量达60%以上, 是 $\omega-3$ 多不饱和脂肪酸的良好来源, 对于降血脂、预防心血管疾病以及维持正常的生理和脑功能具有重要的意义<sup>[3-4]</sup>。目前国内有关奇亚籽研究报道还比较少, 而国外更多是有关奇亚籽功能活性的研究报道。本文对奇亚籽油的提取方法及脂肪酸组成、理化性质及生物活性等进行综述, 旨在为奇亚籽油的开发利用提供参考。

### 1 奇亚籽油的提取及脂肪酸组成

#### 1.1 奇亚籽油的提取方法

##### 1.1.1 压榨法

压榨法是通过机械外力作用将油挤出。压榨法具有经济、操作简单、工业生产安全性高的优点, 但

收稿日期: 2019-06-18; 修回日期: 2019-07-04

基金项目: 重庆市特色食品工程技术研究中心能力提升项目(cstc2014pt-gc8001)

作者简介: 常馨月(1994), 女, 在读硕士, 研究方向为食品科学(E-mail) 1216182715@qq.com。

通信作者: 董 全, 教授, 博士(E-mail) dongquan@swu.edu.cn。

缺点是出油率低、油料活性成分损失大。压榨法适用于含油量高的油籽。在油脂提取前对油籽进行适当的预处理是生产高效优质油脂的重要步骤之一<sup>[5]</sup>。一般在压榨前会进行热处理,因为热处理过程可提高油籽产油率<sup>[6]</sup>。对奇亚籽进行调质处理,确定最佳含水量,再使用螺旋压榨机进行压榨,可得到澄清透明的油脂,其具有奇亚籽油特有的气味和滋味<sup>[7]</sup>。Imran 等<sup>[8]</sup>对奇亚籽采用4种热处理方式处理后进行低温压榨制备奇亚籽油,发现高压灭菌(121 °C, 0.1 MPa, 15 min)处理后的奇亚籽油中亚油酸和亚麻酸含量下降最多。

Martínez 等<sup>[6]</sup>采用压榨法对奇亚籽油的提取参数进行了探究,通过 Box - Behnken 设计确定了榨油工艺的最优变量组合为 0.113 g/g(干物质为基准)水分含量、6 mm 限制模具(restriction die)、20 r/min 螺旋压榨速度和 30 °C 榨膛温度,此条件下油脂提取率达 82.2%。在压榨前应该确定油籽的最佳含水量,控制炒籽条件,对油脂的品质与贮藏稳定性有着重要作用。

#### 1.1.2 溶剂浸出法

浸出法制油是目前世界上先进的制油技术。溶剂浸出法操作简单、成本低、出油率高,对油料中活性物质影响小,可实现工业自动化生产,但毛油含杂质较多,有溶剂残留等缺点。

Ixtaina 等<sup>[2]</sup>比较了压榨法和溶剂浸出法得到的奇亚籽油产率、脂肪酸组成、理化性质和质量特性。结果表明,溶剂浸出法的奇亚籽油产率平均比压榨法的高 30% 左右。Silva 等<sup>[9]</sup>采用乙酸乙酯、异丙醇、正己烷从奇亚籽中提取油脂,发现提取效率最高的溶剂为正己烷,其次为乙酸乙酯和异丙醇。这是因为植物油分子的介电常数在 2~4 之间,对低极性或非极性分子有更大的亲和力。而正己烷、乙酸乙酯和异丙醇的介电常数分别为 1.88、6.27 和 18,极性越高的组分对油的亲和力越低。正己烷介电常数最低,因此用其作为提取溶剂,油产率也最高。Timilsena 等<sup>[10]</sup>采用溶剂浸出法从奇亚籽中提取奇亚籽油,并在 Rezig 等<sup>[11]</sup>的方法上进行了一定的改进,以石油醚为提取溶剂,重复提取和离心两次,最后奇亚籽油得率为 26.6%。

#### 1.1.3 超声波辅助提取法

超声波辅助提取是一项新兴的萃取技术,具有产率高、收率高、选择性好等优点<sup>[12]</sup>。与传统提取方法相比,超声波辅助提取具有提取率高、溶剂消耗低、提取时间短等优点。超声波辅助提取主要与空

化现象有关,在固体或液体体系中应用效果较好<sup>[13-14]</sup>。Mello 等<sup>[15]</sup>以乙酸乙酯为提取溶剂,采用超声波辅助提取奇亚籽油,并优化了工艺参数。试验结果表明,料液比和温度对油产率影响最大,其次是提取时间;通过与无超声处理相比,发现经超声处理的奇亚籽油产率更高。

#### 1.1.4 微波辅助提取法

微波辅助提取是颇具发展潜力的一种新的提取技术,是微波和传统的溶剂提取法相结合的一种提取方法。与常规的提油方法相比,该方法缩短了提油时间。微波的能量渗透到物料中,产生内部温度,导致更高的加热速度和更短的加工时间<sup>[16]</sup>。通过微波处理,油籽中的活性成分可随之进入油中,提高了油的品质。岳金霞等<sup>[17]</sup>采用微波辅助提取奇亚籽油,并优化了提取工艺参数。结果表明,以石油醚与正己烷混合液(体积比 1:1)为提取溶剂,在液料比 8:1、微波处理时间 12 min、微波功率 520 W 条件下,奇亚籽油提取率达到 90.02%。可见,微波技术具有明显的提取优势,但目前应用微波辅助提取奇亚籽油的研究比较少,还需进一步深入探究。

#### 1.1.5 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取法

超临界 CO<sub>2</sub> 萃取法在低温下进行,且传质率高,最终产物中没有溶剂残留,是一种绿色环保的提取方法。但由于此法成本高,不适于大规模的工业化生产。Uribe 等<sup>[18]</sup>采用超临界 CO<sub>2</sub> 萃取法提取奇亚籽油,研究结果表明,压力对油产率的影响大于温度,在 40.8 MPa、80 °C 的条件下油产率最高,并且奇亚籽油中的  $\omega-3$  和  $\omega-6$  多不饱和脂肪酸的含量不随温度和压力的增加而降低。Ixtaina 等<sup>[19]</sup>采用超临界 CO<sub>2</sub> 萃取奇亚籽油,分析了 3 种不同压力(25、35 MPa 和 45 MPa)、温度(40、60 °C 和 80 °C)以及提取时间(60、150 min 和 240 min)对提取率的影响,发现提取时间和压力对奇亚籽油提取率的影响较大,并且在压力 45 MPa、提取时间 300 min 条件下奇亚籽油提取率最高,达 92.8%,同时发现奇亚籽油中脂肪酸组成会因提取条件的不同而异,但亚麻酸含量(44.4%~63.4%)和亚油酸含量(19.6%~35.0%)仍较高。Ixtaina 等<sup>[20]</sup>采用超临界 CO<sub>2</sub> 萃取奇亚籽油,研究了压力和温度对提取率和溶解度的影响。结果表明,随着压力的增大,奇亚籽油提取率提高,但温度对其影响不大,在 60 °C、45 MPa 下萃取 138 min 奇亚籽油提取率最大,为 97%。超临界 CO<sub>2</sub> 萃取法采用环境友好型工艺,在脂肪酸组成相似条件下,可获得接近传统萃取法的奇亚籽油提取率。

### 1.1.6 亚临界流体萃取法

亚临界流体萃取是继超临界流体萃取技术之后诞生的新技术,此法主要解决了超临界萃取技术存在的设备容积小、造价高、耗能大、不适合大规模工业生产的缺陷。Hrnčić等<sup>[21]</sup>以正丙烷为提取溶剂,采用亚临界流体法萃取黑、白奇亚籽油,并与常规提取方法(索氏提取法、冷榨法、超声波辅助提取法)进行了比较,得到了最佳提取工艺参数:在60℃、30 MPa下白奇亚籽油达到最大得率,为20%;在40℃、

30 MPa下黑奇亚籽油达到最大得率,为20.4%。与其他3种常规方法(黑、白奇亚籽油得率:索氏提取法为18.4%和14%;超声波辅助提取法为16.7%和13.4%;冷榨法为15.4%和12.3%)相比,发现亚临界流体萃取法得到的奇亚籽油得率最高。

### 1.2 奇亚籽油的脂肪酸组成

奇亚籽油中富含多种脂肪酸,但其受产地、提取方法的不同而略有差异。对不同产地及不同提取方法得到的奇亚籽油脂肪酸组成分析见表1。

表1 不同产地及不同提取方法得到的奇亚籽油脂肪酸组成及含量

产地	提取方法	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	PUFAs
阿根廷	溶剂浸出法 <sup>[2]</sup>	6.20 ± 0.40	3.00 ± 0.70	5.30 ± 1.10	19.70 ± 0.00	65.60 ± 0.80	85.40 ± 0.80
	压榨法 <sup>[9]</sup>	6.60 ± 0.30	3.10 ± 0.10	5.40 ± 0.40	20.30 ± 0.20	64.50 ± 0.20	84.90 ± 0.00
	超临界CO <sub>2</sub> 萃取法 <sup>[20]</sup>	6.70 ± 0.40	3.00 ± 0.20	5.00 ± 0.10	20.30 ± 0.10	65.00 ± 0.40	85.30 ± 0.30
危地马拉	溶剂浸出法 <sup>[2]</sup>	5.50 ± 0.10	2.70 ± 0.20	5.80 ± 0.30	16.60 ± 1.20	69.30 ± 1.00	85.90 ± 0.20
	压榨法 <sup>[9]</sup>	5.90 ± 0.10	4.40 ± 0.90	5.50 ± 0.40	17.50 ± 0.20	66.70 ± 0.40	84.10 ± 0.60
澳大利亚	溶剂浸出法 <sup>[10]</sup>	6.21 ± 0.05	1.89 ± 0.01	5.68 ± 0.05	21.46 ± 1.24	64.39 ± 2.31	85.85
智利	溶剂浸出法 <sup>[4]</sup>	7.07	3.36	7.04	18.23	62.80	81.59
墨西哥	溶剂浸出法 <sup>[22]</sup>	7.30	3.60	7.80	19.70	60.10	79.80
秘鲁	溶剂浸出法 <sup>[22]</sup>	7.10	3.50	6.90	18.50	62.50	81.00
美国	溶剂浸出法 <sup>[22]</sup>	7.10	3.20	7.80	18.70	60.90	79.60

从表1可以看出:奇亚籽油的提取方法中压榨法和溶剂浸出法应用较为广泛;奇亚籽油的脂肪酸组成中主要为棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和亚麻酸,其中亚麻酸含量最高,其次为亚油酸;在奇亚籽油中,亚麻酸占比最大,达到60%以上;危地马拉和澳大利亚产地的奇亚籽油PUFAs含量较高,美国产地的奇亚籽油PUFAs含量最低。

## 2 奇亚籽油的理化性质

### 2.1 理化指标

目前对奇亚籽油的研究还停留在基础研究,包括折光指数、黏度、酸价、过氧化值、皂化值和碘值等理化指标的测定。这些指标可大致反映奇亚籽油中脂肪酸组成、氧化状态以及是否含杂质等。不同产地,采用不同的提取方法得到的奇亚籽油在理化性质上可能存在差异,有关其各项理化指标参数见表2。

### 2.2 氧化稳定性

奇亚籽油中富含PUFAs,PUFAs含量越高油脂越容易发生氧化,产生挥发性化合物,这些挥发性化合物会产生异味,可能导致消费者难以接受。然而,消费者对新鲜的奇亚籽油的感官评价为良好<sup>[8]</sup>。植物油调和是食用油工业中广泛采用的一种生产方法,以可承受的价格生产稳定性更好、营养和感官性能更好的调和油<sup>[24]</sup>。Bordón等<sup>[25]</sup>将奇亚籽油与核

桃油、杏仁油、初榨油和焙炒芝麻油混合,并进行了加速贮存试验((40 ± 1)℃,12 d),测定了一次和二次氧化产物、游离脂肪酸含量、抗氧化物、脂肪酸组成和氧化诱导时间。结果表明,混合油的氧化稳定性指数高于奇亚籽油。感官分析表明,在给定纯单品油的情况下,并没有发现混合油之间有统计学上的显著差异。这项研究表明将奇亚籽油与其他植物油进行调和,可以获得具有更高氧化稳定性指数且富含 $\omega-3$ 多不饱和脂肪酸的油脂替代品。Souza等<sup>[26]</sup>通过多种方法测定了奇亚籽油的热稳定性和氧化稳定性:采用Rancimat法研究了合成抗氧化剂和天然抗氧化剂对奇亚籽油氧化稳定性的影响;通过加压差示扫描量热法(PDSC)、Schaal试验和核磁共振氢谱(<sup>1</sup>H NMR)对其热稳定性进行了评价;采用<sup>1</sup>H NMR分析了煎炸温度和/或加热时间对奇亚籽油脂肪酸组成的影响。结果表明,叔丁基对苯二酚(TBHQ)和TBHQ与迷迭香提取物的复配物均能有效提高奇亚籽油的氧化稳定性。在贮藏条件方面,PDSC、Schaal试验和<sup>1</sup>H NMR数据表明,在60℃时,奇亚籽油是稳定的,因此不需要特殊的贮藏条件。PDSC和<sup>1</sup>H NMR结果表明,由于不饱和基团在高温(180℃)下发生了严重的降解和营养性质的损失,奇亚籽油不能用于烹饪和油炸。因此,为了防止奇亚籽油的氧化,可以进行低温贮藏并且避免高

温煎炸,或者添加相应的抗氧化剂以及与其他油脂调和均能有效延缓奇亚籽油的氧化速度。

表2 不同产地及提取方法得到的奇亚籽油的理化指标

项目	澳大利亚 <sup>[10]</sup>		阿根廷 <sup>[2]</sup>		危地马拉 <sup>[2]</sup>		美国 <sup>[23]</sup>
	溶剂浸出法	溶剂浸出法	压榨法	溶剂浸出法	压榨法	压榨法	
折光指数(40℃)	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	
黏度(25℃)/(mPa·s)	43.23±0.31						
酸价(KOH)/(mg/g)	2.54±0.02	2.05±0.02	0.91±0.03	1.64±0.06	0.70±0.01	0.90	
pH	5.41±0.01						
可滴定酸度	0.96±0.02						
过氧化值/(meq/kg)	4.33±0.03						1.06
皂化值(KOH)/(mg/g)	197.00±4.00	193.09±0.07	193.12±0.04	193.01±0.03	192.99±0.01	191.50	
碘值(I)/(g/100g)	204.00±4.00	210.50±1.10	208.50±0.60	215.00±0.90	209.40±1.20	204.30	
不皂化物含量/%	1.12±0.05	1.27±0.49	0.85±0.20	1.00±0.38	0.68±0.03		
水分含量/%							0.06
消光系数	$K_{232} = 1.62 \pm 0.04$ $K_{270} = 0.35 \pm 0.01$						
相对密度(25℃)	0.93±0.03						0.93
氧化稳定性指数/h	2.41±0.16	2.40±0.10	2.80±0.10	2.40±0.10	2.40±0.10		
色泽( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ )	67.48±2.18	43.18±0.08	42.86±0.03	43.03±0.00	39.72±1.37		
	-6.56±0.20	-4.55±0.19	-3.76±0.06	-4.85±0.06	-2.09±0.07		
	28.27±1.81	28.39±1.90	25.90±0.44	21.47±1.58	23.87±1.32		

### 3 生物活性

#### 3.1 抗增殖和促凋亡作用

奇亚籽油是 $\omega-3$ 和 $\omega-6$ 多不饱和脂肪酸的良好来源,研究证明,富含 $\omega-3$ 和 $\omega-6$ 多不饱和脂肪酸油脂可抑制动物乳腺肿瘤细胞的生长。Ixtaina<sup>[19]</sup>等通过动物试验,对患肿瘤的大鼠给予25g奇亚籽油以及0.25L水,每天加水2次,并将奇亚籽油组与对照组(红花籽油组)对比,发现添加奇亚籽油的大鼠肿瘤质量明显减轻,表明奇亚籽油可以减轻肿瘤质量,促进细胞凋亡,抑制有丝分裂。

#### 3.2 免疫刺激剂作用

Fernandez等<sup>[27]</sup>评估了奇亚籽油的免疫刺激活性,并得出结论:在缓解腹泻、过敏、鱼腥味、体重减轻和消化问题等方面,奇亚籽油比其他 $\omega-3$ 多不饱和脂肪酸的植物油具有优势。在食物摄入量、体重、胸腺质量、胸腺细胞数和免疫球蛋白E水平等参数中发现奇亚籽油具有与鱼油相当的效果。这项研究表明了奇亚籽油对免疫系统的影响,具有非常大的研究意义。

#### 3.3 对心血管系统的影响

##### 3.3.1 体外抗氧化和抗高血压作用

Salazar-Vega等<sup>[28]</sup>研究表明,从奇亚籽中提取的蛋白水解物对血管紧张素转化酶具有抑制作用,这表明奇亚籽可充当电子供体和自由基清除剂,提

供抗氧化保护,转化为抗高血压活性。Orona-Tamayo等<sup>[29]</sup>进行了奇亚籽的胃肠模拟试验,发现其对3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸(ABTS)、2,2-二苯基-1-苦基肼(DPPH)表现出较高的抗自由基活性,对血管紧张素转化酶具有较高的抑制作用,表明奇亚籽具有较强的抗氧化及潜在的抗高血压作用。

##### 3.3.2 调节血脂和肝酶

Marineli等<sup>[30]</sup>探讨了奇亚籽油对肥胖大鼠血浆及肝脏氧化状态的影响,测定了血浆和肝脏脂质过氧化生物标志物、内源性酶和非酶抗氧化系统及抗氧化能力。结果发现,添加奇亚籽和奇亚籽油并不能减少体重增加或腹部脂肪堆积,但均能使动物的血糖和胰岛素水平恢复到正常水平,并且可使超氧化物歧化酶水平恢复正常。这两种处理(长期12周和短期6周)中奇亚籽油均可诱导骨骼肌HSP70和HSP25的表达,而奇亚籽短期处理仅能增加骨骼肌HSP70的表达。除此之外还发现,奇亚籽油比奇亚籽更能恢复饮食诱导的肥胖大鼠的抗氧化系统和氧化能量代谢,减少肝脏损伤。Ricardo等<sup>[31]</sup>研究表明,随着大鼠血浆中 $\omega-3$ 多不饱和脂肪酸含量的升高, $\omega-6$ 多不饱和脂肪酸含量的降低,大鼠的血脂水平有所改善。在这些大鼠中胆固醇含量增加,而甘油三酯含量降低,低密度脂蛋白胆固醇与高

密度脂蛋白胆固醇的比值没有降低。这些研究表明奇亚籽具有改善心血管健康的作用。

#### 4 结束语

奇亚籽油作为一种新型油脂,其中富含的亚麻酸等多不饱和脂肪酸对人体健康具有多方面的益处,需要对其进行深入研究。未来还需要开展的工作包括:①现阶段国内对奇亚籽油的研究还处于基础阶段,有关其生物活性的研究还不够深入,加工技术也不成熟。未来还需完善提取工艺,加强功能活性以及油脂稳定性的研究。②不同的提取技术对奇亚籽提取率以及理化性质均有影响,探索合适的加工技术有利于最大化地获取奇亚籽油中的活性物质。其中亚临界流体萃取技术获得的奇亚籽油质量好,具有广阔的发展前景,但目前还未扩大到工业化规模,未来还需深入探究。③在奇亚籽油的应用方面,国内外多将其作为膳食补充剂以及食用油用于制作面包、饼干、沙拉、酸奶等,由于高温煎炸等烹饪方式会影响奇亚籽油的稳定性,因此需要与我国传统烹饪方式建立相关模型,深入探究奇亚籽油的最佳食用条件。最后,确定奇亚籽油相比其他富含 $\omega-3$ 多不饱和脂肪酸的植物油的优势仍是今后重要的研究方向。

#### 参考文献:

- [1] PARKER J, SCHELLENBERGER A N, ROE A L, et al. Therapeutic perspectives on chia seed and its oil: a review [J]. *Planta Med*, 2018, 84: 606-612.
- [2] IXTAINA V Y, MARTÍNEZ M L, SPOTORNO V, et al. Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction [J]. *J Food Compos Anal*, 2011, 24(2): 166-174.
- [3] PORRAS - LOAIZA P, JIMENEZ - MUNGUÍA M T, SOSA - MORALES M E, et al. Physical properties, chemical characterization and fatty acid composition of Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2014, 49(2): 571-577.
- [4] MARINELI R D S, MORAES E A, LENQUISTE S A, et al. Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica* L.) [J]. *LWT - Food Sci Technol*, 2014, 59(2): 1304-1310.
- [5] AZADMARD - DAMIRCHI S, HABIBI - NODEH F, HESARI J, et al. Effect of pretreatment with microwaves on oxidative stability and nutraceuticals content of oil from rapeseed [J]. *Food Chem*, 2010, 121(4): 1211-1215.
- [6] MARTÍNEZ M L, MARÍN M A, FALLER C M S, et al. Chia (*Salvia hispanica* L.) oil extraction: study of processing parameters [J]. *LWT - Food Sci Technol*, 2012, 47(1): 78-82.
- [7] GONZÁLEZ A, MARTÍNEZ M L, PAREDES A J, et al. Study of the preparation process and variation of wall components in chia (*Salvia hispanica* L.) oil microencapsulation [J]. *Powder Technol*, 2016, 301: 868-875.
- [8] IMRAN M, NADEEM M, MANZOOR M F, et al. Fatty acids characterization, oxidative perspectives and consumer acceptability of oil extracted from pre-treated chia (*Salvia hispanica* L.) seeds [J/OL]. *Lipids Health Dis*, 2016, 15(1): 162 [2019-06-18]. <https://doi.org/10.1186/s12944-016-0329-X>.
- [9] SILVA C, GARCIA V A S, ZANETTE C M. Chia (*Salvia hispanica* L.) oil extraction using different organic solvents: oil yield, fatty acids profile and technological analysis of defatted meal [J]. *Int Food Res J*, 2016, 23(3): 998-1004.
- [10] TIMILSENA Y P, VONGSVIVUT J, ADHIKARI R, et al. Physicochemical and thermal characteristics of Australian chia seed oil [J]. *Food Chem*, 2017, 228: 394-402.
- [11] REZIG L, CHOUAIBI M, MSAADA K, et al. Chemical composition and profile characterisation of pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed oil [J]. *Ind Crops Prod*, 2012, 37(1): 82-87.
- [12] CHEMAT F, ZILL - E - HUMA, KHAN M K. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction [J]. *Ultrason Sonochem*, 2011, 18(4): 813-835.
- [13] ESCLAPEZ M D, GARCÍA - PÉREZ J V, MULET A, et al. Ultrasound - assisted extraction of natural products [J]. *Food Eng Rev*, 2011, 3(2): 108-120.
- [14] CÁRCEL J A, GARCÍA - PÉREZ J V, BENEDITO J, et al. Food process innovation through new technologies: use of ultrasound [J]. *J Food Eng*, 2012, 110(2): 200-207.
- [15] MELLO B T F D, GARCIA V A D S, SILVA C D. Ultrasound - assisted extraction of oil from chia (*Salvia hispânica* L.) seeds: optimization extraction and fatty acid profile [J]. *J Food Process Eng*, 2015, 40(1): 1-8.
- [16] BAKHSHABADI H, MIRZAEI H O, GHODSVALI A, et al. The influence of pulsed electric fields and microwave pretreatments on some selected physicochemical properties of oil extracted from black cumin seed [J]. *Food Sci Nutr*, 2018, 6(1): 111-118.
- [17] 岳金霞, 彭丹, 徐晓辉. 响应面法优化微波辅助提取奇亚籽油工艺 [J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2018, 39(2): 72-77.
- [18] URIBE J A R, PEREZ J I N, KAUIL H C, et al. Extraction of oil from chia seeds with supercritical CO<sub>2</sub> [J]. *J*

- Supercrit Fluids, 2011, 56(2): 174 – 178.
- [19] IXTAINA V Y, VEGA A, NOLASCO S M, et al. Supercritical carbon dioxide extraction of oil from Mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.); characterization and process optimization[J]. J Supercrit Fluids, 2010, 55(1):192 – 199.
- [20] IXTAINA V Y, MATTEA F, CARDARELLI D A, et al. Supercritical carbon dioxide extraction and characterization of Argentinean chia seed oil[J]. J Am Oil Chem Soc, 2011, 88(2): 289 – 298.
- [21] HRNČIĆ M K, ČOR D, KNEZ Ž. Subcritical extraction of oil from black and white chia seeds with *n* – propane and comparison with conventional techniques[J]. J Supercrit Fluids, 2018, 140:182 – 187.
- [22] 王志强, 罗锦霞, 张方圆, 等. 奇亚籽含油量及其脂肪酸组成分析[J]. 广州化工, 2018, 46(6): 71 – 72.
- [23] 李燕杰, 孙婷婷, 甄成, 等. 奇雅子油的理化性质及脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂, 2016, 41(8): 96 – 97.
- [24] HASHEMPOUR – BALTORK F, TORBATI M, AZAD-MARD – DAMIRCHI S, et al. Vegetable oil blending: a review of physicochemical, nutritional and health effects [J]. Trends Food Sci Tech, 2016, 57:52 – 58.
- [25] BORDÓN M G, MERILES S P, RIBOTTA P D, et al. Enhancement of composition and oxidative stability of chia (*Salvia hispanica* L.) seed oil by blending with specialty oils[J]. J Food Sci, 2019, 84(20):1035 – 1044.
- [26] SOUZA A L, MART NEZ F P, FERREIRA S B, et al. A complete evaluation of thermal and oxidative stability of chia oil[J]. J Therm Anal Calorim, 2017, 130(3): 1 – 9.
- [27] FERNANDEZ I, VIDUEIROS S M, AYERZA R, et al. Impact of chia (*Salvia hispanica* L.) on the immune system: preliminary study[J]. Proc Nutr Soc, 2008, 67: 12 [2019 – 06 – 18]. <https://doi.org/10.1017/s0029665108006216>.
- [28] SALAZAR – VEGA I M, SEGURA – CAMPOS M R, CHEL – GUERRERO L A, et al. Antihypertensive and antioxidant effects of functional foods containing chia (*Salvia hispanica*) protein hydrolysates [M]//VALDEZ B. Scientific, health and social aspects of the food industry. Rijeka, Croatia: InTech, 2012: 381 – 398.
- [29] ORONA – TAMAYO D, VALVERDE M E, NIETO – REND N B, et al. Inhibitory activity of chia (*Salvia hispanica* L.) protein fractions against angiotensin I – converting enzyme and antioxidant capacity[J]. LWT – Food Sci Technol, 2015, 64(1):236 – 242.
- [30] MARINELI R D S, MOURA C S, MORAES É A, et al. Chia (*Salvia hispanica* L.) enhances HSP, PGC – 1 $\alpha$  expressions and improves glucose tolerance in diet – induced obese rats[J]. Nutrition, 2015,31(5):740 – 748.
- [31] RICARDO A, WAYNE C. Effect of dietary *alpha* – linolenic fatty acid derived from chia when fed as ground seed, whole seed and oil on lipid content and fatty acid composition of rat plasma[J]. Ann Nutr Metab, 2007, 51(1):27 – 34.

(上接第 94 页)

- [7] 滕南雁, 宋宁宁, 刘涛. 广西地区市售食用植物油和大米中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 的采样调查和分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2011, 21(6):1531 – 1532.
- [8] 许美玲, 林永坚, 赵玉喜. 台山市花生油卫生质量分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2007, 17(6):1081 – 1114.
- [9] 周子焱, 邢家溧, 应璐, 等. 食用植物油中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 调查分析[J]. 中国油脂, 2017, 42(12):66 – 69.
- [10] 沈青山, 周威, 莫海珍, 等. 黄曲霉毒素污染控制的研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(9):237 – 243.
- [11] 王佳雅, 尚艳娥, 王利丹. 2014—2016 年北京市市售食用植物油质量调查分析[J]. 中国油脂, 2018, 43(6): 85 – 89.
- [12] 李万福, 冯少光, 周立华, 等. 花生油加工去除黄曲霉毒素研究进展[J]. 广东农业科学, 2011(增刊):47 – 49.
- [13] 王瑞琦, 刘睿杰, 常明, 等. 电子束加速去除黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 工艺对花生粕品质的影响[J]. 中国油脂, 2014, 39(2):33 – 36.
- [14] 方晓璞, 田淑梅, 张小勇, 等. 食用植物油质量安全溯源体系的建立[J]. 中国油脂, 2016, 41(5):50 – 52.
- [15] 周金星, 徐方旭, 匡立学. 沈阳市食用油消费意识现状与分析[J]. 中国油脂, 2012, 37(9):1 – 5.