

杜洁, 李伟, 杨国航, 杨寒, 曹庸. 奇亚籽油化学成分、提取工艺及生理活性研究进展 [J]. 广东农业科学, 2019, 46(5): 135-141.

奇亚籽油化学成分、提取工艺及生理活性研究进展

杜洁^{1,2}, 李伟², 杨国航¹, 杨寒², 曹庸²

(1. 广州蓓而泰生物科技有限公司, 广东 广州 511356; 2. 华南农业大学食品学院 / 广东省天然活性物工程技术研究中心 / 广东省功能食品活性物重点实验室, 广东 广州 510642)

摘要: 奇亚籽是莢欧鼠尾草的种子, 原产于北美洲地区, 食用历史悠久, 因其营养成分丰富、抗氧化功效强等特点, 近年来开始被国内关注和应用。奇亚籽主要生理活性来源于油脂, 其油脂含量为 25.50%~29.40%。奇亚籽油中 α -亚麻酸、亚油酸等不饱和脂肪酸含量高达 80%, 且 n-6/n-3 脂肪酸构成比例非常适合人体膳食需求, 是一种潜在的新型功能油脂。奇亚籽油中含有甾醇、生育酚、角鲨烯、类胡萝卜素、多酚等化学成分, 具有调节血脂、抗氧化、促进肿瘤细胞凋亡等多种生理活性。现阶段国内外奇亚籽油分离方法有压榨法、浸出法以及超临界萃取等方法。奇亚籽油具有良好的生理活性功能, 可推广至食品、保健品、化妆品行业, 发展前景广阔。目前国内关于奇亚籽油的研究仍较少, 大多停留在功能研究层面, 鲜有作用机理报道, 开发利用也属于初级阶段。综述了奇亚籽油的化学成分和提取方法, 并对其生理活性的研究概况进行归纳总结, 展望奇亚籽油的发展前景, 旨在为奇亚籽油资源的开发利用提供依据。

关键词: 奇亚籽; 新型功能油脂; 高不饱和脂肪酸; 油脂加工; 抗氧化; 调节血脂

中图分类号: TS222⁺.1

文献标志码: A

文章编号: 1004-874X(2019)-0135-07

Research Progress on Chemical Composition, Extraction Technology and Physiological Activity of Chia Seed Oil

DU Jie^{1,2}, LI Wei², YANG Guohang¹, YANG Han², CAO Yong²

(1. Guangzhou Beiertai Biotechnology Co. Ltd, Guangzhou 511356, China; 2. College of Food Science, South China Agricultural University/ Guangdong Research Center for Engineering Technology in Bioactive Natural Products/ Guangdong Provincial Key Laboratory of Nutraceuticals and Functional Foods, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Chia seed is the seed of *Salvia Hispanica* L and native to North America. In recent years, it has drew the attention of researchers and scholars and has been applied in China because of its long history of consumption, rich nutrients, strong antioxidant effect and other characteristics. The main physiological activity of chia seeds is derived from oil, and the oil content is about 25.50%~29.40%. The content of α -linolenic acid, linoleic acid and other unsaturated fatty acids in chia seed oil is up to 80%, and the composition ratio of n-6 / n-3 fatty acids is very suitable for human dietary needs, which is a potential new functional oil. Chia seed oil contains sterols, tocopherols, squalene, carotenoids, polyphenol and other chemical components, which have a variety of physiological activities such as regulating blood lipid, anti-oxidation and

收稿日期: 2019-02-26

基金项目: 中央财政林业改革发展资金 (2017GDTK-07)

作者简介: 杜洁 (1990—), 男, 工程师, 研究方向为食品加工与安全, E-mail: dflytoch@163.com

通信作者: 曹庸 (1966—), 男, 苗族, 博士, 教授, 研究方向为食品科学与工程, E-mail: caoyong2181@scau.edu.cn

promoting tumor cell apoptosis. At present, the separation methods of chia seed oil at home and abroad include pressing method, leaching method and supercritical extraction method. Chia seed oil has good physiological activity function and can be promoted to the industries such food, health care products and cosmetics, with broad development prospects. At present, there are few studies on chia seed oil in China, and most of them are focused on functional research, with few reports on action mechanism, and the development and utilization of chia seed oil is also at the initial stage. In this paper, the chemical components and extraction methods of chia seed oil were reviewed, and the general research on its physiological activities were summarized. The development prospect of chia seed oil was proposed, so as to provide a basis for the development and utilization of chia seed oil resources.

Key words: Chia seed; new functional oil; high unsaturated fatty acids; oil processing; antioxidant; regulating blood lipid

奇亚又称奇雅子、奇亚籽，唇形科，是一种鼠尾草属的薄荷类草本植物；原产于墨西哥南部和危地马拉等北美地区，现广泛种植于玻利维亚、阿根廷、厄瓜多尔等地^[1]。奇亚的种子即为奇亚籽，呈椭圆形、籽粒偏小，颜色范围由咖啡色到米黄色。奇亚籽的食用历史悠久，有记载的时间超过 5 000 年，早在公元前 3500 年一度成为阿兹特克人和玛雅人所在的古代中美洲地区三大粮食作物之一。现代研究表明，奇亚籽富含脂肪酸、蛋白质、维生素、膳食纤维等多种活性物质，具有抗氧化、降血脂、改善心血管等功效^[2]，其商业价值越来越大。奇亚籽油作为奇亚籽中重要成分之一，因其富含 α -亚麻酸(ALA)和亚油酸(LA)等必需脂肪酸而备受青睐。有报道指出奇亚籽油具有良好调节血脂^[3]、抗氧化、促进肿瘤凋亡^[4]以及降血压^[5]等功效，是一种高品质油脂。Ullah 等^[6]报道奇亚籽中油脂占种子总质量 31.34%，其中多不饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、饱和脂肪酸的占比分别为 26.74%、1.79% 和 2.81%，油脂中的亚麻酸和亚油酸含量分别为 54%~67% 和 12%~21%。大量文献证明，高浓度的 n-3 脂肪酸能有效减低冠心病、高血压、II 型糖尿病、自身免疫性疾病和癌症患病风险^[7]。目前，我国奇亚籽油的研究尚属初级阶段，其化学成分、制备工艺以及生理功能仍需要深入研究。本文基于最新奇亚籽油的文献调研，综述奇亚籽油的化学成分、提取工艺和生理活性，并对奇亚籽油研究前景进行总结和展望，为奇亚籽油的深入开发和研究提供依据。

1 奇亚籽油的化学成分

奇亚籽油富含亚麻酸和亚油酸等人体必需脂肪酸，油中还含有甾醇、生育酚、角鲨烯、类胡萝卜素、多酚等微量元素，具有改善心血管疾病、

抗氧化、调节血脂、促进新陈代谢、调节激素水平等功效^[8]。

1.1 脂肪酸组成

奇亚籽油中含有多种不饱和脂肪酸，其中 α -亚麻酸和亚油酸含量最高，其次是油酸等。现有研究表明不饱和脂肪酸具有免疫调节、抗氧化及降血脂等功能^[9]。荣旭等^[10]在奇亚籽中共检测出 21 种脂肪酸，其中亚油酸、 α -亚麻酸含量分别为 22.43% 和 62.48%。此外，王志强等^[11]研究表明，奇亚籽油中脂肪酸含量高的还有油酸、棕榈酸和硬脂酸，分别为 6.90%~7.80%、7.10%~7.30% 和 3.20%~3.60%，比较墨西哥、危地马拉、秘鲁和美国的奇亚籽得油率和脂肪酸组成，结果表明，不同产地奇亚籽得油率为 25.50%~29.40%，脂肪酸组成主要是不饱和脂肪酸，其中亚麻酸含量最高，含量在 60.10%~62.90% 之间。相似研究^[12]指出奇亚籽油中多不饱和脂肪酸含量达 81.59%，其中亚麻酸含量达 62.80%，亚油酸含量为 18.23%。奇亚籽油是 n-3 和 n-6 脂肪酸的重要来源，因此该油可与这些化合物含量较低的其他油混合，提高复合油脂的必需脂肪酸含量，增加其潜在应用价值。

1.2 甾醇

甾醇是奇亚籽中的一种活性成分，具有维持体内胆固醇平衡和预防心血管疾病等作用。据报道，波兰的奇亚籽的油脂中甾醇含量为 6 653~7 665 mg/kg，平均为 7 061 mg/kg。其中， β -谷甾醇含量最高，占 55%，另外还含有樟脑甾醇、25-羟基-24-甲基胆固醇和豆甾醇（平均含量分别为 10.80%、8.90% 和 4.20%）^[13]。Magali 等^[14]测定了来自墨西哥哈利斯科州和锡那罗亚州奇亚籽油中的含量，分别为 12 600、8 159 mg/kg；也有发现含量较低的，比如 Ciftci 等^[15]检测巴西奇亚籽油甾醇含量为 4 132 mg/kg，Zanqui 等^[16]检测巴西奇亚

籽油中甾醇含量为 3 300 mg/kg。

1.3 生育酚

奇亚籽油中生育酚含量报道差异较大, 较低的有阿根廷原料来源的 129 mg/kg, 含量较高的有乌干达来源的 735 mg/kg, 平均为 600 mg/kg。其中 γ -生育酚含量占比达到 92%, 还有 α -生育酚含量 5%、 δ -生育酚含量 3%^[13]。Ixtaina 等^[17]测定奇亚籽油中生育酚含量为 238~427 mg/kg; Amato 等^[18]测得奇亚籽油中生育酚含量为 472~510 mg/kg。生育酚是一种脂溶性的维生素, 因其结构上含有大量羟基而具有优异抗氧化活性, 是重要的抗氧化剂之一。

1.4 其他成分

奇亚籽油中的角鲨烯含量为 11.08~29.86 mg/kg, 平均为 17.67 mg/kg, 其中 11.08 mg/kg 含量的奇亚籽来源于巴拉圭, 29.86 mg/kg 含量来源于阿根廷^[13]。

奇亚籽油中类胡萝卜素的含量取决于油脂的提取方法, 含量在 4.10~8.40 mg/kg 之间。而有关类胡萝卜素的组成报道不多, Dabrowski 等^[19]利用超临界萃取方法获得奇亚籽油中的类胡萝卜素, 有 2/3 为叶黄素, 约有 30% β -胡萝卜素和少量的 (9Z)-B-胡萝卜素。

奇亚籽油中多酚含量为 0.35~25.32 mg/kg, 平均为 9.66 mg/kg。Bodoira 等^[20]检测奇亚籽油中的多酚含量为 42 mg/kg, Oliveira 等^[21]检测结果为 20 mg/kg。前人的研究表明, 通过改变油脂提取工艺, 奇亚籽油中多酚的浓度可以在 0~172 mg/kg 范围内变化。报道的多酚物质包括咖啡酸、绿原酸、迷迭香酸、杨梅素、槲皮素和山奈酚等^[14]。

2 奇亚籽油的提取工艺

现阶段关于奇亚籽的研究多集中于营养成分和保健功能等方面, 而对其油脂的研究较少^[22]。目前, 油脂提取的传统方法包括压榨法、溶剂浸出法、超临界 CO₂ 萃取法、超声波辅助提取法、微波辅助提取法等。

2.1 压榨法

压榨法为传统油脂分离技术, 具有成本低、生产连续的优势, 主要分为热榨法和冷榨法。由于热榨会影响油脂的品质, 目前冷榨技术更被加工者所接受^[23]。Ixtaina 等^[17]研究了奇亚籽压榨的得油率、脂肪酸组成、理化性质和品质特征。通过螺杆进行冷榨, 通过加入液氮将压榨温度维持在 4 °C, 在该条件下, 奇亚籽的得油

率为 20.30%~24.80%。压榨得到的奇亚籽油脂酸主要为 α -亚麻酸 (64.50~66.70%) 和亚油酸 (17.50%~20.30%), 结果与 Ayerza^[24]所报道的一致。中小型油脂厂常选用螺杆压榨法生产油脂, 该方法因其成本低廉、可连续生产等优势而备受青睐。作为一种传统榨油方式, 压榨法生产适应性强、工艺操作简单^[25]。但压榨法也存在一些问题, 如得油率低、作业方式粗犷、劳动强度大等, 这些均在一定程度上限制其应用。

2.2 溶剂浸出法

浸出法是利用溶剂相似相容的原理, 通常采用 6 号溶剂提取油脂。原料粉碎后, 油料细胞壁被破坏, 溶剂能够有效地萃取暴露出来的油脂, 经过浸出后的油脂需要后续精制。宁伟伟等^[26]采用正己烷对奇亚籽饼原料进行浸提脱脂, 以脱脂后残油率为指标, 获得最优工艺条件为: 料液比 1:6、浸出温度 45 °C、时间 75 min、浸提 3 次, 在该条件下, 平均残油率为 0.56%。溶剂浸出法是一种比压榨法更先进的方式, 其得油率更高、品质好及成本低廉。Ixtaina 等^[17]指出奇亚籽溶剂浸出法得油率比压榨法得油率高 30%。但溶剂浸出法也存在油脂中溶剂残留、浸出的毛油需要二次精制等问题。现代油脂产业已经形成一整套完善的油脂提取和精制技术, 企业生产管理良好, 溶剂浸出法是一种很好的获取油脂方式。

2.3 超临界 CO₂ 萃取法

超临界 CO₂ 萃取技术原理是利用 CO₂ 流体对某些特殊物质具有特殊的溶剂作用, 利用温度和压力可以改变 CO₂ 的溶解能力而进行的提取方式^[27-29]。Ixtaina 等^[30-31]采用超临界 CO₂ 萃取技术从奇亚籽中提取富含 omega-3 脂肪酸的油脂, 并测定其理化性质。主要通过响应面考察萃取温度、萃取压力和萃取时间 3 个因素。结果显示萃取时间和压力对油脂得率的影响最大。在 45 MPa、80 °C、240 min 条件下, 奇亚籽得油提取率为 88.10%。相似研究^[30]指出超临界萃取时间和压力对奇亚籽得油率的影响最大, 45 MPa 条件下提取 300 min, 奇亚籽最高得油提取率为 92.80%。此时奇亚籽油具有高含量的 α -亚麻酸 (44.40%~63.40%) 和亚油酸 (19.60%~35.00%)。Rocha 等^[32]应用超临界 CO₂ 萃取技术萃取奇亚籽油, 发现在 40.8 MPa、80 °C、提取 10 h 的条件下, 奇亚籽的得油率为 25%, 且 omega-3 和 omega-6 的浓度在试验范围内不随温

度和压力的增加而降低。超临界 CO₂ 萃取技术有效地把极性大小、沸点高低和分子量大小的成分依次萃取出来, 具有萃取效率高、萃取物品质优异及环保等作用。但因设备一次性投入大、生产能力有限及成本高等特点, 一定程度上限制了该技术的广泛运用。

2.4 超声波辅助提取法

采用超声波辅助溶剂进行提取, 利用超声波的空化效应和搅拌作用, 加速植物细胞破裂, 降低溶剂渗透到细胞的时间, 提高效率。Mello 等^[33]采用 Box-Behnken 方法研究超声辅助萃取奇亚籽油的最佳工艺, 研究指出溶剂料液比和温度对奇亚籽得油率的影响最大, 最佳工艺条件下奇亚籽得油率为 27.24%, 此时萃取温度 50℃、料液比 12:1、萃取时间 40 min, 且超声前后奇亚籽油脂肪酸组成无显著变化, 但超声波辅助提取得油率高于传统工艺。Elvia 等^[34]指出奇亚籽提取前先进进行低温研磨, 提取时间 90 min、超声频率 40 kHz。超声波使萃取强化, 得油率为 79.30%, 而搅拌萃取得油率为 69.20%。相对于传统提取油脂方式, 超声波提取具有提取效率高、时间短及适应性广等特点。

2.5 微波辅助提取法

微波辅助提取是一种新型的萃取技术, 具有良好发展潜力。其原理主要是微波直接与目标物作用, 利用物料中不同成分的反应差异来提高目标物分离效率。微波辅助提取具有节能、安全及高效率等特点。张雯雯等^[35]以料液比、微波时间及功率为因素, 采用微波辅助法提取余甘子核仁油, 成功建立余甘子核仁得油率与各因素之间的数学模型。岳金霞等^[22]采用响应面法优化微波辅助提取奇亚籽油工艺, 研究表明料液比对奇亚籽得油率的影响最大, 微波时间和功率次之。当料液比 8:1 时, 以石油醚和正己烷混合液 (1:1) 为提取溶剂, 520 W 功率微波处理 12 min, 最优工艺条件下得油率为 90.02%。微波辅助提取也有一定的局限性, 这种技术会造成热敏物质变性失活。同时, 微波处理也具有选择性, 需要进一步完善该技术以达到最佳的辅助提取作用。

3 奇亚籽油的生理活性

2006 年澳大利亚健康与医疗委员会推荐, 食用油中 n-6/n-3 的比例为 (2~4): 1 时对人体最有益, 奇亚籽油因其富含不饱和脂肪酸 (80% 以

上), 且脂肪酸组成比例适中, 故其可作为一种潜在的理想食用油。多项研究^[20, 36]表明, 奇亚籽油具有降血脂、抗氧化、促进肿瘤细胞凋亡等作用。

3.1 降血脂

不合理的饮食容易导致血清中胆固醇、低密度脂蛋白和甘油三酯过高, 血脂、血蛋白代谢出现问题, 这是引起诱发心血管疾病的因素之一^[37]。现代研究表明, α -亚麻酸和亚油酸能温和调节血脂、脂蛋白的代谢, 促进血浆脂蛋白从低密度向高密度转化, 从而达到明显的降血脂作用, 防止动脉粥样硬化。奇亚籽可降低甘油三酯和低密度脂蛋白, 间接使 ω -3 多不饱和脂肪酸和高密度脂蛋白含量提高^[38-39]。将 α -亚麻酸加入饲料中, 能够显著降低实验鼠的胆固醇和甘油三酯。Sierra 等^[3]通过喂养家兔添加了 10% 奇亚籽油的饲料, 发现奇亚籽油能够抑制血管紧张素 II 和去甲肾上腺素的收缩反应, 进而改善高胆固醇血症条件下的血管功能。 α -亚麻酸是 EPA 和 DHA 前体物质, 其中 EPA 可降低血浆中甘油三酯, DHA 降低总胆固醇^[8]。因此 α -亚麻酸通过降低血浆中甘油三酯和总胆固醇含量, 达到调节血脂的作用。OOMEN^[40]研究表明, 降低血清中总胆固醇是 α -亚麻酸调节血脂的最重要方式, 它能刺激胆固醇以皮脂的形式从皮肤排出, 也可以抑制血浆中内源性胆固醇的生成。

3.2 抗氧化

奇亚籽油脂肪酸组成中含有较多的不饱和脂肪酸, 因此具有特定的抗氧化活性; 同时奇亚籽油含有少量抗氧化活性成分, 如生育酚、类胡萝卜素和甾醇等。因此, 奇亚籽油具有潜在的清除体内自由基或者延缓自由基形成的作用。正常情况下, 体内氧自由基处于动态平衡的状态; 某些病理状态下, 机体需要补充外源性的抗氧化活性物质以延缓或者防止氧化损伤。Marineli 等^[14,36]研究了奇亚籽油的抗氧化活性, 通过实验鉴定出奇亚籽油中含有杨梅素、槲皮素、山羊毛酚、绿原酸等强抗氧化成分, 动物实验显示奇亚籽油喂养组的大鼠血浆和肝脏抗氧化能力分别提高 35% 和 47% 左右, 证实奇亚籽可以改善膳食诱导肥胖大鼠的抗氧化能力, 降低脂质过氧化, 从而降低体内氧化应激。生育酚被认为是植物油的主要抗氧化剂, 试验结果显示, 油脂的抗氧化能力与其中的多酚和生育酚总含量呈正相关^[41]。相似研究^[42]指出富含不饱和脂肪酸的火麻仁油具有比

普通大豆油更高的抗氧化活性,这与火麻仁油中的不饱和脂肪酸和酚类关系密切。奇亚籽油含有大量不饱和脂肪酸和酚类物质,这些都有助于提高其抗氧化能力和降低其脂质自氧化产物^[12]。

3.3 促进肿瘤细胞凋亡

研究表明, n-3 多不饱和脂肪酸通过调节免疫系统和脂质过氧化等途径,对预防肿瘤和抗击癌症具有一定作用^[8]。富含多不饱和脂肪酸的奇亚籽油可抑制动物肿瘤细胞的生长。实验表明,食用添加奇亚籽油的大鼠肿瘤重量明显减轻。奇亚籽油可降低肿瘤重量,促进细胞凋亡,抑制有丝分裂^[43]。奇亚籽油对 EPA 的产生起到促进作用, EPA 搭配血管抑制生成剂可有效提高乳腺癌细胞的凋亡率^[44]。Espada 等^[45]提出 EPA 可能通过促进半胱天冬酶活性,增加程序性细胞死亡的速率,从而具有直接的凋亡作用。Wiggins 等^[4]证实,奇亚籽油的主要成分亚麻酸代谢产生的 DHA 能有效影响核转录因子表达,导致肿瘤细胞线粒体损伤,促进了肿瘤细胞凋亡,影响肿瘤细胞的产生和发展。

3.4 其他生理活性

α -亚麻酸能改善人体对胰岛素的敏感性,有利于糖尿病的预防和改善。研究发现,摄入过多饱和脂肪酸会提高糖尿病患病几率,奇亚籽油富含不饱和脂肪酸,特别是 α -亚麻酸,显著缓解糖尿病的病情和预防糖尿病发生^[46]。奇亚籽油中 ω -3 脂肪酸能够降低人体中甘油三酯和胆固醇水平,奇亚籽能够显著降低实验小鼠的体重,改善肥胖机体的危险指标^[47],同时可以降低血压、预防血栓生成。奇亚籽油中的 α -亚麻酸经过人体代谢会形成 DHA、EPA,能够提高人体智力、记忆力并保护视力^[48]。

4 展望

奇亚籽油作为一种新型功能性油脂,其 α -亚麻酸、亚油酸含量高达 80% 以上,是人体补充 n-3、n-6 脂肪酸的油脂来源,奇亚籽油中还含有较多甾醇、生育酚、角鲨烯、类胡萝卜素、多酚等活性物质,高含量的 α -亚麻酸和抗氧化物质,使得奇亚籽油表现出调节血脂、抗氧化、促进肿瘤细胞凋亡等多种生理活性,因此奇亚籽油具备较高营养价值,是一种具有良好潜质的保健品资源。现在市售奇亚籽油产品种类繁多,在食品、保健品等相关行业均有所涉及,应用前景十分广阔。

现阶段国内关于奇亚籽油的研究较少,开发利用属于初级阶段。一方面受限于奇亚籽原材料的获取,另一方面关于奇亚籽油的宣传较少,普通大众鲜有人知其优异的功能特性,难以形成品牌效应。此外,奇亚籽油在我国的制备工艺还不成熟,产品品质难以保证。现有国内研究大多停留奇亚籽油功能研究层面,鲜有研究关注其作用机理,难以形成全方位、多层次、科学性的产品形象。为加快开展对奇亚籽油的资源开发,笔者认为企业家以及研究人员可从优质可控的奇亚籽原料、实用性强的奇亚籽油加工技术以及奇亚籽油功能作用机理 3 个方面对奇亚籽油进行深入探讨和研究。总之,奇亚籽油具有良好的生理活性功能,是一种潜在的新型功能油脂,可推广至食品、保健品、化妆品行业,发展前景广阔。

参考文献 (References) :

- [1] IXTAINA V Y, NOLASCO S M, TOMÁS M C. Physical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds [J]. *Industrial Crops and Products*, 2008,28(3):286-293. doi: 10.1016/j.indcrop.2008.03.009.
- [2] 李晓娇, 郜玉钢, 张连学, 何忠梅. 奇亚籽化学成分、药理作用及产品开发的研究进展 [J]. *粮食与油脂*, 2018, 31(5) : 8-10. LI X J, HAO Y G, ZHANG L X, HE Z M. Advances in chemical constituents, pharmacological action and product development of chia seeds [J]. *Cereals&Oils*, 2018,31(5):8-10.
- [3] SIERRA L, ROCO J, ALARCON G, MEDINA M, VAN N C, PERAL B M, JEREZ S. Dietary intervention with *Salvia hispanica* (Chia) oil improves vascular function in rabbits under hypercholesterolaemic conditions [J]. *Journal of Functional Foods*, 2015,14:641-649. doi: 10.1016/j.jff.2015.02.042.
- [4] WIGGINS A K A, MASON J K, THOMPSON L U. Growth and gene expression differ over time in alpha-linolenic acid treated breast cancer cells [J]. *Experimental Cell Research*, 2015,333(1):147-154. doi: 10.1016/j.yexcr.2015.02.020.
- [5] SHANTAKUMARI N, ELDEEB R A, IBRAHIM S A, SREEDHARAN J, OTOUM S. Effect of PUFA on patients with hypertension: A hospital based study [J]. *Indian Heart Journal*, 2014,66(4):408-414. doi: 10.1016/j.ihj.2014.05.006.
- [6] ULLAH R, NADEEM M, KHALIQUE A, IMRAN M, MEHMOOD S, JAVID A, HUSSAIN J. Nutritional and therapeutic perspectives of Chia (*Salvia hispanica* L.): a review [J]. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 2016,53(4):1750-1758. doi: 10.1007/s13197-015-1967-0.
- [7] DA S B P, ANUNCIACAO P C, DA S M J C, DELLA L C M, DUARTE M H S, PINHEIRO-SANT'ANA H M. Chemical composition of Brazilian chia seeds grown in different places [J]. *Food Chemistry*, 2017,221:1709-1716. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.10.115.
- [8] 岳昊, 徐志祥, 刘翠平, 宝黎, 陈亮, 杜方岭, 徐同成. 奇亚籽油的健康功效 [J]. *中国油脂*, 2018, 43(7) : 124-128.

- YUE H, XU Z X, LIU C P, BAO L, CHEN L, DU F L, XU T C. Health effects of Chia seed oil [J]. *China Oils and Fats*, 2018,43(7):124-128.
- [9] PRESCHA A, GRAJZER M, DEDYK M, GRAJETA H. The antioxidant activity and oxidative stability of cold-pressed oils [J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2014,91(8):1291-1301. doi: 10.1007/s11746-014-2479-1.
- [10] 荣旭, 陶宁萍, 李玉琪, 顾赛琪. 奇亚籽营养成分分析与评价 [J]. 中国油脂, 2015 (9) : 89-93.
RONG XU, TAO N P, LI Y Q, GU S Q. Nutritional composition analysis and evaluation of chia seeds [J]. *China Oils and Fats*, 2015(9):89-93.
- [11] 王志强, 罗锦霞, 张方圆, 李维嘉, 蔡大川, 林晨, 廖正福. 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.
WANG Z Q, LUO J X, ZHANG F Y, LI W J, CAI D H, LIN CHEN, LIAO Z F. Analysis of oil content and fatty acid composition of chia seeds [J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2018,46(6):71-72.
- [12] MARINELI R S, MORAES E A, LENQUISTE S A, GODOY A T, EBERLIN M N, MAROSTICA M R. Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica* L.) [J]. *Lwt - Food Science and Technology*, 2014,59(2):1304-1310. doi: 10.1016/j.lwt.2014.04.014.
- [13] DABROWSKI G, KONOPKA I, CZAPLICKI S. Variation in oil quality and content of low molecular lipophilic compounds in chia seed oils [J]. *International Journal of Food Properties*, 2018,21(1):2016-2029. doi: 10.1080/10942912.2018.1501699.
- [14] MAGALI A L, LOS A V M, LOURDES A M, TECANTE A. Chemical characterization of the lipid fraction of Mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.) [J]. *International Journal of Food Properties*, 2008,11(3):687-697. doi: 10.1080/10942910701622656.
- [15] CIPTCI O N, PRZYBYLSKI R, RUDZINSKA M. Lipid components of flax, perilla, and chia seeds [J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2012,114(7):794-800. doi: 10.1002/ejlt.201100207.
- [16] ZANQUI A, MORAIS D R, SILVA C M, SANTOS J M, CHIAVELLI L U, BITTENCOURT P R S, EBERLIN M N, VISENTAINER J V, CARDOZO-FILHO L, MATSUSHITA M. Subcritical extraction of *Salvia hispanica* L. Oil with N-propane: composition, purity and oxidation stability as compared to the oils obtained by conventional solvent extraction methods [J]. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 2015,26(2):282-289. doi: 10.5935/0103-5053.20140278.
- [17] IXTAINA V Y, MARTINEZ M L, SPOTORNO V, MATEO C M, MAESTRI D M, DIEHL B W K, NOLASCO S M, TOMAS M C. Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2011,24(2):166-174. doi: 10.1016/j.jfca.2010.08.006.
- [18] AMATO M, CARUSO M C, GUZZO F, GALGANO F, COMMISSO M, BOCHICCHIO R, LABELLA R, FAVATI F. Nutritional quality of seeds and leaf metabolites of Chia (*Salvia hispanica* L.) from Southern Italy [J]. *European Food Research and Technology*, 2015,241(5):615-625. doi: 10.1007/s00217-015-2488-9.
- [19] DABROWSKI G, KONOPKA I, CZAPLICKI S, TANSKA M. Composition and oxidative stability of oil from *Salvia hispanica* L. seeds in relation to extraction method [J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2017,119(UNSP 16002095). doi: 10.1002/ejlt.201600209.
- [20] BODOIRA R M, PENCI M C, RIBOTTA P D, MARTINEZ M L. Chia (*Salvia hispanica* L.) oil stability: Study of the effect of natural antioxidants [J]. *Lwt-Food Science and Technology*, 2017,75:107-113. doi: 10.1016/j.lwt.2016.08.031.
- [21] OLIVEIRA A S C, VENDRAMINI-COSTA D B, BETIM C C B, MAROSTICA M R J, BORGES F J P, SILVA A B, PRADO M AL, BRONZE M R. Characterization of phenolic compounds in chia (*Salvia hispanica* L.) seeds, fiber flour and oil [J]. *Food Chemistry*, 2017,232:295-305. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.04.002.
- [22] 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. doi: 10.16433/j.cnki.issn1673-2383.2018.02.012.
YUE J X, PENG D, XU X H. Optimization of microwave-assisted extraction of chiya seed oil by response surface methodology [J]. *Journal of Henan University of Technology Natural Science Edition*, 2018,39(2):72-77. doi: 10.16433/j.cnki.issn1673-2383.2018.02.012.
- [23] 刘玉兰, 陈刘杨, 汪学德, 胡小东. 不同压榨工艺对芝麻油和芝麻饼品质的影响 [J]. 农业工程学报, 2011 (6) : 382-386.
LIU Y L, CHEN L Y, WANG X D, HU X D. Effects of different pressing processes on the quality of sesame oil and sesame cake [J]. *Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011(6):382-386.
- [24] AYERZA R. Oil content and fatty acid composition of Chia (*Salvia hispanica* L.) from five northwestern locations in Argentina [J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1995,72(9):1079-1081. doi: 10.1007/BF02660727.
- [25] 沈佳奇, 徐俐, 舒德保, 任群利, 王凯燕, 蒋雁. 正交试验优化液压法榨取油茶籽油工艺研究 [J]. 广东农业科学, 2014, 41 (13) : 83-86. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2014.13.006.
SHEN J Q, XU LI, SHU D B, REN Q L, WANG K Y. Study on optimizing hydraulic pressing technology of *Camellia oleifera* seed oil by orthogonal test [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014, 41(13):83-86. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2014.13.006.
- [26] 宁伟伟, 陶宁萍, 荣旭, 上官靖, 李腾飞. 响应面法优化奇亚籽饼脱脂工艺研究 [J]. 中国油脂, 2016 (7) : 20-23.
NING W W, TAO N P, RONG X, SHANG G J, LI T F. Study on Optimization of degreasing process of Chia seed cake by response surface methodology [J]. *China Oils and Fats*, 2016(7):20-23.
- [27] ALADIC K, JARNI K, BARBIR T, VIDOVIC S, VLADIC J, BILIC M, JOKIC S. Supercritical CO₂ extraction of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed oil [J]. *Industrial Crops and Products*, 2015,76:472-478. doi: 10.1016/j.indcrop.2015.07.016.
- [28] 郭宁平. CO₂ 超临界萃取法提取苦瓜籽油及其 GC-MS 分析 [J]. 广东农业科学, 2013, 40 (11) : 77-79. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2013.11.051.
GUO N P. Extraction of *Momordica charantia* seed oil by CO₂ supercritical extraction and its GC-MS analysis [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2013, 40(11):77-79. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2013.11.051.
- [29] 刘佳, 李琼, 黄惠芳, 周汉林, 周璐丽. 海南黄灯笼辣椒油脂的

- 超临界 CO₂ 提取工艺优化及 GC-MS 分析 [J]. 广东农业科学, 2015, 42 (6) : 80-87. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2015.06.009.
- LIU J, LI Q, HUANG H F, ZHOU H L, ZHOU L L. Supercritical CO₂ extraction of *Capsicum oleoresin* from Hainan Yellow Lantern and GC-MS analysis [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2015,42(6):80-87. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2015.06.009.
- [30] IXTAINA V Y, VEGA A, NOLASCO S M, TOMAS M C, GIMENO M, BARZANA E, TECANTE A. Supercritical carbon dioxide extraction of oil from Mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.): Characterization and process optimization [J]. *Journal of Supercritical Fluids*, 2010,55(1):192-199. doi: 10.1016/j.supflu.2010.06.003.
- [31] IXTAINA V Y, MATTEA F, CARDARELLI D A, MATTEA M A, NOLASCO S M, TOMAS M C. Supercritical carbon dioxide extraction and characterization of argentinean Chia seed oil [J]. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 2011,88(2):289-298. doi: 10.1007/s11746-010-1670-2.
- [32] ROCHA U J A, NOVELO P J I, CASTILLO K H, ROSADO R G, GUILLERMO A C. Extraction of oil from chia seeds with supercritical CO₂ [J]. *Journal of Supercritical Fluids*, 2011,56(2):174-178. doi: 10.1016/j.supflu.2010.12.007.
- [33] MELLO B T F, DOS S G V A, SILVA C. Ultrasound-assisted extraction of oil from chia (*Salvia hispanica* L.) Seeds: Optimization extraction and fatty acid profile [J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2017,40(e122981). doi: 10.1111/jfpe.12298.
- [34] ELVIA R M M, CORIA-HERNANDEZ J, MELENDEZ-PEREZ R, ARJONA-ROMAN J L. Characteristics of Chia (*Salvia hispanica* L.) seed oil extracted by ultrasound assistance [J]. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 2017,61(4):326-335.
- [35] 张雯雯, 张弘, 郑华, 李坤, 冯颖, 甘瑾, 侯彬, 李成强. 余甘子核仁油的微波辅助萃取工艺优化及脂肪酸组成分析 [J]. 食品科学, 2013, 34 (20) : 13-18.
- ZHANG W W, ZHANG H, ZHENG H, LI K, FENG Y, GAM J, HOU B, LI C Q. Microwave-assisted extraction of phyllanthus emblica kernel oil and analysis of fatty acids composition [J]. *Food Science*, 2013,34(20):13-18.
- [36] MARINELI R D S, LENQUISTE S A, MORAES E A, MAROSTICA M R. Antioxidant potential of dietary chia seed and oil (*Salvia hispanica* L.) in diet-induced obese rats [J]. *Food Research International*, 2015,76:666-674. doi: 10.1016/j.foodres.2015.07.039.
- [37] 萧冈, 李全胜. 火麻仁油与藻油混合物对营养肥胖大鼠的降脂减肥作用研究 [J]. 湖北中医药大学学报, 2016 (4) : 12-15.
- XIAO MIN, LI Q S. Effect of mixture of cannabis seed oil and algae oil on reducing fat and weight in obese rats [J]. *Journal of Hubei University of Chinese Medicine*, 2016(4):12-15.
- [38] MUNOZ L A, COBOS A, DIAZ O, MIGUEL A J. Chia seed (*Salvia hispanica*): An ancient grain and a new functional food [J]. *Food Reviews International*, 2013,29(4):394-408. doi: 10.1080/87559129.2013.818014.
- [39] HO H, LEE A. S, JOVANOVSKI E, JENKINS A L, DESOUSA R, VUKSAN V. Effect of whole and ground Salba seeds (*Salvia hispanica* L.) on postprandial glycemia in healthy volunteers: a randomized controlled, dose-response trial [J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2013,67(7):786-788. doi: 10.1038/ejcn.2013.103.
- [40] OOMEN C M, OCKÉ M C, FESKENS E J, KOK F J, Kromhout D. Alpha-Linolenic acid intake is not beneficially associated with 10-y risk of coronary artery disease incidence: the Zutphen Elderly study [J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2001,74(4):457-463. doi: 10.1016/S0163-7827(01)00015-7.
- [41] FARHOOSH R, HOSEINI-YAZDI S Z. Shelf-life prediction of olive oils using empirical models developed at low and high temperatures [J]. *Food Chemistry*, 2013,141(1):557-565. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.03.024.
- [42] 陈则华, 陈彤, 李伟, 刘飞, 杜洁, 冯孔龙, 曹庸. 火麻仁油提取、化学成分及功能研究进展 [J]. 食品与机械, 2018 (6) : 192-196. doi: 10.13652/j.issn.1003-5788.2018.06.038.
- CHEN Z H, CHEN T, LI W, LIU F, DU J, FENG K L, CAO Y. Advances in extraction, chemical constituents and functions of cannabis seed oil [J]. *Food & Machinery*, 2018(6):192-196. doi: 10.13652/j.issn.1003-5788.2018.06.038.
- [43] PARKER J, SCHELLENBERGER A N, ROE A L, OKETCH-RABAH H, CALDERON A I. Therapeutic perspectives on chia seed and its oil: a review [J]. *Planta Med*, 2018,84(9-10):606-612. doi: 10.1055/a-0586-4711.
- [44] FERRUCCI L, CHERUBINI A, BANDINELLI S, BARTALI B, CORSI A, LAURETANI F, MARTIN A, ANDRES-LACUEVA C, SENIN U, GURALNIK J M. Relationship of plasma polyunsaturated fatty acids to circulating inflammatory markers [J]. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 2006,91(2):439-446. doi: 10.1210/jc.2005-1303.
- [45] ESPADA C E, BERRA M A, MARTINEZ M J, EYNARD A R, PASQUALINI M E. Effect of Chia oil (*Salvia hispanica*) rich in omega-3 fatty acids on the eicosanoid release, apoptosis and T-lymphocyte tumor infiltration in a murine mammary gland adenocarcinoma [J]. *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 2007,77(1):21-28. doi: 10.1016/j.plefa.2007.05.005.
- [46] GHAFORUNISSA, IBRAHIM A, NATARAJAN S. Substituting dietary linoleic acid with alpha-linolenic acid improves insulin sensitivity in sucrose fed rats [J]. *Biochimica Et Biophysica Acta-Molecular and Cell Biology of Lipids*, 2005,1733(1):67-75. doi: 10.1016/j.bbalip.2004.12.003.
- [47] TAKAHASHI Y, IDE T. Dietary n-3 fatty acids affect mRNA level of brown adipose tissue uncoupling protein 1, and white adipose tissue leptin and glucose transporter 4 in the rat [J]. *British Journal of Nutrition*, 2000,84(2):175-184. doi: 10.1017/S0007114500001409.
- [48] BURDGE G C, CALDER P C. Conversion of alpha-linolenic acid to longer-chain polyunsaturated fatty acids in human adults [J]. *Reproduction Nutrition Development*, 2005,45(5):581-597. doi: 10.1051/rnd:2005047.