

奇亚籽油的健康功效

岳昊^{1,2},徐志祥²,刘翠平³,宝黎³,陈亮³,杜方岭¹,徐同成¹

(1. 山东省农业科学院农产品研究所,山东省农产品精深加工技术重点实验室,农业部新食品资源加工重点实验室,济南250100; 2. 山东农业大学食品学院,山东泰安271000; 3. 阿胡斯卡尔斯油脂(张家港)有限公司,江苏张家港215600)

摘要:奇亚籽是一种我国批准的新食品原料,因其含有极为丰富的多不饱和脂肪酸而受到保健食品市场的关注。奇亚籽油是以奇亚籽为原料开发的油脂产品,在全球各个国家均有生产和销售。现有研究证明,奇亚籽油具有预防心脑血管疾病、改善糖尿病、抑制肥胖等保健功效,是一种值得深入开发的油脂产品。对奇亚籽的种植及营养进行概述,主要从脂肪酸角度讨论了奇亚籽油的健康功效及原理与机制,旨在为以后关于奇亚籽油的研究提供方向及指导。

关键词:奇亚籽;奇亚籽油;健康功效;作用机制

中图分类号:TS224;TS221

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2018)07-0124-05

Health benefits of Chia seed oil

YUE Hao^{1,2}, XU Zhixiang², LIU Cuiping³, BAO Li³, CHEN Liang³,
DU Fangling¹, XU Tongcheng¹

(1. Key Laboratory of Novel Food Resources Processing, Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Agro-Products Processing Technology of Shandong Province, Institute of Agro-Food Science and Technology, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China; 2. School of Food Science and Technology, Shandong Agricultural University, Tai'an 271000, Shandong, China; 3. AAK Zhangjiagang Ltd., Zhangjiagang 215600, Jiangsu, China)

Abstract: Chia seed is the new approved food material resource in China, and it has attracted the attention of the health care food market because of its plentiful polyunsaturated fatty acids. Chia seed oil is oil products of Chia seeds. It was produced and sold in countries all over the world. The present study shows that Chia seed oil has the healthy function in cardiovascular prevention, diabetes improvement, obesity inhibition, etc., and it is a kind of oil product worth for further development. The planting and nutrition of Chia seed were summarized, and the health benefits and principle mechanism of Chia seed oil were discussed mainly from fatty acid aspect, in order to provide direction and guidance for future research of Chia seed oil.

Key words: Chia seed; Chia seed oil; health benefit; mechanism

奇亚,学名芡欧鼠尾草,属于唇形科,是一年生的夏季草本植物,其植株高度大多在1~1.5 m之间,茎为四边形上覆白色绒毛^[1]。奇亚的种子为奇

亚籽,奇亚籽的个头较小,通常为长1.77~1.97 mm、宽1.13~1.29 mm、厚0.84~0.92 mm,椭圆形,外表光滑有光泽同时带有小黑点,奇亚籽颜色范围由深到浅为深咖啡色到米黄色。奇亚籽有记载的食用时间超过5 000年,早在公元前3 500年,奇亚籽就广泛流行于阿兹特克人和玛雅人所在的古代中美洲地区,16世纪的门多萨提供的证据表明,奇亚籽在当时是当地人民三大粮食作物之一,但由于西班牙的殖民,当地奇亚籽种植业遭到破坏。随着人

收稿日期:2017-12-11;修回日期:2018-04-29

基金项目:山东省农业科学院农业科技创新工程(CXGC2016B16);国家自然科学基金项目(31401487)

作者简介:岳昊(1995),男,在读硕士,研究方向为特殊医学用途配方食品(E-mail)942322520@qq.com。

通信作者:徐同成,副研究员,博士(E-mail)xtc@live.com。

们生活品质的进步,各国人民保健意识的不断提高和对健康的向往愈发强烈,在大约25年前,奇亚籽作为食品在欧美再次被发掘,2005年,美国食品药品监督管理局将奇亚籽列为可食用的安全食品,2009年欧盟也许可奇亚籽添加到面包中,2014年我国卫生和计划生育委员会批准奇亚籽为新食品原料。奇亚籽当前取得的巨大关注不仅因其脂肪酸组成,也因为奇亚籽中含有的不溶性膳食纤维、植物蛋白、矿物质、多酚物质和其具有的高抗氧化活性^[2],这令奇亚籽的需求在功能性食品市场显著增加,因此目前奇亚籽在全球许多地区和国家都有种植生产。本文在对奇亚籽种植与营养概述的基础上,从脂肪酸角度对奇亚籽油的健康功效进行综述,为奇亚籽油的深度开发利用提供参考。

1 奇亚籽的种植与营养

1.1 奇亚籽的种植情况

已发现的奇亚籽可以分为白色种子和黑色种子两大类,深色的种子在宽度、厚度以及重量上均小于浅色的种子^[3]。Ayerza^[4]实验证明种皮的颜色与其所含蛋白质、油脂、氨基酸、抗氧化物质含量无相关性,不同颜色的种子营养成分基本相同。

芡欧鼠尾草主要生长在海拔1 200 m左右的高原荒漠地区,虽然其最早是在墨西哥种植,但最初商业生产仅集中在玻利维亚和巴拉圭等特定地区,在过去10年,墨西哥、澳大利亚、阿根廷等国也开始了大面积种植^[5]。目前,玻利维亚是奇亚籽出口量最大的国家,最近几年玻利维亚芡欧鼠尾草的种植面积从最初的50 000 hm²增长到80 000 hm²,在2014年玻利维亚的奇亚籽产量从过去的350 kg/hm²提高到650 kg/hm²,年总产量也从18 000 t增加到30 000 t。奇亚籽的另一个主要产地是墨西哥,2013年墨西哥奇亚籽最大的3个种植区域分别是哈利斯科(17 739 hm²),普埃布拉(336 hm²)和锡那罗亚(80 hm²),共18 155 hm²,平均产量达到470 kg/hm²,2014年墨西哥成功地将奇亚籽产量从2013年的470 kg/hm²提高到600 kg/hm²。在阿根廷和巴拉圭,在适宜奇亚籽生长的环境,其产量可以达到800~900 kg/hm²^[6]。总的来说,目前奇亚籽平均产量为500~600 kg/hm²。

1.2 奇亚籽的营养成分

由于芡欧鼠尾草产地、品种的不同,奇亚籽内的营养成分含量并不完全相同^[7]。研究发现^[8]奇亚籽内水分极少,干物质含量达到90%~93%;蛋白质含量15%~25%,其蛋白质相对分子质量分布在

15~50 kDa,球蛋白含量占52%;碳水化合物含量41%,灰分含量4%~5%。奇亚籽中矿物质含量丰富,其中钙631 mg/100 g(相当于牛奶的6倍)、钾407 mg/100 g、镁335 mg/100 g、磷860 mg/100 g、铁7.72 mg/100 g(是菠菜的6倍,动物肝脏的2.4倍);脂肪含量30%~33%,其中不饱和脂肪酸含量高于80%;膳食纤维含量34%~40%,每100 g含量就可满足成年人每日膳食纤维建议摄入量。

奇亚籽的氨基酸组成齐全,含量较高的有谷氨酸(4 g/100 g)、亮氨酸(1.6 g/100 g)、精氨酸(2.4 g/100 g),必需氨基酸总量达到35%左右^[9]。

2 奇亚籽油的脂肪酸组成(见表1)

表1 奇亚籽油主要脂肪酸组成^[10]

脂肪酸	含量/%
豆蔻酸 C14:0	0.04
棕榈酸 C16:0	7.47
棕榈油酸 C16:1	0.06
硬脂酸 C18:0	0.29
油酸 C18:1 n-9	2.43
亚油酸 C18:2 n-6	20.40
α -亚麻酸 C18:3 n-3	68.52
花生酸 C20:0	0.15

由表1可看出,奇亚籽油中饱和脂肪酸主要有棕榈酸和硬脂酸,含量分别为7.47%和0.29%;不饱和脂肪酸中单不饱和脂肪酸主要是油酸,含量为2.43%;多不饱和脂肪酸主要是 α -亚麻酸和亚油酸,含量分别为68.52%和20.40%,相比来说奇亚籽油中的多不饱和脂肪酸含量远高于绝大多数食用油。

3 奇亚籽油的健康功效

流行病学和科学研究结果显示脂肪摄入量和脂肪酸类型与某些疾病的发生紧密相关,包括冠心病(CHD)、癌症、糖尿病、抑郁症等,在这方面,不饱和脂肪酸对饱和脂肪酸和反式脂肪酸的膳食摄入量的替代已成为食品与营养研究的重点。奇亚籽油内的 α -亚麻酸(ALA)和亚油酸(LA)的含量极高,这两个必需脂肪酸占脂肪酸组成的80%以上。奇亚籽油的 α -亚麻酸(ALA)含量远高于亚麻籽油(50%~53%)、菜籽油(8.1%)、大豆油(7.6%)、葵花籽油(1.8%)。因为这些必需脂肪酸的存在,也使得奇亚籽油拥有许多令人瞩目的健康功效^[11]。包括以下几个方面。

3.1 预防心脑血管疾病的发生

奇亚籽油中不仅含有大量的 α -亚麻酸(ALA),还有丰富且比例合适的亚油酸(LA)。有证

据证明,体内的胆固醇需与亚油酸相互结合,才可以实现体内血液正常的代谢和运转,体内亚油酸的含量不足时,胆固醇就会与饱和脂肪酸相互结合,导致动脉壁变厚,阻碍机体的代谢,逐渐演发成为动脉粥样硬化,诱导心脑血管疾病的发作^[12]。

3.1.1 降低血压

原发性高血压是包括遗传、环境、心理和饮食导致的免疫内分泌失调等各类致病因素相互作用而引发的多因素综合征,其临床表现为循环动脉血管压力增高。有研究证实高血压的产生、进一步发展和转化与肾素-血管紧张素系统及下游丝裂原活化蛋白激酶(MAPK)信号通路的异常活化有着密切的关系。膳食多不饱和脂肪酸能进入生物膜脂层,增加膜的流动性、改变细胞内的脂筏结构、膜通透性以及离子交换通道等一系列途径影响血压^[13]。奇亚籽油中含有极为丰富的 α -亚麻酸,Shantakumari等^[14]发现 α -亚麻酸可以显著提升降血压效果,其作用机制不仅包括大幅度降低血清同型半胱氨酸、低密度脂蛋白水平和血浆内总胆固醇含量,还能够明显降低动脉血管的收缩压、血浆中Ang II(血管紧张素II)/Ang(1-7)(血管紧张素1-7)比值,抑制机体内主动脉内的血管紧张素转化酶mRNA表达、降低p-38MAPK与p-Erk的蛋白水平,并大幅度提高主动脉内Mas受体mRNA的表达,从而达到降低血压、预防高血压的功效。

3.1.2 预防血栓的生成

血栓主要分为两大类,一类是血液凝固而产生的血栓,另一类是脂质栓子所导致的心血管血栓。目前通过药物对血栓的治疗只能针对其中的某一致病因素起效,而 α -亚麻酸可以起到更为全面的心血管预防和治疗效果。Renaud等^[15]实验证明 α -亚麻酸在酶的作用下,在人体内生成DHA和EPA等多不饱和脂肪酸和前列腺环素(PG)可以抑制血栓的形成。 α -亚麻酸所生成的EPA又能生成PGG₃(前列腺环素),PGG₃可以转化为PGH₃(前列腺环素),PGH₃进一步可以生成PGI₃和TXA₃(血栓素A₃),PGI₃是前列腺环素,其合成受到 α -亚麻酸的影响^[16],其作用主要有:改善机体血液循环、扩张动脉血管、抑制血浆中的血小板凝集等。TXA₃在血管中所产生的效果与PGI₃相似,也能够抑制血小板的凝集、扩张血管。此外, α -亚麻酸还可以改变cAMP(环磷腺苷)的浓度,环磷腺苷可以降低血小板内环氧化酶的活性,使得TXA₂(血栓素A₂)的产生量降低,抑制血液凝集,进而预防血栓的产生^[17]。

3.2 调节血脂

α -亚麻酸和亚油酸对血脂的代谢和脂蛋白的

代谢都有影响。相比来说, α -亚麻酸的降脂效果更加明显^[18]。Sierra等^[19]通过实验证明在饲料中添加10%奇亚籽可以抑制兔子甘油三酯(TG)升高和增加 α -亚麻酸水平。不同种类的 ω -PUFA(ω -3脂肪酸)降脂效果存在区别,EPA可以降低血浆中甘油三酯的含量,DHA可以降低血浆中总胆固醇(TC),而 α -亚麻酸为DHA和EPA前体,因此其在对血脂调节时能够起到全面降低血浆中脂肪含量的作用^[20]。 α -亚麻酸对血脂的调节作用主要体现在降低甘油三酯和血清总胆固醇的含量、提高血清高密度脂蛋白水平几个方面,其中最关键的是降低血清总胆固醇。在降低血清总胆固醇时, α -亚麻酸主要从两方面起作用,一方面加快胆固醇转化为中性固醇和胆酸通过正常排泄排出,或是刺激胆固醇以脂质的形态从皮肤表面排出。另一方面是抑制血浆中内源性胆固醇的产生, α -亚麻酸通过抑制HMG-CoA还原酶的活性来抑制肝脏合成胆固醇,提高血浆中LDL(低密度脂蛋白)受体mRNA的活性,促使血浆中LDL被吸收,进而减少血清中的总胆固醇^[21]。

3.3 糖尿病的预防与改善

一系列实验证明, α -亚麻酸的摄入对胰岛素的敏感性有改善效果^[22]。Ghafooruniss等^[23]发现过多的饱和脂肪酸摄入会增加II型糖尿病的患病危险,同时在日常饮食中增加 α -亚麻酸的摄入能够显著降低酸、酮中毒的概率、抑制糖尿病并发症的发生。在饮食中添加奇亚籽油后,奇亚籽油中的 α -亚麻酸能够提高靶细胞对于胰岛素的敏感性,降低细胞膜上胰岛素受体的抵抗,能够加速胰岛素 β -细胞胰岛素的分泌并使血液中的胰岛素含量保持一个较为稳定的水平,进而缓解II型糖尿病的病情或预防糖尿病的发生^[24]。

3.4 治疗炎症和过敏

慢性炎症不仅威胁人类健康,而且还严重影响人们的生活质量,以激素类为首的抗炎药物大多只能针对某一炎症进行针对性治疗,而且还会为机体带来一些未知的副作用。近些年新的治疗趋势是以 α -亚麻酸代替传统药物对炎症进行治疗,当机体炎症发生时,机体内的花生四烯酸(AA)会在脂氧化酶和环氧化酶的共同作用下生成不同种类的花生四烯酸代谢物和血小板活化因子,主要为LT₄(四系白三烯)和PGE₂(前列腺素)^[25]。 α -亚麻酸在机体内代谢产生EPA,与AA是同类物,用EPA对相同酶系的竞争,产生对炎症没有促进作用的LT₅(五

系白三烯)和 PGE3(前列腺素),达到减少 LT4 和 PGE2 的产生的效果,从而减少机体内巨噬细胞、中性粒细胞、单核细胞以及人类多形核白细胞和血管内皮细胞在血管内的汇集和粘附,降低炎症的对机体的损伤并阻碍过敏的进一步发展^[26]。

3.5 促使肿瘤细胞凋亡

流行病学调查研究表明, $\omega-3$ 多不饱和脂肪酸对预防肿瘤和抗击癌症具有一定的作用。从整体上来说, $\omega-3$ 多不饱和脂肪酸能通过调控免疫系统和脂质过氧化等来影响肿瘤的产生与发展。有实验发现 EPA 和血管抑制生成剂 TNP-470 配合在一起使用可以显著提升人体内乳腺癌 MCF-7、KPC-1 等细胞的凋亡率^[26]。而 Wiggins 等^[27] 在研究中发现, α -亚麻酸的代谢产物 DHA 会影响核转录因子的表达,降低抗凋亡基因 bcl-2 家族在癌细胞内的基因表达,使得细胞色素 C 和细胞周期素依赖性激酶抑制蛋白 P21、P25、P19、P57 被活化,增强特异性生长阻滞蛋白的活性同时改变 PPAR- α , PPAR- γ 的活性,从而使肿瘤细胞的线粒体损伤,并促进活性氧产生,调控凋亡基因活性表达,进而促使肿瘤细胞的凋亡和失活,预防肿瘤的发生。

3.6 增强骨骼

伴随着人类寿命的增加和老龄化社会的来临,骨质疏松患者越来越多,已然成为一个需要十分重视的问题。Claassen 等^[28] 发现适当地摄入 $\omega-3$ 脂肪酸可以减少 PGE2 的释放,改变细胞膜流动性从而增加钙的吸收、降低尿钙的分泌。更有研究表明,长期摄入 $\omega-3$ 脂肪酸,通过增加胰岛素样生长因子-1(IGF-1)和瘦素能够改善皮质骨的结构和力学特性。 $\omega-3$ 脂肪酸在抑制破骨细胞发挥效果的同时,通过促进称骨细胞基质大分子(增加纤维连接蛋白和 I 型胶原)的基因表达来对骨塑性起积极作用^[29]。因此,在饮食中长期添加奇亚籽油可以增强骨骼,防止骨质疏松的发生。

3.7 抑制肥胖

Vuksan 等^[30] 在对小鼠进行奇亚籽喂养后发现日常食用奇亚籽可以显著降低小鼠体重,改善肥胖相关的危险因素。同时有大量研究证明, $\omega-3$ 脂肪酸能降低血浆中的甘油三酯和总胆固醇水平^[31]。 α -亚麻酸能促进脂肪酸线粒体的活性,耗费更多的热量而起到减肥作用,而 α -亚麻酸的代谢产物 EPA 和 DHA 可以通过抑制机体内脂肪细胞的增生和肥大、减少机体内脂肪的积累,最终起到促进脂质的代谢和排出、减少内源性脂质的合成和外源性脂

质的吸收等一系列作用,最终达到减肥的效果^[32]。

3.8 保护脑细胞、保护视网膜

奇亚籽油中 α -亚麻酸的在机体内代谢所产生的 DHA 是视网膜和大脑等神经系统磷脂的重要构成成分,也是构成体内各类组织生物膜的重要组成部分之一,更是人体内各类前列腺素的合成所需要的前体。足量摄入 α -亚麻酸可以提高脑总脂中 DHA 所占的百分比,进而提升大脑的各项功能,特别是记忆功能,从而从源头上降低老年痴呆症等脑功能障碍病症的发病概率^[33]。Burdge 等^[34] 发现 DHA 对于胎儿及哺乳期婴儿大脑、神经系统和视网膜的发育是非常重要的,在婴儿饮食中增加 α -亚麻酸时,可以大幅提升婴儿视网膜中 DHA 的含量,从而提高视网膜的反射能力。所以,在饮食中添加奇亚籽油对婴儿和成人的大脑、神经系统和视网膜有很好的健康效果。

4 展望

奇亚籽油作为一种新兴的、富含 α -亚麻酸的油脂,其高营养价值的特性毋庸置疑。但奇亚籽油在国内的发展时间短,研究相对较浅,加工技术还不成熟。因此,如何最大化地利用奇亚籽油中的营养物质,探索不同的加工技术对奇亚籽油营养价值的影响,确定奇亚籽油相比其他富含 α -亚麻酸的植物油的优势将会是未来奇亚籽油的重要研究方向。

参考文献:

- [1] TIMILSENA Y P, WANG B, ADHIKARI R, et al. Preparation and characterization of chia seed protein isolate - chia seed gum complex coacervates [J]. Food Hydrocoll, 2016, 52:554 - 563.
- [2] GAZEM R A A, CHANDRASHEKARIAH S A. Pharmacological properties of *Salvia hispanica* (Chia) seeds: a review [J]. J Crit Rev, 2016, 3:63 - 67.
- [3] MUNOZ L A, COBOS A, DIAZ O, et al. Chia seeds: microstructure, mucilage extraction and hydration [J]. J Food Eng, 2012, 108(1):216 - 224.
- [4] AYERZA R. Seed composition of two chia (*Salvia hispanica* L.) genotypes which differ in seed color [J]. Emir J Food Agric, 2013, 25(7):495 - 500.
- [5] ORONA - TAMAYO D, VALVERDE M E, PAREDES - LOPEZ O. Chia - the new golden seed for the 21st century: nutraceutical properties and technological uses [M]// NADATHUR S. Sustainable Protein Sources. London: Elsevier Inc., 2017: 265 - 281.
- [6] COATES W. Whole and ground chia (*Salvia hispanica* L.) seeds, chia oil - effects on plasma lipids and fatty acids [M]// PATEL V, PREEDY R, WATSON V. Nuts and

- seeds in health and disease prevention. San Diego: Elsevier, 2011.
- [7] ULLAH R, NADEEM M, KHALIQUE A, et al. Nutritional and therapeutic perspectives of Chia (*Salvia hispanica* L.): a review[J]. J Food Sci Technol, 2016, 53(4):1-9.
- [8] FERNANDEZ I R, AYERZA W, COATES S M, et al. Nutritional characteristics of chia. Actualización en Nutrición [R]. Tucson: Arizona, 2006.
- [9] 荣旭, 陶宁萍, 李玉琪, 等. 奇亚籽营养成分分析与评价[J]. 中国油脂, 2015, 40(9):89-93.
- [10] AAG R, PUNEETH H R, MADHU C S, et al. Physicochemical properties and in vitro anti-inflammatory effects of Indian chia (*Salvia hispanica* L.) seed oil[J]. Iosr J Pharm Biol Sci, 2016, 11(2):1-8.
- [11] 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.
- [12] 周鸿, 山杉公男. 亚油酸对大鼠血胆固醇浓度及磷脂分子组成的影响[J]. 江西科学, 2002, 20(4):207-212.
- [13] CODDE J P, CROFT K D, BBARDEN A, et al. An inhibitory effect of dietary polyunsaturated fatty acids on renin secretion in the isolated perfused rat kidney [J]. J Hypertens, 1984, 2(3):265-270.
- [14] SHANTAKUMARI N, ELDEEB R A, IBRAHIM S A M, et al. Effect of PUFA on patients with hypertension: a hospital based study[J]. Indian Heart J, 2014, 66(4):408-414.
- [15] RENAUD S, LANZMANN - PETITHORY D. Dietary fats and coronary heart disease pathogenesis[J]. Curr Atheroscler Rep, 2002, 4(6):419-424.
- [16] 高丽杰, 胡鑫尧, 施庆国, 等. 亚麻籽油对血栓素 A2、前列腺环素影响的实验研究[J]. 中国中医基础医学杂志, 2002(3):38-40.
- [17] 杨倩. α -亚麻酸新资源及其抗血栓作用研究[D]. 西安:第四军医大学, 2008.
- [18] VIJAIMOHAN K, JAINU M, SABITHA K E, et al. Beneficial effects of α linolenic acid rich flaxseed oil on growth performance and hepatic cholesterol metabolism in high fat diet fed rats[J]. Life Sci, 2015, 79(3):448-454.
- [19] SIERRA L, ROCO J, ALARCON G, et al. Dietary intervention with *Salvia hispanica* (Chia) oil improves vascular function in rabbits under hypercholesterolaemic conditions [J]. J Funct Foods, 2015, 14:641-649.
- [20] AYERZA R, COATES W. Ground chia seed and chia oil effects on plasma lipids and fatty acids in the rat[J]. Nutr Res, 2005, 25(11):995-1003.
- [21] OOMEN C M, OCKE M C, FESKENS E J, et al. α -linolenic acid intake is not beneficially associated with 10-y risk of coronary artery disease incidence: the Zutphen Elderly Study[J]. Am J Clin Nutr, 2001, 74(4):457-463.
- [22] VAN DAM R M, WILLETT W C, RIMM E B, et al. Dietary fat and meat intake in relation to risk of type 2 diabetes in men[J]. Diabetes Care, 2002, 25(3):417-424.
- [23] GHAFOORUNISS A, IBRAHIM A, NATARAJAN S. Substituting dietary linoleic acid with α -linolenic acid improves insulin sensitivity in sucrose fed rats [J]. Biochim Biophys Acta, 2005, 1733(1):67-75.
- [24] DECSI T, MINDA H, HERMANN R, et al. Polyunsaturated fatty acids in plasma and erythrocyte membrane lipids of diabetic children[J]. Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids, 2002, 67(4):203.
- [25] 王建中, 朱瑞龙. 鱼油 $n-3$ 多不饱和脂肪酸的代谢与抗血栓、抗炎症的机制[J]. 中国油脂, 1988, 13(4):56-59.
- [26] FERRUCCI L, CHERUBINI A, BANDINELLI S, et al. Relationship of plasma polyunsaturated fatty acids to circulating inflammatory markers [J]. J Clin Endocrinol Metab, 2006, 91(2):439-446.
- [27] WIGGINS A K, MASON J K, THOMPSON L U. Growth and gene expression differ over time in α -linolenic acid treated breast cancer cells[J]. Exp Cell Res, 2015, 333(1):147-154.
- [28] CLAASSEN N, COETZER H, STEINMANN C M, et al. The effect of different $n-6/n-3$ essential fatty acid ratios on calcium balance and bone in rats [J]. Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids, 1995, 53(1):13-19.
- [29] 张志平. $n-3$ 多不饱和脂肪酸通过 AA 代谢通路促进骨折愈合[D]. 广州:南方医科大学, 2012.
- [30] VUKSAN V, JENKINS A L, BRISSETTE C, et al. Salba-chia (*Salvia hispanica* L.) in the treatment of overweight and obese patients with type 2 diabetes: a double-blind randomized controlled trial [J]. Nutr Metab Cardiovasc Dis, 2016, 27(2):138-146.
- [31] TAKAHASHI Y, TAKASHI I. 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]. Br J Nutr, 2000, 84:175-184.
- [32] RUZICKOVA J, ROSSMEISL M, PRAZAK T, et al. $\Omega-3$ PUFA of marine origin limit diet-induced obesity in mice by reducing cellularity of adipose tissue[J]. Lipids, 2004, 39(12):1177-1185.
- [33] JOSHI K, LAD S, KALE M, et al. Supplementation with flax oil and vitamin C improves the outcome of Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) [J]. Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids, 2006, 74(1):17-21.
- [34] BURDGE G C, CALDER P C, BURDGE G C, et al. Conversion of α -linolenic acid to longer-chain polyunsaturated fatty acids in human adults [J]. Reprod Nutr Dev, 2005, 45(5):581-597.