

棕榈油酸功能的研究进展

夏琛, 崔心禹, 项婷, 樊永康, 沈建福

(浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310012)

摘要: ω -7 脂肪酸是一组单不饱和脂肪酸, 常见于深海鱼类(如凤尾鱼)和某些植物类食品(澳洲坚果油、沙棘果油、海藻等)中。近年来, ω -3、 ω -6 和 ω -9 脂肪酸的作用都为人们所熟知, 但 ω -7 脂肪酸的众多功效却少有人知道。 ω -7 脂肪酸不仅可以控制体重, 改善皮肤状况, 提高人体对胰岛素的敏感性, 降低肝脂肪的蓄积和减少炎症, 并且可以降低低密度脂蛋白胆固醇, 增加高密度脂蛋白胆固醇, 改善冠状动脉心脏疾病和高血压等。我国人口快速老龄化, 患糖尿病、高脂血症等代谢综合征数量急剧增加, 对以棕榈油酸为主的 ω -7 脂肪酸保健产品以及医药制剂有更大的需求。对棕榈油酸在控制体重、改善皮肤状况、预防动脉粥样硬化、改善代谢综合征与炎症、防止骨碎、改善干眼症等方面的功能研究现状及可能存在的消极作用进行综述, 旨在为 ω -7 脂肪酸功能性产品开发提供参考。

关键词: ω -7 脂肪酸; 棕榈油酸; 功能性质; 肥胖; 糖尿病; 代谢综合征; 高血压; 心脏病

中图分类号: TQ641; TS201.4 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2020)02-0039-05

Progress in the function of palmitoleic acid

XIA Chen, CUI Xinyu, XIANG Ting, FAN Yongkang, SHEN Jianfu

(College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310012, China)

Abstract: ω -7 fatty acids are a group of monounsaturated fatty acids, commonly found in deep-sea fish (such as anchovies) and in certain plant foods (macadamia oil, seabuckthorn fruit oil, seaweed, etc.). In recent years, the roles of ω -3, ω -6 and ω -9 fatty acids have been well known, but the effects of ω -7 fatty acids are rarely known. ω -7 fatty acids not only can control weight, improve skin conditions, increase insulin sensitivity in human body and help to reduce the accumulation of liver fat and inflammation, but also can reduce low density lipoprotein, increase high density lipoprotein and improve coronary heart disease and hypertension. The population of China is aging rapidly, and the number of people suffering from diabetes of mellitus, hyperlipidemia and other metabolic syndrome grow rapidly, so there is a greater demand for ω -7 fatty acids health products and pharmaceutical preparations. The current research status of palmitoleic acid on weight control, skin conditions improvement, atherosclerosis prevention, improvement of metabolic syndrome and inflammation, bone fragmentation prevention, and dry eye syndrome improvement and its possible negative effects function were reviewed in order to provide references for the development of ω -7 fatty acids functional products.

Key words: ω -7 fatty acid; palmitoleic acid; functional property; obesity; diabetes; metabolic syndrome; hypertension; heart disease

收稿日期: 2019-06-10; 修回日期: 2019-10-22

作者简介: 夏琛(1995), 女, 在读硕士, 研究方向为食品营养(E-mail)416332707@qq.com。

通信作者: 沈建福, 教授, 硕士(E-mail)shenj107@zju.edu.cn。

根据双键个数的不同, 不饱和脂肪酸可分为单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA)两类。而不饱和脂肪酸按从甲基端起第一个双键位置的不同分为 ω -3、 ω -6 和 ω -9 系列。距羧基最远端的双键在倒数第 3 个碳原子上的称为 ω -3 脂肪酸, 主要包括二十碳五烯酸

(EPA)、二十二碳六烯酸(DHA)、 α -亚麻酸(ALA)。距羧基最远端的双键在倒数第6个碳原子上的称为 ω -6脂肪酸,主要包括亚油酸(LA)和花生四烯酸(AA)。 ω -3和 ω -6脂肪酸对大脑、心脏和免疫系统至关重要,其中的亚油酸和 α -亚麻酸是必需脂肪酸,不能由人体合成,必须通过饮食或补充剂获得。 ω -9脂肪酸是非必需脂肪酸,可以由人体产生,也可以从食物中获得。

近年来对 ω -3、 ω -6和 ω -9脂肪酸的研究较多,但与 ω -7脂肪酸有关的研究相对较少。作为一组单不饱和脂肪酸, ω -7脂肪酸常见于深海鱼类(如凤尾鱼)和某些植物类食品(澳洲坚果油、沙棘果油、海藻等)中^[1]。 ω -7脂肪酸可以通过抑制食欲来减轻体重,还能抑制酪氨酸酶的合成从而减少黑色素产生,提高人体对胰岛素的敏感性、降低肝脂肪的蓄积和减少炎症等^[1]。本文就自然界中常见的 ω -7脂肪酸之一棕榈油酸在控制体重、预防干眼症等多方面的功能和其可能存在的消极作用进行介绍。

1 棕榈油酸概况

棕榈油酸(palmitoleic acid, PMA)是由十六个碳原子组成且含有一个双键的单不饱和脂肪酸,是自然界中常见的 ω -7脂肪酸之一。由于棕榈油酸在一些慢性疾病如代谢综合征、糖尿病和炎症中起到一定的治疗作用,已引起人们的广泛关注。而其在一般油料作物中含量较少,但在昆士兰果油和沙棘果油中含量较多,分别为17%和30%左右,其含量因产地、品种而不同,如产自内蒙古、甘肃地区的沙棘果油其中的棕榈油酸含量可达32%,而产自山西的沙棘果油中棕榈油酸含量仅为13%^[2]。棕榈油酸在鲑鱼、鱼肝油和澳洲坚果油中含量较为丰富,分别为6.0%、7.1%和17.3%,但是在其他食品中含量(大豆油0.08%,巧克力0.2%,鸡蛋0.3%,橄榄油1.4%)并不高^[3]。

2 棕榈油酸的功能

2.1 控制体重

肥胖在世界范围内是一个日益严重的问题,是由能量摄入与消耗的不平衡导致脂肪储备引起的^[4]。胆囊收缩素(Cholecystokinin, CCK)是一种广泛存在于胃肠道和中枢神经系统的脑肠肽,具有多种生理学功能^[5]。神经系统的CCK作为递质参与多种中枢神经系统的功能,如抑制采食、抗焦虑、镇痛、调节胰岛素分泌、调节血压、增强记忆等功能。

Yang等^[6]分析了棕榈油酸对雄性大鼠短期摄食量的影响,发现与棕榈酸、油酸相比,口服棕榈油

酸可显著减少食物摄入量。棕榈油酸可通过促进CCK的释放抑制大鼠食欲从而达到控制体重的目的,经腹腔注射CCK受体拮抗剂地伐西匹可减轻棕榈油酸对摄食的抑制作用。

过氧化物酶体增殖物激活受体(Peroxisome proliferator activated receptors, PPARs)是调节目标基因表达的核内受体转录因子超家族成员,PPAR α 通过对肝内脂肪酸氧化相关基因表达的调控,在肝脏脂肪细胞分化,脂质储存、转运和脂肪酸氧化中发挥重要作用^[7]。研究发现棕榈油酸没有改变PPAR α 靶基因的表达,且PPAR α 拮抗剂不影响棕榈油酸诱导的饱腹感,这说明棕榈油酸抑制食欲的过程可能与PPAR α 无关^[6]。

孙龙^[8]、Gong^[9]等通过动物模型发现,棕榈油酸有助于抵抗饮食诱导的肥胖。Duckett等^[10]以肥胖绵羊为试验对象,考察棕榈油酸对脂肪生成的影响,结果发现,以10 mg/(kg·d)棕榈油酸静脉滴注肥胖绵羊,绵羊增重率降低77%。

2.2 改善皮肤状况

ω -7脂肪酸渗透皮肤速度快,使皮肤平滑、不油腻,目前高棕榈油酸含量的澳洲坚果油已开始应用于面部护肤、唇膏和婴儿制品以及防晒制品中。

肌肤中的黑色素主要是由黑色素细胞产生。Criton等^[11]发现,当黑色素细胞接收到讯息,可能是紫外线直接的刺激,也可能是皮肤受各类刺激之后释放一氧化氮等发炎传导物质的刺激,使得血液中的酪氨酸在酪氨酸酶的作用下转化为多巴,再经一系列复杂的生化过程而形成黑色素。因此,如果要减少黑色素的产生,可以从抑制酪氨酸酶着手。Yoon等^[12]研究发现棕榈油酸对小鼠B16黑色素瘤细胞的黑色素生成有较强的抑制作用,其在蛋白水平上抑制了小鼠黑色素细胞中酪氨酸酶和酪氨酸酶相关蛋白酶2(trp-2)活性,从而减少了黑色素的合成。因此,棕榈油酸可能是一种有效的增白剂,可用于护肤品或作为低沉积剂。

Yamamoto等^[13]研究表明,棕榈油酸钙盐具有显著的润滑性能且对金黄色葡萄球菌和痤疮丙酸杆菌都有一定的杀菌活性,且杀菌速度较快。脂肪酸钙盐的杀菌活性和润滑性随烷基链长和不饱和程度的变化而变化。同时与由月桂酸、棕榈酸和油酸制备的脂肪酸钙盐比较,棕榈油酸钙盐表现出最强的选择性杀菌能力,说明棕榈油酸及其钙盐在清洁和化妆品中具有潜在的应用价值。

2.3 预防动脉粥样硬化

动脉粥样硬化(Atherosclerosis, AS)是心脑血管

疾病的主要病理基础^[14]。AS主要表现为:细胞内外脂类的积聚,单核细胞/吞噬细胞的浸润,泡沫细胞的形成,血管平滑肌细胞增生以及结缔组织成分积聚^[15]。

高胆固醇血症是动脉粥样硬化的主要危险因素,如果血浆胆固醇浓度高于160~180 mg/dL(4.1~4.7 mmol/L),临床冠状动脉疾病(Coronary artery disease, CAD)的风险按比例增加。低密度脂蛋白,特别是低密度脂蛋白的氧化修饰,是巨噬细胞在动脉壁摄取和积聚细胞胆固醇酯的关键,甚至是先决条件^[16]。Matthan等^[17]研究膳食棕榈油酸对血浆蛋白谱和主动脉胆固醇积累的影响,结果表明,澳洲坚果油(棕榈油酸含量较高的油)化学稳定性好,对血浆脂蛋白分布、主动脉胆固醇积累和肝脏脂质含量无不良影响。Luan等^[18]在研究棕榈油酸与哥斯达黎加成年人非致死性急性心肌梗死发病率的关系时,调查了其饮食习惯并测定脂肪组织活检标本中的脂肪酸、胆固醇含量,发现脂肪组织中的棕榈油酸浓度与HDL-C水平正相关,与非致死性急性心肌梗死负相关。

2.4 改善代谢综合征与炎症

代谢综合征的特点是内脏脂肪组织堆积、血脂异常、高血压、空腹血糖浓度高、炎症程度低^[19-20]。硬脂酰辅酶A去饱和酶(Stearoyl-coenzyme A desaturase, SCD)是催化饱和脂酰辅酶A生成单不饱和脂酰辅酶A的关键酶^[21]。高热量饮食、运动、激素等因素均影响SCD的基因表达水平。生物体内饱和脂肪酸对SCD蛋白表达水平和活性的调控会直接影响生物体内饱和脂肪酸的比例,从而进一步影响整个机体的脂质代谢,进而与细胞应激反应及胰岛素敏感性直接相关。因此,SCD逐渐成为代谢疾病治疗的一个潜在的靶分子。

棕榈油酸被认为是SCD-1的强有力的阻断剂,可以降低小鼠的胰岛素抵抗和非酒精性脂肪肝病。Cao等^[22]研究表明,相比于脂肪组织,棕榈油酸对脂肪酸结合蛋白(Fatty acid-binding protein, FABP)基因敲除小鼠SCD-1在肝脏中的表达抑制作用更大,证明棕榈油酸可以降低肝脏脂肪的生成,抵抗高脂饮食的有害影响。Souza等^[23]用棕榈油酸处理2型糖尿病小鼠,在脂肪组织中也观察到类似的SCD-1抑制作用,棕榈油酸不仅增加了胰岛素敏感性并且控制了胰岛素的分泌,最终得出,在代谢疾病的小鼠模型中,棕榈油酸促进脂肪组织中SCD-1的调节可能对代谢的改善至关重要。

棕榈油酸具有抗炎、抗糖尿病的作用。Souza等^[24]研究棕榈油酸对喂养高脂饮食(HFD)小鼠的葡萄糖稳态和肝脏炎症的影响,发现棕榈油酸可明显减轻HFD诱导引起的胰岛素抵抗,增加离体肌肉对葡萄糖的摄取和渗入,降低小鼠血清谷草转氨酶(AST)水平,并且棕榈油酸可不依赖PPAR α 信号通路,即可减轻饮食引起的胰岛素抵抗和肝脏炎症。

Everson等^[25]研究了棕榈油酸对葡萄糖稳态、胰岛素抵抗和糖尿病的影响,体外试验表明,棕榈油酸能影响胰岛 β 细胞的存活、胰岛素分泌、骨骼肌胰岛素反应和脂肪细胞代谢。利用动物模型进行的体内试验表明,摄入棕榈油酸或其来源(如澳洲坚果油)可防止部分高脂或高碳水化合物饮食引起的代谢改变。

2.5 防止骨碎

在健康个体中,骨吸收和骨形成是紧密结合在一起的,这一过程被称为骨重塑^[26],而当形成和吸收之间出现不平衡时,会引起许多骨科疾病,如骨质疏松、类风湿性关节炎和骨水泥病等^[27]。骨重塑中有3种主要的骨细胞类型,即骨细胞、成骨细胞和破骨细胞。破骨细胞由多核巨细胞组成,负责骨重塑过程中骨的破坏与吸收^[28-29]。Van Heerden等^[30]研究发现,棕榈油酸通过抑制NF- κ B和MAPK信号通路,抑制RAW264.7小鼠巨噬细胞中RANKL诱导的破骨细胞形成。说明棕榈油酸对以破骨细胞过度生成为特征的骨科疾病有潜在的治疗作用。

2.6 改善干眼症

干眼是由于泪液的量或质或流体动力学异常引起的泪膜不稳定和(或)眼表损害,从而导致眼部不适症状及视功能障碍的一类疾病^[31]。沙棘常被用作食品和药用成分。Nakamura等^[32]研究口服沙棘果油对小鼠干眼症的影响,发现口服沙棘果油能保持干眼状态下的泪液分泌,而这与沙棘果油的主要成分棕榈油酸有关。棕榈油酸保护了泪液分泌,并抑制了泪腺中的炎性细胞因子。Sánchez-Borrego等^[33]研究发现棕榈油酸显示出优良的抗炎调脂作用,高浓度的棕榈油酸有助于治疗心脏代谢紊乱和干眼症。

2.7 其他

除上述功能外,富含棕榈油酸的澳洲坚果油可以滋养头发,容易被吸收到皮肤和头发中,亲和不油腻,可以提供紫外线保护,还可以防止头发颜色氧化并减少化学损伤。棕榈油酸在血清中的比例和SCD-1基因变异率与瑞典男性的癌症死亡率相

关^[34-36],在癌细胞中,棕榈油酸对 SCD-1 的抑制作用阻断了细胞周期的发展,从而抑制了癌细胞的增殖。

3 可能存在的消极作用

Okada 等^[37]研究发现血浆棕榈油酸含量与肥胖儿童腹部肥胖有显著性关系。棕榈油酸盐的含量还被发现与某些癌症相关,临床研究发现^[38-41],乳腺癌和前列腺癌的风险和发病率都会随着血液和组织中的棕榈油酸含量的增加而增加。此外, Pandey^[42]、Hattori^[43]等研究发现胆囊癌和脑肿瘤发病率上升分别与肿瘤红细胞膜和膜磷脂中棕榈油酸含量增加有关。

4 结束语

本文主要介绍了棕榈油酸控制体重、改善皮肤状况、预防动脉粥样硬化、改善代谢综合征与炎症、防止骨碎等功能。同时也简单介绍了其可能具有的消极作用。虽然国外已有 *omega-7* 脂肪酸相关的功能性产品,但在国内的应用并不广泛,可能的原因是 *omega-7* 脂肪酸对改善某些疾病如动脉粥样硬化等的作用机制需要进一步的探究,并且 *omega-7* 脂肪酸在血浆中的积累也可能带来一些消极作用甚至增加患某些癌症的风险。因此,在借鉴已有的研究成果的同时,根据我国已有的资源以及我国人群的身体情况,应该进一步研究如何正确补充 *omega-7* 脂肪酸以及补充剂量的控制,旨在开发适合我国人群食用或使用的 *omega-7* 脂肪酸功能性产品。

参考文献:

- [1] 刘锦宜,黄雪松. *omega-7* 脂肪酸的功能研究现状[J]. 食品安全质量检测学报, 2017(3):191-196.
- [2] 张泽生,冯帆,胡芳,等. 分子蒸馏技术富集沙棘果油中棕榈油酸的研究[J]. 粮食与油脂, 2015(3):39-41.
- [3] HODSON L, KARPE F. Is there something special about palmitoleate? [J]. Curr Opin Clin Nutr Met Care, 2013, 16(2): 225-231.
- [4] FLOWERS M T, NTAMBI J M. Stearoyl-CoA desaturase and its relation to high-carbohydrate diets and obesity [J]. BBA-Mol Cell Biol Lipids, 2009, 1791(2):85-91.
- [5] 杜静,张连峰,秦川. 胆囊收缩素作用的研究进展[J]. 中国比较医学杂志, 2007(4):233-236.
- [6] YANG Z H, TAKEO J, KATAYAMA M. Oral administration of *omega-7* palmitoleic acid induces satiety and the release of appetite-related hormones in male rats[J]. Appetite, 2013, 65(3):1-7.
- [7] 戚晓红,张昭萍,李晓宇,等. 过氧化物酶体增殖物激活受体 α 在实验性大鼠脂肪肝中的表达[J]. 中国病理生理杂志, 2003, 19(9):1206-1209.
- [8] 孙龙,迟宝荣,张填,等. 过氧化物酶体增殖物激活受体- α 与肝脏疾病的关系[J]. 新医学, 2007, 38(2):127-129.
- [9] GONG J, CAMPOS H, MCGARVEY S, et al. Adipose tissue palmitoleic acid and obesity in humans: does it behave as a lipokine? [J]. Am J Clin Nutr, 2011, 93(1):186-191.
- [10] DUCKETT S K, VOLPI-LAGRECA G, ALENDE M, et al. Palmitoleic acid reduces intramuscular lipid and restores insulin sensitivity in obese sheep [J]. Diabetes Metab Syndr Obes, 2014, 7:553-563.
- [11] CRITON M, LE MELLAY-HAMON V. Analogues of N-hydroxy-N'-phenylthiourea and N-hydroxy-N'-phenylurea as inhibitors of tyrosinase and melanin formation [J]. Bioorg Med Chem Lett, 2008, 18(12):3607-3610.
- [12] YOON W J, KIM M J, MOON J Y, et al. Effect of palmitoleic acid on melanogenic protein expression in murine B16 melanoma[J]. J Oleo Sci, 2010, 59(6):315-319.
- [13] YAMAMOTO Y, KAWAMURA Y, YAMAZAKI Y, et al. Palmitoleic acid calcium salt: a lubricant and bactericidal powder from natural lipids [J]. J Oleo Sci, 2015, 64(3):283-288.
- [14] 芮耀诚. 抗动脉粥样硬化药物研究进展[J]. 国外医学·药学分册, 1995, 22(5):257-259.
- [15] 汪俊军. 血浆氧化 LDL 水平与动脉粥样硬化的关系[J]. 临床检验杂志, 2003(1):48-50.
- [16] WITZTUM J L, STEINBERG D. Role of oxidized low density lipoprotein in atherogenesis [J]. Brit Heart J, 1993, 69(1):1785-1792.
- [17] MATTHAN N R, DILLARD A, LECKER J L, et al. Effects of dietary palmitoleic acid on plasma lipoprotein profile and aortic cholesterol accumulation are similar to those of other unsaturated fatty acids in the F1B Golden Syrian hamster[J]. J Nutr, 2008, 139(2):215-221.
- [18] LUAN D, WANG D, CAMPOS H, et al. Adipose tissue palmitoleic acid is inversely associated with nonfatal acute myocardial infarction in Costa Rican adults [J]. Nutr Metab Cardiovasc Dis, 2018, 28(10):973-979.
- [19] WESTPHAL S A. Obesity, abdominal obesity, and insulin resistance[J]. Clin Cornerst, 2009, 9(1):23-31.
- [20] GRUNDY S M. Metabolic syndrome: a multiplex cardiovascular risk factor[J]. J Clin Endocrinol Metab, 2007, 92:399-404.
- [21] 彭恭,杜雅兰,徐式孟,等. 硬脂酰辅酶 A 去饱和酶与脂代谢调控[J]. 生命科学, 2011, 23(11):1101-1105.
- [22] CAO H, GERHOLD K, MAYERS J R, et al. Identification of a lipokine, a lipid hormone linking adipose tissue to systemic metabolism [J]. Cell, 2008, 134(6):933-944.
- [23] SOUZA C O, VANNICE G K, ROSA NETO J C, et al. Is

- palmitoleic acid a plausible non-pharmacological strategy to prevent or control chronic metabolic and inflammatory disorders? [J/OL]. *Mol Nutr Food Res*, 2017, 62(1): 1700504 [2019-05-10]. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201700504>.
- [24] SOUZA C O, TEIXEIRA AA S, LIMA E A, et al. Palmitoleic acid (*N*-7) attenuates the immunometabolic disturbances caused by a high-fat diet independently of PPAR α [J]. *Mediat Inflamm*, 2014, 7:1-12.
- [25] EVERSON A N, ALEX R. Implications of palmitoleic acid (palmitoleate) on glucose homeostasis, insulin resistance and diabetes [J]. *Current Drug Targets*, 2017, 18(6):619-628.
- [26] RAGGATT L J, PARTRIDGE N C. Cellular and molecular mechanisms of bone remodeling [J]. *J Biol Chem*, 2010, 285:25103-25108.
- [27] BLAIR H C, ATHANASOV N A. Recent advances in osteoclast biology and pathological bone resorption [J]. *Histol Histopathol*, 2004, 19: 189-199.
- [28] BONEWALD L F, JOHNSON M L. Osteocytes, mechanosensing and Wnt signaling [J]. *Bone*, 2008, 42(4):606-615.
- [29] BAUM R, GRAVALLESE E M. Impact of inflammation on the osteoblast in rheumatic diseases [J]. *Curr Osteopor Rep*, 2014, 12: 9-16.
- [30] VAN HEERDEN B, KASONGA A, KRUGER M C, et al. Palmitoleic acid inhibits RANKL-induced osteoclastogenesis and bone resorption by suppressing NF- κ B and MAPK signalling pathways [J/OL]. *Nutrients*, 2017, 9(5): 441 [2019-05-10]. <https://doi.org/10.3390/nu9050441>.
- [31] 刘祖国. 干眼的治疗 [J]. *中华眼科杂志*, 2006, 42(1): 71-74.
- [32] NAKAMURA S, KIMURA Y, MORI D, et al. Restoration of tear secretion in a murine dry eye model by oral administration of palmitoleic acid [J/OL]. *Nutrients*, 2017, 9(4): 364 [2019-05-10]. <https://doi.org/10.3390/nu9040364>.
- [33] SÁNCHEZ-BORREGO R, CAPDEVILA N, MENDOZA N, et al. Highly concentrated palmitoleic acid proving the safety and efficacy of Provinal[®] for cardiometabolic disorders and dry eye syndrome [J]. *Maturitas*, 2017, 100:146.
- [34] BYBERG L, KILANDER L, WARENSJO L E, et al. Cancer death is related to high palmitoleic acid in serum and to polymorphisms in the SCD-1 gene in healthy Swedish men [J]. *Am J Clin Nutr*, 2014, 99(3):551-558.
- [35] YEE J K, WAHJUDI P N, VEGA J, et al. Stearoyl-CoA desaturase enzyme 1 inhibition reduces glucose utilization for de novo fatty acid synthesis and cell proliferation in 3T3-L1 adipocytes [J]. *Metabolomics*, 2013, 9(4): 809-816.
- [36] HESS D, CHISHOLM J W, IGAL R A, et al. Inhibition of stearyl CoA desaturase activity blocks cell cycle progression and induces programmed cell death in lung cancer cells [J/OL]. *PLoS ONE*, 2010, 5(6): e11394 [2019-05-10]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011394>.
- [37] OKADA T, FURUHASHI N, KUROMORI Y, et al. Plasma palmitoleic acid content and obesity in children [J]. *Am J Clin Nutr*, 2005, 82(4):747-750.
- [38] CAMILLE P, CHAJÈS V, LAPORTE F, et al. Prospective associations between plasma saturated, monounsaturated and polyunsaturated fatty acids and overall and breast cancer risk - modulation by antioxidants: a nested case-control study [J/OL]. *PLoS ONE*, 2014, 9(2): e90442 [2019-05-10]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090442>.
- [39] CHAJES V, THIEBAUT A C M, ROTIVAL M, et al. Association between serum *trans*-monounsaturated fatty acids and breast cancer risk in the E3N-EPIC study [J]. *Am J Epidemiol*, 2008, 167(11):1312-1320.
- [40] SHANNON J, KING I B, MOSHOFSKY R, et al. Erythrocyte fatty acids and breast cancer risk: a case-control study in Shanghai, China [J]. *Am J Clin Nutr*, 2007, 85(4):1090-1097.
- [41] CHAVARRO J E, KENFIELD S A, STAMPFER M J, et al. Blood levels of saturated and monounsaturated fatty acids as markers of de novo lipogenesis and risk of prostate cancer [J]. *Am J Epidemiol*, 2013, 178:1246-1255.
- [42] PANDEY M, KHATRI A K, DUBEY S S, et al. Erythrocyte membrane fatty acid profile in patients with primary carcinoma of the gallbladder [J]. *J Surg Oncol*, 1995, 59: 31-34.
- [43] HATTORI T, ANDOH T, SAKAI N, et al. Membrane phospholipid composition and membrane fluidity of human brain tumour: a spin label study [J]. *Neurol Res*, 1987, 9:38-43.