

八大核桃产地的核桃理化性质及油脂特性对比研究

耿鹏飞¹, 彭吟雪¹, 胡传荣^{1,2}, 何东平^{1,2}

(1. 武汉轻工大学 食品科学与工程学院, 武汉 430023;

2. 国家粮食局粮油资源综合开发工程技术研究中心, 武汉 430023)

摘要:对贵州、河北、重庆等 8 个地区的核桃在理化性质、油脂中金属元素和脂肪酸组成等方面进行对比研究。采取冷榨法获得核桃油样,对 8 种核桃的理化指标,核桃油中金属元素、维生素 E 和脂肪酸组成进行测定。结果表明:贵州核桃的粗蛋白质含量及核桃油的油酸、维生素 E 和金属元素含量均较高,其中贵州核桃油中铜、钙、镁和钾的含量居 8 种核桃之首,核桃油中维生素 E 含量为 662.24 μg/kg,居 8 种核桃的第 3 位。贵州核桃具有更好的氧化稳定性及营养价值。

关键词:核桃;核桃油;理化指标;金属元素;脂肪酸组成;维生素 E

中图分类号:TS222+.1;TQ646 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2018)09-0116-05

Comparison of physicochemical properties and oil characteristics of walnuts from eight regions

GENG Pengfei¹, PENG Yinxue¹, HU Chuanrong^{1,2}, HE Dongping^{1,2}

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;

2. Grain and Oil Resources Comprehensive Exploitation and Engineering Technology Research Center of State Administration of Grain, Wuhan 430023, China)

Abstract:The physicochemical properties of walnut, metal elements and fatty acid composition of walnut oils from eight regions of Guizhou, Hebei, Chongqing, etc. were compared and studied. The walnut oil samples were obtained by cold pressing method. The physicochemical indexes of eight kinds of walnut, metal elements, vitamin E and fatty acid compositions of walnut oils were determined. The results showed that the crude protein content in walnut, and contents of oleic acid, vitamin E and metal elements in walnut oil from Guizhou were higher. The contents of copper, calcium, magnesium and potassium in walnut oil from Guizhou was the highest, and the vitamin E content in walnut oil from Guizhou was 662.24 μg/kg, which was the third among eight kinds of walnuts. So Guizhou walnut had stronger oxidative stability and higher nutritional value.

Key words: walnut; walnut oil; physicochemical property; metal element; fatty acid composition; vitamin E

核桃(*Juglans regia* L.) 又称胡桃、羌桃,为胡桃科植物。中国和美国是世界上主要的核桃生产国,每年的核桃产量分别占世界总量的 25% 和 20%,近

几年的产量仍在稳步上升^[1]。我国核桃的主产区为河北、陕西、山西、甘肃、重庆、贵州和云南等地^[2]。核桃中除含有 60% 左右的脂肪、20% 左右的蛋白质、7% 左右的碳水化合物、4% 左右的纤维素和 2% 左右的灰分外,还含有 K、Ca 等金属元素和多种维生素,是一种营养价值极高的坚果^[3]。核桃油中含有 90% 以上的不饱和脂肪酸,其中亚油酸含量占脂肪酸总量的 50% 以上。Costa^[4] 的研究发现,亚油酸比油酸的相对含量越高,油脂阻止不利于健康的低密度脂蛋白胆固醇的能力越强。因此,核桃油具

收稿日期:2018-01-23;修回日期:2018-04-18

基金项目:国家粮食公益性行业科研专项(201313012)

作者简介:耿鹏飞(1993),男,硕士研究生,研究方向为粮食、油脂及植物蛋白(E-mail)1471046558@qq.com。

通信作者:何东平,教授,博士生导师(E-mail)hedp123456@163.com。

有作为营养保健用油的潜质。

本文对贵州、河北、陕西、重庆等地核桃的理化性质,核桃油中金属元素、脂肪酸组成和维生素E的组成及含量进行研究,并着重将贵州核桃与其他几个地区的核桃进行对比,探讨贵州核桃除脂肪酸组成不同之外的其他特殊之处,以期对其针对性的发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

来自8个地区的核桃,分别是贵州、河北、陕西、山西、甘肃、山东、重庆和云南。收集后充分晾晒,去壳后将核桃仁密封储存于玻璃罐中,4℃低温避光保存待用。原料由云南省粮油科学研究院收集。

石油醚(沸程60~90℃)、冰乙酸、环己烷、丙酮、正己烷、硝酸等,均为分析纯。超纯水(原子吸收光谱仪用),乙腈、甲醇,色谱纯。

脂肪测定仪,全自动凯氏定氮仪,气相色谱仪,原子吸收光谱仪,高效液相色谱仪等。

1.2 试验方法

1.2.1 核桃油的提取

用液压榨油机直接压榨剥壳后的核桃仁,转速为20 r/min,孔径为5 mm,温度为(55±1)℃。在转速为8 000 r/min条件下离心20 min,去除杂质,得到冷榨核桃油。

1.2.2 核桃理化指标测定

含仁率:参照SN/T 0803.10—1999;水分含量:参照GB/T 5497—1985;粗脂肪含量:参照GB/T 5512—2008;粗蛋白质含量:参照GB 5511—1985;粗纤维含量:参照GB/T 5515—2008;灰分含量:参照文献[5]的方法。碳水化合物总量按下式计算^[6]:

碳水化合物 = 100% - (水分含量 + 粗蛋白质含量 + 粗脂肪含量 + 粗纤维含量 + 灰分含量)。

十果重:随机抽取10个核桃,称量其质量。

十仁重:随机抽取10个核桃,剥壳后,称量核桃仁的质量。

仁壳比:称取一定质量的核桃,剥壳后称量核桃仁的质量,核桃仁与核桃壳的质量比值即为仁壳比。

1.2.3 核桃油金属元素的测定

金属元素的测定以稍加修改Tapia等^[7]的方法。

样品前处理:称取核桃油1.5 g于石英坩埚中,先炭化,后灰化。灰化后用1%的硝酸少量多次冲洗坩埚,定容25 mL。

原子吸收光谱仪(火焰部分)条件:以乙炔-空气作为燃气,流量1.1 L/min,以氩灯为背景灯,空

心阴极灯检测样品。用金属元素的标准品绘制标准曲线后测定各样品的金属元素含量。

1.2.4 核桃油脂脂肪酸组成分析

甲酯化:取一定量核桃油于玻璃试管中,加入2 mL正己烷,充分摇匀溶解,再加入0.3 mL 2 mol/L的KOH甲醇溶液,摇匀后于40~45℃水浴加热25 min,在加热过程中时时摇动使之充分甲酯化,加蒸馏水静置,取上清液进行气相色谱分析。

气相色谱条件:色谱柱为Agilent DB-23石英毛细管柱(60 m×0.25 mm×0.25 μm);色谱柱升温程序为150℃初始温度保持1 min,以6℃/min的速率上升至230℃,保持20 min;载气为高纯度N₂,流量2.00 mL/min,空气流量为50 mL/min,氢气流量为50 mL/min;氢火焰离子化检测器(FID),检测器温度250℃,进样口温度230℃;进样量0.5 μL,分流比5:1。通过与脂肪酸甲酯标准品保留时间比较鉴定,采用面积归一化法计算各脂肪酸相对含量。

1.2.5 核桃油维生素E含量的测定

样品前处理:将0.2 g油样用丙酮溶解后,定容至50 mL,过膜,待HPLC测定。

HPLC条件:Eclipse XDB-C18色谱柱(4.6 mm×150 mm×0.5 μm);紫外检测器,波长300 nm;流动相70%乙腈,30%甲醇;进样量20 μL;柱温30℃;流速1.0 μL/min。

2 结果与分析

2.1 核桃理化指标

核桃的理化指标见表1。将表1中的理化指标归纳为加工效率(含仁率,十果重,十仁重和仁壳比),制油特点(粗脂肪和水分)和饼粕价值(粗蛋白质,碳水化合物,粗纤维和灰分)3个方面。

由表1可知,不同地区核桃的加工效率指标差异显著($P < 0.05$)。含仁率最高的为贵州核桃(54.69%),最低的为甘肃核桃(45.83%);十果重最高的为陕西核桃(121.72 g),最低的为贵州核桃(83.51 g);十仁重最高的为陕西核桃(66.23 g),最低的为云南核桃(43.70 g);仁壳比最高的为贵州核桃(1.21),最低的为甘肃核桃(0.85)。从含仁率和仁壳比可知,核桃仁重约为核桃总重的50%;从十果重和十仁重可知,核桃的大小各地区差异显著,陕西核桃较大,贵州核桃较小。加工效率体现核桃作为一种坚果或制取油脂、核桃乳等核桃产品的利用率。加工效率高,核桃的可利用部分多,一定角度说明其经济价值高。表1说明,贵州核桃与其他地区的核桃相比,核桃果实较小,但含仁率高,仁壳比高,其经济价值更高。

表1 核桃的理化指标

项目	贵州	河北	陕西	山西	甘肃	山东	重庆	云南	平均值
含仁率/%	54.69 ^a	50.72 ^d	54.41 ^b	47.85 ^e	45.83 ^b	52.85 ^c	49.11 ^f	49.87 ^e	50.67
十果重/g	83.51 ^b	105.42 ^c	121.72 ^a	110.26 ^c	115.77 ^b	107.00 ^d	99.93 ^f	87.63 ^e	103.91
十仁重/g	45.67 ^e	53.46 ^c	66.23 ^a	52.76 ^e	53.06 ^d	56.55 ^b	49.08 ^f	43.70 ^b	52.56
仁壳比	1.21 ^a	1.03 ^c	1.19 ^a	0.92 ^f	0.85 ^e	1.12 ^b	0.96 ^e	0.99 ^d	1.03
水分/%	4.11 ^d	3.34 ^b	3.98 ^e	4.01 ^c	4.71 ^b	4.00 ^f	5.61 ^a	4.21 ^c	4.25
粗脂肪/%	64.15 ^e	68.41 ^b	67.08 ^c	71.25 ^a	64.78 ^f	62.50 ^b	65.11 ^e	66.55 ^d	66.23
粗蛋白质/%	20.29 ^b	18.92 ^c	16.20 ^f	15.34 ^e	16.31 ^c	22.71 ^a	11.40 ^b	18.36 ^d	17.44
碳水化合物/%	5.49 ^e	4.44 ^e	7.69 ^c	4.32 ^b	9.03 ^b	6.07 ^d	12.03 ^a	5.38 ^f	6.80
粗纤维/%	3.38 ^a	2.97 ^e	3.09 ^d	3.11 ^c	3.00 ^f	2.88 ^b	3.27 ^b	3.01 ^c	3.09
灰分/%	2.58 ^a	1.92 ^c	1.96 ^d	1.97 ^d	2.17 ^c	1.84 ^f	2.58 ^a	2.49 ^b	2.19

注:同行不同字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。下同。

不同地区核桃的制油特点差异显著 ($P < 0.05$)。核桃作为一种油料资源,粗脂肪含量是其重要的指标。核桃的粗脂肪含量为 62.50% (山东) ~ 71.25% (山西)。核桃的平均粗脂肪含量为 66.23%,粗脂肪含量高。水分含量高的核桃不仅影响贮藏,还对其制取的油脂和饼粕有影响。原料的水分含量高,会导致油脂中的水分含量增高,从而影响油脂的品质。核桃中水分含量最高的重庆核桃 (5.61%),最低的为河北核桃 (3.34%)。贵州核桃的粗脂肪含量和水分含量与其他地区的核桃相比:粗脂肪含量 64.15%,水分含量 4.11%,均处于 8 种核桃的中间水平。

不同地区核桃的饼粕价值差异显著 ($P < 0.05$)。核桃的粗蛋白质含量为 11.40% (重庆) ~ 22.71% (山东),碳水化合物含量为 4.32% (山西) ~ 12.03% (重庆),粗纤维含量为 2.88% (山东) ~ 3.38% (贵州),灰分含量为 1.84% (山东) ~ 2.58% (贵州、重庆)。核桃除作为坚果和油料外,其制油副产品还可以深加工为蛋白粉、蛋白乳饮料等产品,或把蛋白质进一步分解为多肽,制成功能性产品,满足不同人群的需要^[8]。贵州核桃的粗纤维和灰分含量高。

2.2 核桃油中金属元素的含量

核桃油中金属元素含量见表 2。

表2 核桃油中金属元素的含量

金属元素	贵州	河北	陕西	山西	甘肃	山东	重庆	云南	平均值
Fe	23.31 ^b	19.71 ^b	23.72 ^a	21.47 ^f	20.42 ^e	22.75 ^d	22.05 ^e	22.98 ^c	22.05
Cu	19.45 ^a	12.88 ^b	18.89 ^b	15.80 ^f	18.17 ^c	13.78 ^e	18.27 ^d	18.47 ^c	16.96
Ca	65.27 ^a	60.10 ^c	59.88 ^f	63.21 ^c	64.22 ^b	58.99 ^f	62.31 ^d	65.00 ^a	62.37
Mg	47.63 ^a	33.80 ^b	34.56 ^e	40.98 ^d	37.99 ^f	46.33 ^b	40.49 ^e	45.71 ^c	40.94
Zn	25.31 ^c	22.75 ^f	25.71 ^b	20.29 ^e	23.91 ^d	18.93 ^b	26.66 ^a	23.36 ^c	23.37
Mn	36.08 ^e	37.45 ^c	33.07 ^f	36.56 ^d	25.26 ^b	27.87 ^e	39.67 ^b	61.90 ^a	37.23
K	78.13 ^a	77.24 ^c	76.40 ^b	77.59 ^c	76.90 ^e	77.30 ^d	77.13 ^f	77.80 ^b	77.31
Na	15.03 ^c	23.37 ^a	16.79 ^d	10.57 ^b	12.62 ^e	14.92 ^f	22.95 ^b	18.88 ^c	16.89

由表 2 可知,不同地区核桃油金属元素含量差异显著 ($P < 0.05$)。核桃油中 Ca, Mg, Mn 和 K 含量较高。核桃油中 Fe 含量为 19.71 (河北) ~ 23.72 (陕西) mg/kg, Cu 含量为 12.88 (河北) ~ 19.45 (贵州) mg/kg, Ca 含量为 58.99 (山东) ~ 65.27 (贵州) mg/kg, Mg 含量为 33.80 (河北) ~ 47.63 (贵州) mg/kg, Zn 含量为 18.93 (山东) ~ 26.66 (重庆) mg/kg, Mn 含量为 25.26 (甘肃) ~ 61.90 (云南) mg/kg, K 含量为 76.40 (陕西) ~ 78.13 (贵州) mg/kg, Na 含量为 10.57 (山西) ~ 23.37 (河北) mg/kg。以上结论与万本屹等^[3]的研究有差异,可

能是由于地理环境、收获时节、基因和土壤等因素的影响。

贵州核桃油中铜、钙、镁和钾的含量居 8 种核桃之首,且贵州核桃的灰分含量较高,同时贵州核桃油颜色较深,可能是由于金属元素含量较高所致。以上特点说明贵州核桃对人体补充金属元素具有一定作用。

2.3 核桃油的脂肪酸组成

分别测定 8 个地区冷榨核桃油的脂肪酸组成,结果见表 3。由表 3 可知,8 种核桃油的脂肪酸组成基本相同,但脂肪酸含量差异显著。核桃油主要有 7 种

脂肪酸,分别是棕榈酸、棕榈油酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸和花生一烯酸,其中,棕榈油酸(ND ~ 0.13%)和花生一烯酸(0.14% ~ 0.26%)的含量较低,与 Costa^[4]的研究结果一致。核桃油中含量较高的油酸和亚油酸,平均值分别达到 18.66% 和 59.99%。核桃油的脂肪酸以不饱和脂肪酸为主,所研究的 8 个地区的核桃油不饱和脂肪酸含量平均值达到 90.21%,其中含量最高的为贵州核桃(91.13%),最低的为山西核桃(88.70%);多不饱和

脂肪酸含量平均值高达 71.27%,含量最高的为山东核桃(75.38%),含量最低的为贵州核桃(59.20%)。

对比贵州核桃油与其他地区核桃油的脂肪酸差异,发现贵州核桃油的油酸含量(31.68%)最高。现行的《核桃油》国家标准(GB/T 22327—2008)特征指标中核桃油油酸含量为 11.5% ~ 25.0%,贵州核桃的油酸含量为 31.68%,显著高于《核桃油》国家标准的指标。

表 3 核桃油的主要脂肪酸组成和含量

脂肪酸	贵州	河北	陕西	山西	甘肃	山东	重庆	云南	平均值
棕榈酸	6.22 ^d	6.47 ^c	6.95 ^b	6.98 ^a	6.69 ^{bc}	6.57 ^{bc}	6.49 ^c	7.10 ^a	6.68
棕榈油酸	0.07 ^c	0.07 ^c	0.07 ^c	0.09 ^b	ND ^d	0.09 ^b	0.09 ^b	0.13 ^a	0.08
硬脂酸	2.64 ^e	4.15 ^b	3.20 ^c	4.24 ^a	2.53 ^e	2.75 ^d	2.66 ^e	1.84 ^b	3.00
油酸	31.68 ^a	17.33 ^d	15.36 ^f	15.00 ^e	18.23 ^c	14.85 ^h	20.48 ^b	16.32 ^e	18.66
亚油酸	52.15 ^e	59.91 ^c	63.64 ^a	61.89 ^c	60.73 ^d	62.15 ^b	57.54 ^f	61.88 ^c	59.99
亚麻酸	7.05 ^b	11.61 ^d	10.34 ^e	11.58 ^c	11.52 ^f	13.23 ^a	12.50 ^b	12.43 ^c	11.28
花生一烯酸	0.18 ^d	0.23 ^b	0.26 ^a	0.14 ^e	0.20 ^c	0.22 ^{bc}	0.19 ^d	0.14 ^c	0.20
饱和脂肪酸	8.86 ^b	10.62 ^b	10.15 ^c	11.22 ^a	9.22 ^c	9.32 ^d	9.15 ^f	8.94 ^e	9.68
不饱和脂肪酸	91.13 ^a	89.15 ^e	89.67 ^f	88.70 ^b	90.68 ^d	90.54 ^c	90.80 ^c	90.90 ^b	90.21
多不饱和脂肪酸	59.20 ^b	71.52 ^f	73.98 ^e	73.47 ^d	72.25 ^e	75.38 ^a	70.04 ^e	74.31 ^b	71.27

核桃油由于不饱和脂肪酸含量高,尤其是多不饱和脂肪酸含量高,容易氧化酸败,对光尤其敏感,难以贮藏,货架期短^[9]。贵州核桃油不饱和脂肪酸含量与其他地区的差异小,但油酸含量高,使其氧化稳定性大大提升,对其货架期起到积极作用。

2.4 核桃油的维生素 E 的组成及含量

高效液相色谱检测的核桃油的维生素 E 的组成及含量见表 4。由表 4 可知,核桃油中含有 γ -维生素 E 和 δ -维生素 E,主要以 δ -维生素 E 为主,未检测到 α -维生素 E 和 β -维生素 E,与 Colin

等^[10]的研究结果相似。不同地区核桃油的 γ -维生素 E、 δ -维生素 E 和总量均存在显著差异($P < 0.05$)。 γ -维生素 E 含量最高的为陕西核桃(92.27 $\mu\text{g}/\text{kg}$),含量最低的为河北核桃(0.52 $\mu\text{g}/\text{kg}$)。 δ -维生素 E 含量最高的为陕西核桃(888.55 $\mu\text{g}/\text{kg}$),含量最低的为甘肃核桃(294.40 $\mu\text{g}/\text{kg}$)。维生素 E 总量最高的为陕西核桃(980.82 $\mu\text{g}/\text{kg}$),含量最低的为山东核桃(589.42 $\mu\text{g}/\text{kg}$)。核桃油中的维生素 E 含量较高,可以进一步提纯用于医药行业^[11]。

表 4 核桃油的维生素 E 组成及含量

维生素 E	贵州	河北	陕西	山西	甘肃	山东	重庆	云南
γ -维生素 E	32.17 ^b	0.52 ^h	92.27 ^a	1.28 ^g	18.23 ^c	30.39 ^c	2.49 ^f	28.77 ^d
δ -维生素 E	630.07 ^c	378.34 ^f	888.55 ^a	302.26 ^e	294.40 ^h	559.03 ^e	606.68 ^d	704.04 ^b
总量	662.24 ^e	378.86 ^f	980.82 ^a	303.54 ^h	312.63 ^e	589.42 ^e	609.17 ^d	732.81 ^b

贵州核桃油的维生素 E 含量为 662.24 $\mu\text{g}/\text{kg}$,在 8 种核桃油中处于第 3 位。Vaidya 等^[12]的研究显示,核桃油中的维生素 E 是天然的抗氧化剂,可以延缓油脂的氧化酸败。贵州核桃油的氧化稳定性较其他地区的核桃油好,同等条件下其货架期也 longer。

3 结论

贵州、河北、重庆等 8 个地区的核桃的理化性质,核桃油中金属元素含量、脂肪酸组成和维生素 E 含量具有显著差异($P < 0.05$)。贵州十果重小,粗

蛋白质含量高,灰分含量高。

不同地区核桃的核桃油脂肪酸组成相同,但其含量有显著差异。脂肪酸以不饱和脂肪酸为主,高达 90% 左右,不饱和脂肪酸中亚油酸含量最高,油酸次之。贵州核桃油中不饱和脂肪酸含量最高,达 91.13%,其中油酸含量高达 31.68%,所以其氧化稳定性相较于其他地区核桃油更好。

核桃油中的维生素 E 含量丰富, δ -维生素 E 为主要维生素 E,维生素 E 总量最高的是陕西核桃

(980.82 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 贵州核桃油中维生素 E 总量为 662.24 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 居 8 种核桃的第 3 位。

通过比较, 贵州核桃不仅可以制得营养价值高、氧化稳定性好的核桃油, 其饼粕蛋白质含量高, 是优质蛋白质的良好来源。贵州核桃油中金属元素含量和维生素 E 含量较高, 是补充金属元素和维生素 E 的健康食源。总之, 贵州核桃不论作为坚果, 还是制取油脂、加工蛋白产品均是良好的原料。

参考文献:

- [1] OFFIA - OLUA B I. Chemical, functional and pasting properties of wheat (*Triticum* spp.) - walnut (*Juglans regia*) flour[J]. Food Nutr Sci, 2014, 16(5):1591 - 1604.
- [2] 朱振宝, 刘梦颖, 易建华, 等. 不同产地核桃油理化性质、脂肪酸组成及氧化稳定性比较研究[J]. 中国油脂, 2015, 40(3):87 - 90.
- [3] 万本屹, 董海洲, 李宏, 等. 核桃油的特性及营养价值的研究[J]. 西部粮油科技, 2001, 26(5):18 - 20.
- [4] COSTA T. Characterization and fatty acids profile of the oils from Amazon nuts and walnuts[J]. Nutr Food Sci, 1971, 42(4):279 - 287.
- [5] 姜莉. 核桃渣制备核桃蛋白和多肽的研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2007.
- [6] GHARIBZAHEDI S M T, MOUSAVI S M, HAMED M, et al. Determination and characterization of kernel biochemical composition and functional compounds of Persian walnut oil[J]. Food Sci Technol, 2014, 51(1):34 - 42.
- [7] TAPIA M I, GARCIA - PARRA J, RAMIREZ R, et al. Comparative study of the nutritional and bioactive compounds content of four walnut (*Juglans regia* L.) cultivars[J]. Food Compos Anal, 2013, 31(2):232 - 237.
- [8] 王红梅. 核桃油、核桃乳、速溶脱脂核桃粉综合加工技术[J]. 粮食与油脂, 2001(1):44 - 45.
- [9] LABUCKAS D, MAESTRI D, LAMARQUE A. Lipid and protein stability of partially defatted walnut flour (*Juglans regia* L.) during storage[J]. Int J Food Sci Technol, 2011, 46(7):1388 - 1397.
- [10] COLIN C, PATRICK H, JOHN G, et al. Study of the main constituents of some authentic hazelnut oils[J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(12):4843 - 4852.
- [11] 陈焱, 方学智, 费学谦. 油茶籽油脱臭馏出物维生素 E 的分子蒸馏工艺研究[J]. 江西农业大学学报, 2012, 34(1):175 - 178.
- [12] VAIDYA B, EUN J B. Effect of roasting on oxidative and tocopherol stability of walnut oil during storage in the dark[J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2013, 115(3):348 - 355.
- [13] ... and meta - analysis[J]. J Am Med Assoc, 2012, 308(10):1024 - 1033.
- [14] ENNS J E, YEGANEH A, ZARYCHANSKI R, et al. The impact of ω -3 polyunsaturated fatty acid supplementation on the incidence of cardiovascular events and complications in peripheral arterial disease; a systematic review and meta - analysis[J]. BMC Cardiovasc Disor, 2014, 14(1):1 - 10.
- [15] KWAK S M, MYUNG S K, LEE Y J, et al. Efficacy of ω -3 fatty acid supplements (eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid) in the secondary prevention of cardiovascular disease; a meta - analysis of randomized, double - blind, placebo - controlled trials[J]. Arch Intern Med, 2012, 172(9):686 - 694.
- [16] WALZ C P, BARRY A R, KOSHMAN S L. Ω -3 polyunsaturated fatty acid supplementation in the prevention of cardiovascular disease[J]. Can Pharm J, 2016, 149(3):166.
- [17] CHOWDHURY R, STEVENS S, GORMAN D, et al. Association between fish consumption, long chain ω 3 fatty acids, and risk of cerebrovascular disease; systematic review and meta - analysis[J]. BMJ, 2012, 345:e6698 - e6707.
- [18] HIRATA Y, TAKAHASHI M, KUDOH Y, et al. *Trans* - fatty acids promote proinflammatory signaling and cell death by stimulating the apoptosis signal - regulating kinase 1 (ASK1) - p38 pathway[J]. J Biol Chem, 2017, 292(20):8174 - 8185.
- [19] CHOU Y C, SU H M, LAI T W, et al. *cis* - 9, *trans* - 11, *trans* - 13 - Conjugated linolenic acid induces apoptosis and sustained ERK phosphorylation in 3T3 - L1 preadipocytes[J]. Nutrition, 2012, 28(7/8):803 - 811.
- [20] BARBER E, SINCLAIR A J, CAMERON - SMITH D. Comparative actions of ω -3 fatty acids on in - vitro lipid droplet formation[J]. Prostag Leukotr Essent, 2013, 89(5):359 - 366.
- [21] THORSODOTTIR I, TOMASSON H, GUNNARSDOTTIR I, et al. Randomized trial of weight - loss - diets for young adults varying in fish and fish oil content[J]. Int J Obesity, 2007, 31(10):1560.
- [22] 秦霞. 18:3n-3 和 22:5n-3 对小鼠脂肪细胞中 ω -3 多不饱和脂肪酸代谢的影响[D]. 长春:吉林大学, 2015.
- [23] RIZOS E C, NTZANI E E, BIKA E, et al. Association between ω -3 fatty acid supplementation and risk of major cardiovascular disease events; a systematic review

(上接第 99 页)