

美藤果油辅助改善小鼠记忆的功效

司 茹, 郑梦思, 邹莉波*

(沈阳药科大学生命科学与生物制药学院, 辽宁 沈阳 110016)

摘 要: 目的: 通过小鼠实验探讨美藤果油改善记忆功能的作用。方法: 72 只雄性SPF级昆明小鼠随机分为空白组, 模型组, 美藤果油低、中、高剂量组 (375.1、750.2、1 500.0 mg/(kg·d), 以体质量计, 下同) 及深海鱼油组 (1 500.0 mg/kg)。连续给药30 d后, 进行避暗、跳台、Morris水迷宫实验。结果: 美藤果油750.2、1 500.0 mg/(kg·d) 剂量组能剂量依赖性地显著延长模型小鼠避暗和跳台实验的潜伏期, 减少错误次数 ($P < 0.05$), 而对Morris水迷宫测试中的潜伏期及游泳路程百分比无显著影响。结论: 美藤果油在375.1~1 500.0 mg/(kg·d) 的剂量范围内可能具有辅助改善小鼠记忆功能的作用。

关键词: 美藤果油; 改善记忆; 避暗实验; 跳台实验; Morris水迷宫

Effect of Sacha Inchi Oil on Improving Memory in Mice

SI Ru, ZHENG Mengsi, ZOU Libo*

(Life Science and Biopharmaceutics Academy, Shenyang Pharmaceutical University, Shenyang 110016, China)

Abstract: Objective: To investigate the effect of sacha inchi oil on improving memory in mice. Methods: Totally 72 SPF male KM mice were randomly divided into control group, model group, sacha inchi oil low- medium-, high-dose groups (375.1, 750.2 and 1 500.0 mg/(kg·d)) and deep-sea fish oil group (1 500.0 mg/(kg·d)). The animals were intragastrically administered for 30 days. After the experimental period, step-through test, step-down test and Morris water maze test were carried out. Results: In the medium- and high-dose groups, sacha inchi oil could prolong the latency time and reduce the number of errors in step-through test and step-down test ($P < 0.05$), but had no significant effect on the latency time or the percentage of swimming distance in Morris water maze. Conclusion: Sacha inchi oil may play an important role in memory improvement in mice at a dose from 375.1 to 1 500.0 mg/(kg·d).

Key words: sacha inchi oil; memory improvement; step-through test; step-down test; Morris water maze

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201709033

中图分类号: R965

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 09-0202-05

引文格式:

司茹, 郑梦思, 邹莉波. 美藤果油辅助改善小鼠记忆的功效[J]. 食品科学, 2017, 38(9): 202-206. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201709033. <http://www.spkx.net.cn>

SI Ru, ZHENG Mengsi, ZOU Libo. Effect of sacha inchi oil on improving memory in mice[J]. Food Science, 2017, 38(9): 202-206. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201709033. <http://www.spkx.net.cn>

记忆功能是人类获取知识、经验和从事不同作业活动的生理基础。记忆功能不仅是人脑的基本认知功能, 而且也是衡量智能发育的重要指标。记忆能力下降的诱因主要分为两大类: 一类是由于应激损伤造成的记忆能力下降, 常见的有心理应激、作业疲劳、脑外伤等; 另一类是由于衰老导致脑部生理功能减退造成的记忆能力下降, 常见的有更年期等^[1]。目前, 由于老龄化进程日益加重, 老年痴呆的发病率逐年攀升, 主要临床表现为全面的认知障碍, 包括记忆力、感官定向能力、判断力、

语言思维能力、智力等不可逆的进行性退化^[2-3]。至今仍缺乏对其有效的防治措施。

美藤果 (*Plukenetia volubilis* L.) 又名印加果、南美油藤、印加花生、星油藤等^[4], 为大戟科多年生木质藤本植物、多年生油料作物^[5]。美藤果种子富含油脂 (35%~60%)、蛋白质 (27%) 及热不稳定苦味成分。美藤果油是从美藤果仁中提取的一种食用油, 该油富含 ω -3、 ω -6和 ω -9多不饱和脂肪酸, VA, VE和一些其他微量元素。由于其不饱和脂肪酸含量达92%以上, 对人体

收稿日期: 2016-04-19

作者简介: 司茹 (1989—), 女, 硕士研究生, 主要从事神经药理学研究。E-mail: 18802461676@163.com

*通信作者: 邹莉波 (1959—), 女, 教授, 博士, 主要从事神经药理学研究。E-mail: libozou@163.com

具有良好营养作用,因此可在食品、保健品、药品、化妆品等方面应用^[6-8]。

辅助改善记忆是国家受理评审的保健食品功能之一^[9]。目前对辅助改善记忆类保健食品的功能评价包括人体试食实验及正常动物或学习记忆损害模型动物实验^[10]。在药效学研究中,经常采用 β 淀粉样蛋白(A β)模型、东莨菪碱模型、衰老动物模型、损伤模型等常见的学习记忆损害动物模型^[11]。本研究采用氢溴酸东莨菪碱腹腔注射致痴呆小鼠学习记忆障碍模型,探讨美藤果油辅助改善小鼠的记忆功能。

1 材料与amp;方法

1.1 动物、材料与试剂

雄性SPF级昆明(KM)小鼠^[12]72只,7~8周龄成年鼠,由辽宁长生生物技术有限公司提供(许可证号:SCXK(辽)2010-0001)。

美藤果油 中国科学院西双版纳热带植物园经济植物实验推广站;深海鱼油 荣成爱尔斯海洋生物科技有限公司;花生油 莱阳鲁花浓香花生油有限公司。

氢溴酸东莨菪碱 成都曼斯特生物科技有限公司;氯化钠注射液 黑龙江科伦制药有限公司。

1.2 仪器与设备

万分之一电子天平 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;电子天平 常熟市双杰试验仪器厂;移液器 美国Thermo Scientific公司;微波炉 广东格兰仕集团有限公司;接触调压器 德力西集团电源有限公司;数字万用表 深圳市革新特电子仪器仪表有限公司;跳台装置、避暗装置均由沈阳药科大学制造。

1.3 方法

1.3.1 动物分组

72只雄性SPF级昆明小鼠自由饮水摄食3d以适应环境后,将小鼠随机分为6组,分别为空白组、模型组、美藤果油组(375.1、750.2、1500.0 mg/(kg·d)),以体重计,下同)以及深海鱼油组(1500.0 mg/(kg·d)),每组12只小鼠。分组后开始灌胃相应药物,均按照10 mL/kg经口灌胃给药,溶剂均为花生油,按照相应质量浓度配制。此外,空白组和模型组给予等量花生油,每日1次,连续给药,灌胃30d后开始行为学实验,依次进行避暗实验、跳台实验及Morris水迷宫实验。行为学期间继续给药直至实验结束。

1.3.2 痴呆小鼠学习记忆障碍模型的建立

称取一定量的氢溴酸东莨菪碱,按质量浓度为0.5 mg/mL加入适量生理盐水配制成氢溴酸东莨菪碱溶液,然后在各实验进行训练前10 min,对各组小鼠分别腹腔注射氢溴酸东莨菪碱5 mg/kg建立痴呆模型。

1.3.3 避暗实验

参考文献[13]的方法。实验装置为避暗箱,分为明室和暗室,明室上方为钨灯用以照明,暗室底部铜栅除靠近明室的3根外都可以通电,电压为36 V,受一接触调压器控制,两室间有一门洞,供小鼠出入。此法系利用鼠类的嗜暗习性。实验分为两个部分,即学习阶段和记忆保持测验。1)学习阶段:灌胃受试样品30d后次日开始训练,训练前10 min腹腔注射氢溴酸东莨菪碱5 mg/kg建立痴呆模型,实验时小鼠面部背向洞口放入明室,未通电,让其自由活动3 min,再将动物赶入暗室,通交流电,动物受到电击,其正常反应是跑回明室,以躲避伤害性刺激。每只鼠训练5 min。2)记忆保持测验:24 h后进行重测验,保持铜栅处于通电状态,将小鼠面部背向洞口放入明室,记录每只小鼠进入暗室的潜伏期和5 min内的错误次数。

1.3.4 跳台实验

参考文献[9]的方法。实验装置为一长方形反应箱,大小为10 cm×30 cm×60 cm,用不透明黑色塑料板分隔成5间,底面铺以铜栅,间距为0.5 cm,可以通电,电压强度由一接触调压器控制,电压设为36 V,每间一角放置一个橡胶平台。实验分为两部分,即学习阶段和记忆保持测验。1)学习阶段:灌胃受试样品30d后次日开始训练,训练前10 min腹腔注射氢溴酸东莨菪碱5 mg/kg建立痴呆模型,将小鼠放入反应箱内适应环境3 min,然后通以电流,动物受到电击后,其正常反应是跳回平台(绝缘体)以躲避伤害性刺激。每只鼠训练5 min。2)记忆保持测验:24 h后进行重测验,保持铜栅处于通电状态,将小鼠放在平台上,记录第一次跳下平台的潜伏期及各鼠3 min内跳下平台的错误次数。

1.3.5 Morris水迷宫实验

参考文献[14]的方法。实验装置为一个圆形不锈钢水池,水池底和池壁皆为黑色,将水池分为4个虚拟象限。目标象限(第4象限)的中央位置放一直径为10 cm,高为23.5 cm的圆形黑色平台,整个实验期间其位置保持不变,水池中水面高于平台顶端约1.5 cm,水温控制在(21±1)℃,实验期间迷宫周围参照物不变,迷宫上方安置摄像机,同步记录小鼠运动轨迹,实验分为2部分:1)定向航行实验:训练前10 min腹腔注射氢溴酸东莨菪碱5 mg/kg建立痴呆模型,实验过程中保持平台的位置不变,实验开始时将动物面向池壁放入水中,记录其找到平台的时间,即为逃避潜伏期。动物上台10 s后自动停止采集。若动物在60 s规定时间内未找到平台,则将逃避潜伏期记作60 s,并人为诱导动物到达平台,停留10 s。2)空间探索实验(probe test):定向航行实验结束后,撤除平台,将动物放入池中,自由探索60 s,记录规定时间内动物在原安全台所在象限游泳的时间、路程及穿台次数等指标。

1.4 数据分析处理

本实验所有数据均应用SPSS 21.0软件进行统计,采用方差分析或者秩和检验的方法。实验数据用 $\bar{x} \pm s$ 表示, $P < 0.05$ 表示有显著差异。

2 结果与分析

2.1 避暗实验结果分析

表1 美藤果油对小鼠避暗实验的影响 ($n=12$)Table 1 Effect of sacha inchi oil on the latency time and the number of errors in step-through test ($n = 12$)

组别	潜伏期/s	错误次数
空白组	182.01 ± 116.25	0.80 ± 0.63
模型组	64.93 ± 52.74 ^{##}	2.20 ± 1.03 ^{###}
美藤果油低剂量组	109.54 ± 116.34	2.00 ± 1.60
美藤果油中剂量组	172.58 ± 109.40*	1.00 ± 0.89**
美藤果油高剂量组	169.20 ± 114.69*	0.73 ± 0.65***
深海鱼油组	192.36 ± 117.19**	0.92 ± 0.79**

注: #.与空白组比较有显著性差异 ($P < 0.05$); ##.与空白组比较有极显著性差异 ($P < 0.01$); ###.与空白组比较有高度显著性差异 ($P < 0.001$); *.与模型组比较有显著性差异 ($P < 0.05$), **.与模型组比较有极显著性差异 ($P < 0.01$); ***.与模型组比较有高度显著性差异 ($P < 0.001$)。下同。

由表1可知,与空白组相比,模型组小鼠进入暗室的潜伏期显著缩短 ($P < 0.05$),错误次数极显著增加 ($P < 0.01$),提示模型组小鼠学习记忆能力下降。与模型组相比,美藤果油中、高剂量和深海鱼油组潜伏期显著延长 ($P < 0.05$, $P < 0.01$),错误次数极显著减少 ($P < 0.01$, $P < 0.001$)。

2.2 跳台实验结果分析

表2 美藤果油对小鼠跳台实验的影响 ($n=12$)Table 2 Effect of sacha inchi oil on the latency time and the number of errors in step-down test ($n = 12$)

组别	潜伏期/s	错误次数
空白组	156.61 ± 48.00	0.27 ± 0.47
模型组	15.88 ± 23.34 ^{###}	2.73 ± 1.56 ^{###}
美藤果油低剂量组	31.20 ± 53.95	1.82 ± 0.87
美藤果油中剂量组	57.51 ± 79.95	0.82 ± 0.60***
美藤果油高剂量组	96.91 ± 87.24*	0.67 ± 0.78***
深海鱼油组	62.11 ± 81.58	0.90 ± 0.74**

由表2可知,与空白组相比,模型组小鼠跳下平台的潜伏期高度显著缩短 ($P < 0.001$),错误次数高度显著增加 ($P < 0.001$),提示模型组小鼠学习记忆能力下降。与模型组相比,美藤果油高剂量组潜伏期显著延长 ($P < 0.05$),错误次数高度显著减少 ($P < 0.001$);美藤果油中剂量组和深海鱼油组错误次数极显著减少 ($P < 0.001$, $P < 0.01$)。

2.3 Morris水迷宫实验结果

2.3.1 定向航行实验结果

表3 美藤果油对小鼠Morris水迷宫定向航行逃避潜伏期的影响 ($n=12$)Table 3 Effect of sacha inchi oil on escape latency in Morris water maze test ($n = 12$)

组别	潜伏期/s			
	第1天	第2天	第3天	第4天
空白组	53.63 ± 11.15	50.35 ± 10.16	34.60 ± 19.76	33.43 ± 13.43
模型组	59.90 ± 0.04	56.32 ± 7.13	49.35 ± 15.67	48.98 ± 11.17 ^{##}
美藤果油低剂量组	51.79 ± 10.21	56.28 ± 8.50	51.47 ± 10.56	50.84 ± 11.68
美藤果油中剂量组	57.26 ± 7.07	53.00 ± 11.54	52.69 ± 12.68	49.58 ± 15.69
美藤果油高剂量组	56.71 ± 6.13	58.74 ± 4.24	53.09 ± 11.29	54.67 ± 10.17
深海鱼油组	56.70 ± 5.77	55.37 ± 12.22	47.50 ± 15.45	56.87 ± 7.04

表4 美藤果油对小鼠Morris水迷宫定向航行游泳总路程的影响 ($n=12$)Table 4 Effect of sacha inchi oil on swimming distance in Morris water maze test ($n = 12$)

组别	路程/cm			
	第1天	第2天	第3天	第4天
空白组	548.53 ± 142.22	510.11 ± 153.83	336.80 ± 222.93	363.31 ± 172.97
模型组	642.36 ± 104.45	587.82 ± 140.09	527.47 ± 181.44	566.40 ± 154.37 [#]
美藤果油低剂量组	602.87 ± 168.16	665.21 ± 145.83	606.77 ± 202.10	653.88 ± 185.50
美藤果油中剂量组	631.56 ± 109.16	574.48 ± 170.77	603.33 ± 166.50	592.06 ± 226.24
美藤果油高剂量组	650.72 ± 132.89	715.83 ± 111.08	648.15 ± 179.67	720.09 ± 163.78
深海鱼油组	630.18 ± 151.55	635.41 ± 199.98	585.19 ± 241.41	733.76 ± 133.63

由表3、4可知,与空白组相比,模型组小鼠定向航行训练第4天逃避潜伏期和游泳总路程均显著增加 ($P < 0.01$, $P < 0.05$),提示模型组小鼠空间学习记忆能力下降;与模型组相比,各实验组均无显著变化。

2.3.2 空间探索实验结果分析

表5 美藤果油对小鼠Morris水迷宫空间探索目标象限游泳相对时间、路程的影响 ($n=12$)Table 5 Effect of sacha inchi oil on percentage of the time spent and the distance traveled in the fourth quadrant in the spatial probe test of Morris water maze ($n = 12$)

组别	%	
	目标象限游泳相对时间	目标象限游泳相对路程
空白组	0.32 ± 0.10	3.45 ± 2.46
模型组	0.29 ± 0.08	2.00 ± 1.20
美藤果油低剂量组	0.31 ± 0.08	2.58 ± 1.44
美藤果油中剂量组	0.31 ± 0.07	2.23 ± 1.01
美藤果油高剂量组	0.33 ± 0.06	2.36 ± 1.57
深海鱼油组	0.35 ± 0.10	2.64 ± 2.38

由表5可知,与空白组相比,模型组小鼠空间探索实验目标象限游泳相对时间及相对路程均未见显著降低,提示模型组小鼠空间记忆能力未减弱;与模型组相比,各实验组目标象限游泳相对时间和相对路程均未见显著差异。

3 讨论

氢溴酸东莨菪碱通过阻断突触后M1受体,破坏海马的记忆功能,进而造成记忆获得障碍。氢溴酸东莨

若碱所致的痴呆动物模型在改善记忆药物及功能食品研究中被广泛应用^[2,15-16]。本研究采用小鼠避暗实验、跳台实验及Morris水迷宫实验等方法证明,美藤果油在375.1~1 500.0 mg/(kg·d)的剂量范围内剂量依赖性地延长腹腔注射东莨菪碱致痴呆小鼠避暗和跳台实验的潜伏期,减少其错误次数,提示美藤果油能显著改善东莨菪碱所致痴呆小鼠的学习记忆障碍。而在水迷宫测试中所出现的阴性结果可能与造模使用的氢溴酸东莨菪碱的剂量及水迷宫设备误差等因素有关,有待今后多次重复实验。根据《保健食品检验与评价技术规范》^[9],在跳台实验、避暗实验、穿梭箱实验、水迷宫实验中,任2项实验结果阳性可以判定该受试样品辅助改善记忆功能动物实验结果为阳性,因此,美藤果油具有一定的辅助改善小鼠记忆的功效^[9]。

近年来的研究表明,深海鱼油可以起到促进脑细胞生长发育以及防治老年性痴呆等功效^[17-18]。它是从海洋生物中提取的一种多不饱和脂肪酸。由于目前深海鱼油主要是从富含脂肪的鱼肝和鱼肉中提取,因而饱和脂肪酸的含量较美藤果油的含量高,而多不饱和脂肪酸的含量又不及美藤果油(表6)。因此,与实验结果相符,美藤果油辅助改善学习记忆障碍的功效可能较阳性对照药深海鱼油更好。而目前在我国主要食用的油料作物油脂中(包括大豆、花生、玉米、向日葵、油菜等)亚麻酸含量很低,通常在0%~10%之间。因此开发利用美藤果油将提高我国食用油的品质,并为保健品的开发提供优质资源。

表6 各种食用油中脂肪酸组成比例
Table 6 Fatty acid composition of sacha inchi oil and other edible oils

种类	饱和脂肪酸含量	单元不饱和脂肪酸含量	多元不饱和脂肪酸含量		芥酸含量
			ω -3 (亚麻酸)	ω -6 (亚油酸)	
美藤果油	6~8	8~14	45~55	26~35	
鱼油 ^[19]	20~30	20~45	20~26	1~7	
橄榄油 ^[19-20]	9~11	84~86	1	4~7	
亚麻油 ^[6]	6~10	20~30	54.6	18.7	3.5

随着生活水平的提高以及高科技的发展,保健食品逐渐走进人们的生活。经查询,在我国规定的27类保健食品中,2003年12月12日之后经国家食品药品监督管理局审批的具有辅助改善记忆功能的保健食品有90种,在国产5 293种保健食品中所占比例很小,因此,这类产品具有良好的开发前景^[21]。

美藤果油是从美藤果仁中提取的一种食用油,安全无毒^[22]。其中含有7种人体必需氨基酸,不饱和脂肪酸含量可达90%以上,是世界上不饱和脂肪酸含量最高的植物油之一,其中 ω -3、 ω -6不饱和脂肪酸的比例为1:0.75,最接近人体的吸收比例,是世界上最好的食用油之一^[23-24]。美藤果油中含量最高的脂肪酸为亚麻酸(45.62%)。亚麻酸是人体必需且不能直接合成的脂肪

酸,人体摄入后,经过脂肪酸饱和酶和碳链延长酶的作用代谢生成DHA^[20,25],缺乏DHA会引起子代的出生后生长滞后、神经传递延长、认知和记忆能力下降,对人体健康起着非常重要的作用^[26-28]。

已有研究表明, α -亚麻酸是维系人类脑进化的生命核心物质,它是一种重要的多不饱和脂肪酸^[29]。目前国内研究表明,它能够有效地抗血栓,降血脂、降血压、防治心血管疾病等。关于亚麻酸及其衍生物作为药物或添加剂,用来预防和治疗心血管等疾病方面,德国和日本等国已申请了相关专利^[30],而国内市场关于亚麻酸在医药工业中的应用还处于起步阶段。因此,美藤果油优良的脂肪酸组成不仅使其成为一种优质的食用油,而且还使其在保健食品行业和医药领域中具有良好的应用价值和开发前景。

参考文献:

- [1] 葛华,赵安东,詹皓.改善记忆功能的药物研究进展[J].人民军医,2014,57(11):1251-1253.
- [2] 明建,曾凯芳,吴素蕊,等.天麻多糖PGEB-3-H对东莨菪碱所致小鼠学习记忆障碍的影响[J].食品科学,2010,31(3):246-249.
- [3] PALMER A M. Pharmacotherapy for Alzheimer's disease: progress and prospects[J].Trends in Pharmacological Sciences, 2002, 23(9):426-433. DOI:10.1016/S0165-6147(02)02056-4.
- [4] 蔡志全,杨清,唐寿贤,等.木本油料作物星油藤种子营养价值的评价[J].营养学报,2011,33(2):193-195.
- [5] CAI Zhiquan. Shade delayed flowering and decreased photosynthesis, growth and yield of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) plants[J]. Industrial Crops and Products, 2011, 34(1): 1235-1237. DOI:10.1016/j.indcrop.2011.03.021.
- [6] 张思佳,黄璐,熊周权,等.美藤果油研究进展[J].粮食与油脂,2013,26(6):4-6. DOI:10.3969/j.issn.1008-9578.2013.06.004.
- [7] FANAIL C, DUGO L, CACCIOLA F, et al. Chemical characterization of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(24): 13043-13049. DOI:10.1021/jf203184y.
- [8] MENDOZA N P. Obtención de los ácidos grasos del aceite de la *Plukenetia volubilis* L. "Sacha Inchi" para la utilización en la industria y estudio fitoquímico cualitativo de la almendra[D]. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2008: 1-79.
- [9] 卫生部.保健食品检验与评价技术规范[M].北京:中科多媒体电子出版社,2003:1;6-7;58-63.
- [10] 严卫星,何来英.《保健食品功能学评价程序和检验方法》的有关技术问题[J].中国食品卫生杂志,1999,11(2):17-21. DOI:10.3969/j.issn.1004-8456.1999.02.008.
- [11] 刘小莉,陈虹.阿尔茨海默病动物模型研究概况[J].山东医药,2007,47(11):76-77. DOI:10.3969/j.issn.1002-266X.2007.11.051.
- [12] 刘静波,宫新统,林松毅,等.蛋黄卵磷脂对受试小鼠改善记忆效果的实验研究[J].食品工业,2009,30(3):10-11.
- [13] 卜兰兰,石哲,孙秀萍,等.一种辅助改善记忆保健食品功能评价的动物模型[J].中国食品卫生杂志,2011,23(5):402-406. DOI:10.13590/j.cjfh.2011.05.004.
- [14] 李晶.鱼油制剂改善小鼠记忆作用的实验研究[J].食品科学,2004,25(10):301-304.

- [15] 邹宇晓, 廖森泰, 吴娱明, 等. 金针菇多糖提取物对记忆障碍模型大鼠、小鼠学习记忆能力的影响[J]. 中国食品学报, 2010, 10(1): 26-29. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2010.01.004.
- [16] 孙向红, 刘洪玲, 戚欣, 等. 中药复方海康灵对东莨菪碱所致痴呆小鼠学习记忆影响及其机制的实验研究[J]. 中国医院药学杂志, 2008, 28(6): 442-446. DOI:10.3321/j.issn:1001-5213.2008.06.012.
- [17] MULDOON M F, RYAN C M, SHEU L, et al. Serum phospholipid docosahexaenoic acid is associated with cognitive functioning during middle adulthood[J]. The Journal of Nutrition, 2010, 140(4): 848-853. DOI:10.3945/jn.109.119578.
- [18] 曾强, 张静姝, 刘忠慧, 等. 深海鱼油改善小鼠记忆功能的实验研究[J]. 卫生研究, 2012, 41(3): 441-444.
- [19] 肖颖, 闫少芳, 王军波, 等. 橄榄油和鱼油对大鼠血脂和脂质过氧化的影响[J]. 卫生研究, 2001, 30(4): 211-212.
- [20] 张嘉怡, 杜冰, 谢蓝华, 等. 绿色新资源食品: 美藤果油[J]. 中国油脂, 2013, 38(7): 1-4. DOI:10.3969/j.issn.1003-7969.2013.07.001.
- [21] 吴素蕊, 高观世, 罗晓莉, 等. 某保健食品辅助改善记忆功能人体试食试验[J]. 中国预防医学, 2010, 11(1): 31-34.
- [22] 刘付英. 美藤果及美藤果油的理化性质和油脂的脂肪酸组成成分[J]. 中国油脂, 2014, 39(7): 95-97.
- [23] 蔡志全. 特种木本油料作物星油藤的研究进展[J]. 中国油脂, 2011, 36(10): 1-6.
- [24] GONZALES G F, GONZALES C. A randomized, double-blind placebo-controlled study on acceptability, safety and efficacy of oral administration of sacha inchi oil (*Plukenetia volubilis* L.) in adult human subjects[J]. Food and Chemical Toxicology, 2014, 65: 168-176. DOI:10.1016/j.fct.2013.12.039.
- [25] ZHU G, SALEH A A, BAHWAL S A, et al. Reconstitution of polyunsaturated fatty acid synthesis enzymes in mammalian cells to convert LA to DHA[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2015, 31(2): 281-290. DOI:10.13345/j.cjb.140235.
- [26] CHURCH M W, JEN K L, JACKSON D A, et al. Abnormal neurological responses in young adult offspring caused by excess omega-3 fatty acid (fish oil) consumption by the mother during pregnancy and lactation[J]. Neurotoxicol Teratol, 2009, 31(1): 26-33. DOI:10.1016/j.ntt.2008.09.001.
- [27] CARAMIA G. Omega-3: from cod-liver oil to nutrigenomics[J]. Minerva Pediatrica, 2008, 60(4): 443-455.
- [28] CANSEV M. Synaptogenesis: modulation by availability of membrane phospholipid precursors[J]. NeuroMolecular Medicine, 2016, 18(3): 426-440. DOI:10.1007/s12017-016-8414-x.
- [29] HENNEBELLE M, COURCHESNE-LOYER A, ST-PIERRE V, et al. Preliminary evaluation of a differential effect of an α -linolenate-rich supplement on ketogenesis and plasma ω -3 fatty acids in young and older adults[J]. Nutrition, 2016, 32(11): 1211-1216. DOI:10.1016/j.nut.2016.03.025.
- [30] 高大文. α -亚麻酸的药用价值及研究概况[J]. 中国现代医生, 2009, 47(31): 30-31. DOI:10.3969/j.issn.1673-9701.2009.31.013.