

短期摄食卵黄磷脂与鱼油对高脂小鼠脂质代谢的影响

史豪豪, 车红霞, 高翔, 崔洁, 王玉明, 薛长湖

(中国海洋大学食品科学与工程学院, 山东青岛 266003)

摘要: 比较研究短期摄食磷脂型 (Docosahexaenoic acid, DHA)、甘油三酯型 DHA 以及甘油三酯型 DHA 与卵黄磷脂复合物对高脂小鼠脂质代谢的影响。C57BL/6J 小鼠按体重分为 5 组, 低脂对照组、高脂模型组、磷脂型 DHA 组、甘油三酯型 DHA 组、甘油三酯型 DHA 与蛋黄磷脂的复配组, 各受试物组均采用高脂饲料, 喂食一周后, 分别测定血清、肝脏和脑内的脂质水平以及肝脏和脑内的脂肪酸组成。短期膳食补充 DHA 后均可不同程度改善小鼠的脂质代谢。磷脂型 DHA 以及甘油三酯型 DHA 与蛋黄磷脂的复配同等程度显著降低了高脂摄食小鼠的血清 TG 浓度; 而在降低 TC 方面, 磷脂型 DHA 效果优于复配型; 甘油三酯型 DHA 与卵黄磷脂的复配组肝脏 TG 水平显著低于高脂组, 但与磷脂型 DHA 组无显著差异; 磷脂型 DHA 与复配型均显著提高肝脏和脑内 DHA 含量。磷脂型 DHA 能够更有效改善高脂饮食小鼠血清和肝脏脂质代谢, 且磷脂型 DHA 在增加脑内 DHA 方面效果最佳。

关键词: 脂质代谢; 二十二碳六烯酸; 甘油三酯; 磷脂; 脂肪酸组成

文章编号: 1673-9078(2017)7-9-16

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.7.002

Effects of Short-term Consumption of Fish Oil-egg-phospholipid on Lipid Metabolism in Mice Fed a High-fat Diet

SHI Hao-hao, CHE Hong-xia, GAO Xiang, CUI Jie, WANG Yu-ming, XUE Chang-hu

(College of Food Science and Technology, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: The effects of short-term consumption of docosahexaenoic acid (DHA)-enriched phospholipids, DHA-enriched triglycerides, and the combination of DHA-enriched triglycerides and egg-phospholipids on lipid metabolism in mice fed a high-fat diet were compared. C57BL/6J mice were divided into five groups: low-fat group, high-fat group, DHA-enriched phospholipid group, DHA-enriched triglyceride group, and DHA-enriched triglyceride-egg-phospholipids combination group. Mice were fed the high-fat diet for a week; thereafter, lipid levels in the serum, liver, and brain were measured, along with the fatty acid compositions in the liver and brain. The short-term dietary supplementation of DHA could improve lipid metabolism in mice to different degrees. The serum triglyceride (TG) concentration was significantly reduced by DHA-enriched phospholipids and by the combination of DHA-enriched triglycerides and egg-phospholipids to the same degree. DHA-enriched phospholipids were superior to the combination of DHA-enriched triglycerides and egg-phospholipids in decreasing total serum cholesterol. The hepatic TG level in the combination group was notably lower than that in the high-fat group. However, no significant difference was observed in the hepatic TG level between the DHA-enriched phospholipids group and the combination group. Furthermore, DHA-enriched phospholipids and the combination of DHA-enriched triglycerides and egg-phospholipids could significantly increase the content of DHA in the liver and brain. DHA-enriched phospholipids could more effectively improve lipid metabolism in the serum and liver of mice fed a high-fat diet, and showed the highest increase in brain DHA level.

Key words: lipid metabolism; docosahexaenoic acid (DHA); triglyceride; phospholipid; fatty acid composition

二十二碳六烯酸 (DHA, w-3), 具有降低血脂^[1]、预防动脉粥样硬化^[2]、抗炎^[3]及维护视网膜^[4]等生理活

收稿日期: 2016-10-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31371757)

作者简介: 史豪豪 (1993-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 水产化学与分子营养学

通讯作者: 王玉明 (1973-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品营养学

性。天然的 DHA 主要以磷脂型形式 (PL-DHA) 和甘油三酯型的形式存在于海洋生物中。磷脂型 DHA 是磷脂分子中含有 1 分子 DHA 的磷脂, 理论上同时具备 DHA 和磷脂的双重营养保健功效。研究表明, 磷脂型 DHA 在改善高甘油三酯血症、提高记忆能力以及抗炎等方面优于甘油三酯型 DHA 和普通磷脂^[5-7]。

但是磷脂型 DHA 其来源有限, 目前的来源主要

是鱼卵和南极磷虾等海洋生物,且纯化过程复杂,产量少,使其在保健食品中的应用受到限制^[8]。市场上富含 DHA 的鱼油产品主要是甘油三酯形式^[9]。卵黄磷脂(PL-EGG)易从蛋黄中大量获取,但其脂肪酸组成中不含 DHA^[10]。因此,是否可以用来源便捷的卵黄磷脂与甘油三酯型 DHA 的复合物代替来源稀缺的磷脂型 DHA 发挥优良的生物活性?到目前为止,甘油三酯型 DHA 与卵黄磷脂的复合物与磷脂型 DHA 对脂质代谢影响的比较研究还未见报道,因此,本研究在高脂喂养条件下,比较了短期摄食甘油三酯型 DHA 与卵黄磷脂的复配与磷脂型 DHA 对脂质代谢的影响,从而为鱼油产品的合理利用和相关功能食品的开发提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 实验原料

表 1 油脂原料的主要脂肪酸组成

Table 1 Main fatty acid compositions of the raw material

FA composition/%	TG-DHA	PL-DHA	PL-EGG
C14:0	4.11±0.02	2.49±0.12	0.15±0.01
C16:0	20.8±0.43	27.8±0.60	29.4±0.52
C16:1n-6	6.55±0.03	0.54±0.02	1.68±0.01
C18:0	2.68±0.02	7.96±0.03	22.3±0.14
C18:1n-9	11.3±0.09	6.37±0.03	24.0±0.22
C18:2n-6	10.8±0.11	-	14.2±0.12
C20:1n-9	1.16±0.01	8.97±0.05	0.18±0.00
C20:4n-6(AA)	-	2.52±0.02	5.05±0.08
C20:5n-3(EPA)	10.4±0.13	10.6±0.32	0.32±0.01
C22:6n-3(DHA)	31.5±0.21	32.2±0.25	1.55±0.01
∑SFA	27.8	38.9	51.8
∑MUFA	18.8	15.9	26.1
∑PUFA	53.4	45.2	22.1

注:“-”表示未检出。

鳶乌贼 (*Sthenoteuthis oualaniensis*) 卵由浙江舟

表 2 动物实验饲料成分及脂肪酸组成

Table 2 Ingredients and fatty acid compositions of experimental diets

	LF	HF	TG-DHA	PL-DHA	TG-DHA+PL-EGG
Ingredients/(g/kg)					
大豆油	25	50	39.9	42.0	32.5
猪油	25	175	161.2	159.7	143.5
玉米淀粉	250	75	75	75	75
蔗糖	400	400	400	400	400

山神州海洋生物技术公司提供;甘油三酯型鱼油由中国海洋大学食品科学与工程学院提供;卵黄磷脂购自天津市博迪化工有限公司。脂肪酸组成见表 1。

1.1.2 试剂

甘油三酯(TG)测定试剂盒、总胆固醇(TC)测定试剂盒、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-c)测定试剂盒,购自北京中生北控生物科技股份有限公司;其余试剂为国产分析纯。

1.1.3 实验仪器

BS-600 电子天平,上海友声衡器有限公司;Model 680 型酶标仪,美国 Bio RAD 产品;HD-200p 型加热器及氮吹设备,瑞士 Blue Marlin 公司;Agilent 7820 型气相色谱仪,美国 Agilent 科技公司;LABOROTA 4000 型旋转蒸发仪,德国 Heidolph;IKA MS 3 digital 旋涡混匀器,德国 IKA 集团。

1.2 实验方法

1.2.1 动物分组

雄性 SPF 级 C57BL/6J 小鼠,4 周龄,体重 19~20 g,购自北京维通利华实验动物技术有限公司,按体重随机分为 5 组,每组 8 只。自由摄食饲料和饮水,饲料每日更新并测定摄食量,隔日测一次体重,喂食 1 周。

1.2.2 模型建立

饲料按照 AIN-76 标准配方配制(表 2)。小鼠分为低脂对照组(LF)、高脂模型组(HF)、磷脂型 DHA 组(PL-DHA)、甘油三酯型 DHA 组(TG-DHA)及甘油三酯型 DHA 与蛋黄磷脂的复配组(TG-DHA+PL-EGG)。其中对照组喂食低脂饲料(5%脂肪),模型组喂食高脂饲料(22.5%脂肪),受试物组饲料是在模型组基础上按照 EPA+DHA=1%的剂量添加相应油脂原料,而由此增加的脂肪酸含量从 22.5%脂肪中扣除,使各组之间总脂肪酸含量保持一致。同时在配饲料时,要综合考虑大豆油、猪油、油脂原料中脂肪酸的组成情况,计算出在各组 EPA、DHA、SFA、MUFA 和 PUFA 含量相等的情况下所需要的各种油脂质量。

转下页

接上页

干酪素	200	200	200	200	200
纤维素	50	50	50	50	50
矿质元素	35	35	35	35	35
维生素	10	10	10	10	10
重酒石酸胆碱	2	2	2	2	2
DL-蛋氨酸	3	3	3	3	3
不同形式 PUFA	-	-	23.9	31.0	23.9
蛋黄磷脂	-	-	-	-	33.5
FA composition/(g/kg)					
C14:0	0.34±0.01	2.27±0.03	3.07±0.01	2.65±0.01	2.87±0.01
C16:0	7.85±0.14	43.2±0.23	44.1±0.19	45.4±0.16	46.9±0.23
C16:1n-6	0.70±0.00	4.89±0.06	5.99±0.09	4.59±0.12	5.92±0.14
C18:0	5.47±0.13	38.3±0.18	35.9±0.17	36.7±0.29	37.5±0.19
C18:1n-9	15.7±0.16	74.2±0.31	69.2±0.23	68.2±0.48	67.1±0.34
C18:2n-6	18.0±0.14	58.3±0.23	53.0±0.18	51.3±0.27	49.4±0.37
C18:3n-6	1.87±0.03	3.73±0.03	3.12±0.02	3.14±0.07	2.59±0.04
C20:0	0.09±0.00	0.17±0.01	0.14±0.01	0.14±0.00	0.14±0.01
C20:1n-9	-	-	0.27±0.01	2.09±0.06	0.31±0.01
C20:4n-6(AA)	-	-	0.00	0.49±0.01	1.27±0.07
C20:5n-3(EPA)	-	-	2.50±0.03	2.47±0.02	2.58±0.01
C22:6n-3(DHA)	-	-	7.50±0.07	7.53±0.03	7.89±0.31
ΣSFA	13.7	83.8	83.3	85.3	87.6
ΣMUFA	16.4	79.1	75.6	74.8	73.4
ΣPUFA	19.9	62.1	66.1	64.9	64.0

注：“-”表示未检出。

1.2.3 血脂、肝脂测定

于末次进食后,小鼠禁食不禁水 12 h,眼窝取血后,颈椎脱臼处死,血液室温放置 30 min 后冷却离心,分离血清,仔细剥离肝脏和脑,分别称重后-80 °C 冻存,备用。试剂盒测定血清总胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白含量。肝脏总脂肪以 Folch 方法提取^[11],试剂盒测定 TC 和 TG 含量,按照 Bartlett 等方法测定肝脏总磷脂^[12]。

1.2.4 肝脏总脂质脂肪酸组成分析

肝脏总脂质经皂化后盐酸-甲醇法进行甲酯化,使用气相色谱仪进行脂肪酸组成分析:色谱柱选用 HP-INNOWax 石英毛细管柱(30 m×320 μm, 0.25 μm),分流比为 20:1,压力设定值为 9.06 psi,流速为 1.19 mL/min;柱温:起始温度为 170 °C,保持 5 min,之后按照 3 °C/min 的速度升至 210 °C,然后在 210 °C 下保持 30 min;检测器为氢火焰离子化检测器(FID),

进样口温度 240 °C,检测器温度 250 °C。

1.3 统计方法

实验数据以 $\bar{x} \pm S.E.$ 表示,采用 SPSS 13.0 软件进行方差分析,组间采用 one-way ANOVA (Duncan's test) 分析,以 $p < 0.05$ 为具有统计学意义上的显著差异。

2 结果与分析

2.1 对小鼠生长的影响

由表 3 可看出,小鼠饲养一周后,实验组小鼠摄食量与高脂组比较无显著性差异,复配组小鼠肝脏重量显著性增加,较高脂组增加 27% ($p < 0.05$)。磷脂型 DHA 与甘油三酯型 DHA 小鼠肝脏重量与高脂组无显著性差异。此外 DHA 各组之间其它指标与模型组相比较无显著差异。

表 3 不同分子形式 DHA 对小鼠生长的影响

Table 3 Effects of different forms of DHA on mouse growth (n=8)

	LF	HF	TG-DHA	PL-DHA	TG-DHA+PL-EGG
摄食量/(g/d)	3.28±0.30	2.54±0.11*	2.57±0.14	2.57±0.16	2.51±0.17
初始体重/g	21.6±0.23	21.6±0.15	21.2±0.38	21.2±0.38	21.2±0.26
体重增加量/g	1.10±0.46	1.56±0.21 ^a	1.13±0.14 ^a	1.82±0.56 ^a	1.06±0.18 ^a
内脏脂肪重量/(×10 ⁻² g/g 体重)	1.00±0.02	1.21±0.12	1.24±0.05	1.12±0.13	1.11±0.08
肝脏/(×10 ⁻² g/g 体重)	4.60±0.56	3.90±0.23 ^a	4.04±0.15 ^a	4.10±0.18 ^a	4.95±0.23 ^b
脑/(×10 ⁻² g/g 体重)	1.30±0.03	1.36±0.04	1.37±0.03	1.40±0.03	1.31±0.03

注: * $p < 0.05$, 与低脂组相比; 不同字母标识代表高脂饮食组间具有显著性差异。

2.2 对小鼠血清脂质的影响

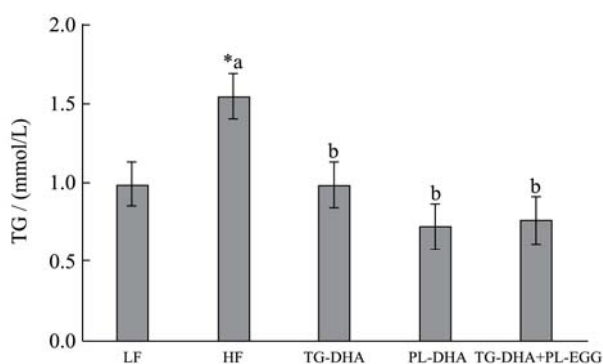


图 1 不同分子形式 DHA 对小鼠血清 TG 水平的影响

Fig.1 Effects of different forms of DHA on the serum TG level in mice (n=8)

注: * $p < 0.05$, 与低脂组相比; 不同字母标识代表高脂饮食组间具有显著性差异。

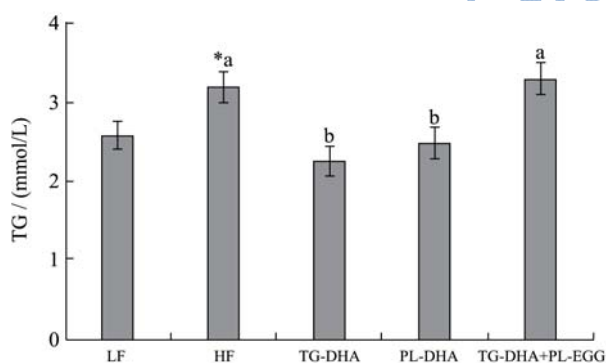


图 2 不同分子形式 DHA 对小鼠血清 TC 水平的影响

Fig.2 Effects of different forms of DHA on the serum TC level in mice (n=8)

注: * $p < 0.05$, 与低脂组相比; 不同字母标识代表高脂饮食组间具有显著性差异。

小鼠饲养一周之后, 高脂组小鼠血清中 TG 含量较较低脂组增加 50% ($p < 0.05$)。经不同分子形式 DHA

干预一周后, 与高脂组相比较, 甘油三酯型 DHA、磷脂型 DHA 和复配组小鼠血清中 TG 含量分别减少了 35%、54%和 51%。

小鼠经不同受试物干预饲养一周之后, 各受试物组的 TC 水平发生了显著性变化, 与高脂组相比, 磷脂型 DHA 降低血清中 TC 水平了 22% ($p < 0.05$), 而复配组小鼠血清 TC 水平与高脂组比较无显著差异。

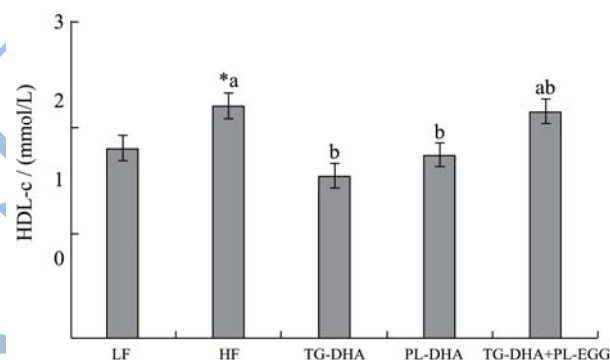


图 3 不同分子形式 DHA 对小鼠血清 HDL-c 水平的影响

Fig.3 Effects of different forms of DHA on the serum HDL-c level in mice (n=8)

注: * $p < 0.05$, 与低脂组相比; 不同字母标识代表高脂饮食组间具有显著性差异。

在血清 HDL-c 水平方面, 与高脂组相比, 磷脂型 DHA 与甘油三酯型 DHA 均能显著降低 HDL-c 水平, 分别为 22%和 31%, 而复配组小鼠 HDL-c 水平与高脂组无显著差异($p > 0.05$)。

2.3 对小鼠肝脏脂质的影响

由表 4 可以看出, 摄食 DHA 的各组, 仅复配组的小鼠肝脏 TG 水平显著低于高脂组 (50%, $p < 0.05$), 是各受试物组之间 TG 水平之间无显著性差异。经 DHA 饮食干预一周后, 各实验组小鼠 TC 及 PL 水平与高脂组相比无显著性变化。

表 4 不同分子形式 DHA 对小鼠肝脏脂质水平的影响

Table 4 Effects of different forms of DHA on the hepatic lipid level in mice (n=8)

	LF	HF	TG-DHA	PL-DHA	TG-DHA+PL-EGG
TG/(mg/g liver)	17.6±1.70	20.2±3.73 ^a	14.4±2.77 ^{ab}	13.8±1.06 ^{ab}	10.7±0.89 ^b
TC/(mg/g liver)	2.55±0.12	2.71±0.11	2.65±0.18	2.57±0.07	2.46±0.09
PL/(mg/g liver)	36.5±1.53	37.5±0.85	38.8±0.82	39.0±0.77	36.5±1.03

注: **p*<0.05, 与低脂组相比; 不同字母标识代表高脂饮食组间具有显著性差异。

2.4 对小鼠肝脏磷脂脂肪酸组成的影响

表 5 不同分子形式 DHA 对小鼠肝脏磷脂脂肪酸组成的影响

Table 5 Effects of different forms of DHA on the FA composition of hepatic phospholipids in mice (n=8)

FA composition/%	LF	HF	TG-DHA	PL-DHA	TG-DHA+PL-EGG
C14:0	0.79±0.02	0.49±0.01	0.52±0.00	0.42±0.01	0.66±0.01
C16:0	29.5±0.23	25.2±0.32 ^a	27.8±0.24 ^a	26.6±0.19 ^a	30.1±0.39 ^b
C18:0	18.9±0.23	21.2±0.29	20.21±0.18	19.9±0.09	20.7±0.28
C18:1	10.9±0.19	9.56±0.08 ^a	7.98±0.09 ^b	8.33±0.13 ^b	7.77±0.19 ^b
C18:2	15.5±0.24	16.7±0.23 ^a	15.9±0.34 ^a	17.8±0.12 ^a	14.6±0.11 ^b
C18:3	0.39±0.01	0.42±0.00	0.28±0.01	0.29±0.00	0.17±0.00
C20:4(AA)	15.0±0.13	16.0±0.19 ^a	10.91±0.11 ^b	11.1±0.09 ^b	11.0±0.12 ^b
C20:5(EPA)	0.87±0.04	1.11±0.07 ^a	2.39±0.13 ^b	2.30±0.03 ^b	2.24±0.09 ^b
C22:6(DHA)	7.97±0.13	9.22±0.19 ^a	13.5±0.21 ^b	13.2±0.27 ^b	12.7±0.14 ^b

注: **p*<0.05, 与低脂组相比; 不同字母标识代表高脂饮食组间具有显著性差异。

DHA 饮食干预一周后, 肝脏总磷脂中主要脂肪酸比例的测定结果如表 5 所示, 高脂饮食可以有效的提高肝脏组织中多不饱和脂肪酸含量, 饱和脂肪酸中仅 C16:0 相对于低脂组减少了 13%。甘油三酯型 DHA、磷脂型 DHA 组与复配组之间小鼠肝脏总磷脂的 EPA、DHA 含量相对于高脂组均显著提高 (*p*<0.05), AA、

C18:1 显著低于模型组 (*p*<0.05)。此时, 复配组相对于高脂组小鼠肝脏总磷脂中 C16:0 比例增加了 20%, C18:2 比例显著下降 (*p*<0.05)。

2.5 对小鼠肝脏甘油三酯脂肪酸组成的影响

表 6 不同分子形式 DHA 对小鼠肝脏甘油三酯脂肪酸组成的影响

Table 6 Effects of different forms of DHA on the FA composition of hepatic triglycerides in mice (n=8)

FA composition/%	LF	HF	TG-DHA	PL-DHA	TG-DHA+PL-EGG
C14:0	0.75±0.09	0.73±0.04	0.68±0.01	0.98±0.02	0.64±0.00
C16:0	30.6±0.23	27.5±0.31 ^{*a}	28.5±0.32 ^b	29.9±0.29 ^b	35.8±0.24 ^c
C18:0	1.61±0.04	1.96±0.03 ^a	3.21±0.09 ^c	3.19±0.04 ^c	3.21±0.06 ^c
C18:1	45.1±0.62	37.8±0.48 ^a	32.6±0.50 ^b	32.4±0.43 ^b	31.0±0.29 ^b
C18:2	17.8±0.20	26.8±0.24 ^{*a}	24.3±0.32 ^b	26.2±0.29 ^a	22.3±0.19 ^b
C18:3	1.67±0.01	2.04±0.04	1.32±0.01	1.34±0.02	0.95±0.00
C20:4(AA)	1.21±0.03	1.58±0.04	1.01±0.01	0.82±0.01	1.05±0.02
C20:5(EPA)	0.22±0.00	0.21±0.01 ^a	1.05±0.02 ^b	0.91±0.01 ^b	0.87±0.01 ^b
C22:6(DHA)	1.05±0.03	1.35±0.07 ^a	7.32±0.13 ^c	4.19±0.11 ^b	4.25±0.09 ^b

注: **p*<0.05, 与低脂组相比; 不同字母标识代表高脂饮食组间具有显著性差异。

甘油三酯是肝脏脂质的主要储存形式。由表 6 可知, 与低脂对照组相比, 高脂模型组小鼠肝脏甘油三酯中 C16:0、C18:2 变化与肝脏磷脂中脂肪酸组成变化趋势一致。此外, 实验组相对于高脂组 C18:1 比例显

著下降, C16:0、C18:0、EPA、DHA 比例显著升高 (*p*<0.05)。同时, 甘油三酯型 DHA 与复配组相对模型组 C18:2 比例分别减少了 10%和 17% (*p*<0.05)。此外, 各受试物组之间, 各受试物均能显著提高 DHA

比例,甘油三酯型 DHA 组 DHA 比例显著高于磷脂型 DHA 组与复配组 ($p<0.05$)。

2.6 对小鼠脑脂质水平的影响

表 7 不同分子形式 DHA 对小鼠脑脂质水平的影响

Table 7 Effects of different forms of DHA on the brain lipid level in mice (n=8)

	LF	HF	TG-DHA	PL-DHA	TG-DHA+PL-EGG
TG/(mg/g brain)	15.2±1.18	16.9±0.26 ^a	13.4±1.67 ^b	15.6±0.46 ^a	13.8±1.47 ^a
TC/(mg/g brain)	12.3±0.49	12.2±0.38	12.1±0.37	11.9±0.28	11.3±0.42
PL/(mg/g brain)	52.4±0.16	52.0±0.96	50.5±0.60	52.0±0.55	52.6±0.59

注: * $p<0.05$, 与低脂组相比; 不同字母标识代表高脂饮食组间具有显著性差异。

2.7 对小鼠脑脂肪酸组成的影响

表 8 不同分子形式 DHA 对小鼠脑总脂脂肪酸组成的影响

Table 8 Effects of different forms of DHA on the FA composition of cerebral lipids in mice (n=8)

FA composition/%	LF	HF	TG-DHA	PL-DHA	TG-DHA+PL-EGG
C14:0	0.64±0.03	0.47±0.01	0.61±0.01	0.59±0.00	0.53±0.01
C16:0	26.4±0.29	26.8±0.21 ^a	25.3±0.23 ^b	24.5±0.23 ^b	25.5±0.19 ^b
C18:0	26.1±0.24	25.7±0.29	25.8±0.24	25.1±0.31	26.3±0.22
C18:1	19.6±0.19	19.8±0.30	19.6±0.19	19.7±0.20	19.7±0.18
C18:2	0.92±0.01	0.90±0.01	0.88±0.01	1.00±0.02	0.79±0.01
C20:4(AA)	10.2±0.17	10.1±0.43 ^a	9.58±0.12 ^b	10.3±0.19 ^a	9.94±0.09 ^a
C22:6(DHA)	16.2±0.21	16.4±0.53 ^a	18.2±0.19 ^b	18.8±0.31 ^c	17.1±0.11 ^b

注: * $p<0.05$, 与低脂组相比; 不同字母标识代表高脂饮食组间具有显著性差异。

如表 8 所示, 摄入外源性 DHA 后, 小鼠脑中的 DHA 的含量均显著性增加, 甘油三酯型 DHA、磷脂型 DHA、复配组脑内磷脂中 DHA 含量分别增加了 11%、15%和 5%, 脑内 C16:0 比例显著下降 ($p<0.05$)。同时, 与高脂组相比, 甘油三酯型 DHA 与复配组 AA 水平显著下降 ($p<0.05$)。

3 讨论

血脂水平是与脂质代谢密切相关的指标之一。通过实验发现, 喂食 1 周后, 模型组小鼠出现了 TG 和 TC 明显增多的现象, 说明短期内摄食高脂食物后机体即会产生高脂血症^[13]。DHA 饮食干预后, 磷脂型 DHA 降血清中 TC 水平的能力显著高于甘油三酯型 DHA 与蛋黄磷脂组成的复合物。本实验甘油三酯型 DHA 与磷脂型 DHA 在降血脂方面的效果与李金章的研究有所区别^[14]。我们推测原因可能是剂量的差异。李金章短期实验 EPA 和 DHA 的添加剂量为 0.7%, 而本文的添加剂量为 1%, 所以可能是剂量的不同从而导致二者降血脂效果存在差异。梁鹏等以大黄鱼鱼卵磷脂为受试物, 研究了其对高脂血症小鼠脂质代谢的调节作用, 发现大黄鱼鱼卵磷脂可以显著降低高脂血

由表 7 可知, 甘油三酯型 DHA 能显著降低小鼠脑内 TG 水平, 而磷脂型 DHA 与复配组小鼠脑内 TG 水平与高脂组无显著差异。脑内 TG 与 PL 水平各组之间差异不显著。

小鼠的血清 TC 水平, 这与本实验的研究结果相似^[15]。以上结果表明, 当 DHA 和 EPA 添加量为 1%时, 短期摄食即可表现出良好降血脂功效, 其中磷脂型 DHA 效果优于由甘油三酯型 DHA 与蛋黄磷脂组成的复合物。

肝脏是脂质代谢最重要的器官, 将经肠道运输来的脂质以脂蛋白的形式分泌到血液中, 血脂水平与肝脏脂肪代谢状态密切相关^[16-18]。经 DHA 的饮食干预一周后, 仅复配组小鼠肝脏 TG 水平显著低于高脂组, 而 TC 呈现降低的趋势, 但由于实验周期较短, 因此 TC 没有显著变化。这与 Tanaka 实验结果一致。此外受试物组小鼠肝脏甘油三酯、磷脂组分中 MUFA 比例降低而 PUFA 比例却上升^[19]。另外高脂饮食可以导致肝脏中 AA 比例升高, AA 含量过高可导致凝血恶烷 A2 含量增加, 是造成心血管疾病的元凶。但如果 AA 含量过少, 则会导致机体凝血速度变慢, 增加出血风险^[20]。摄食不同形式 DHA, 能降低高脂饮食引起的肝脏磷脂及甘油三酯中 AA 比例升高现象, 具有潜在保护作用。另有研究表明, 定期摄入 DHA 可以降低患高血压的几率, 其机制可能是 DHA 减少了冠状动脉血管壁的厚度且钝化了肾素-血管紧张素-醛固酮系

统^[21]。

DHA 是脑脂质中的主要脂肪酸之一, 又被称为“脑黄金”。研究显示, 早产婴儿配方奶中补充 DHA 会对视觉系统发育有显著促进作用^[22-24]。脑内 DHA 的含量对大脑功能具有重要作用, 可以增进神经系统功能、预防阿尔兹海默症等^[25]。脑自身合成 DHA 的能力有限, 所以能否增加大脑 DHA 含量是评价不同形式 DHA 营养功效的关键因素。本实验的研究结果表明, 不同形式的 DHA 补充剂, 均具有良好的补充脑内 DHA 的功效, 其中以磷脂型 DHA 效果最佳, 这与唐筱等人的研究结果一致^[26]。

4 结论

本研究首次比较了短期摄食磷脂型 DHA 与由甘油三酯型 DHA 和蛋黄磷脂组成的复合物对小鼠脂质代谢的影响。我们发现了短期摄食磷脂型 DHA 与由甘油三酯型 DHA 与蛋黄磷脂组成的复合物对小鼠的脂质代谢影响不同。在降低血清脂质方面, 其中磷脂型 DHA 优于由甘油三酯 DHA 与蛋黄磷脂组成的复合物。此外, 不同形式 DHA 短期补充均可显著提高脑内 DHA 水平, 而磷脂型 DHA 在增加脑内 DHA 方面呈现明显优势。

参考文献

- [1] 张洪涛, 单雷, 毕玉平. n-6 和 n-3 多不饱和脂肪酸在人和动物体内的功能关系[J]. 山东农业科学, 2006, 2: 115-120
ZHANG Hong-tao, SHAN Lei, BI Yu-ping. Functional relationships between n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acids in human and animal bodies [J]. Shandong Agricultural Science, 2006, 2: 115-120
- [2] TS Orchard, X Pan, F Cheek, et al. A systematic review of omega-3 fatty acids and osteoporosis [J]. British Journal of Nutrition, 2012, 107(2): S253-S260
- [3] Kim J, Carlson M E, Kuchel G A, et al. Dietary DHA reduced downstream endocannabinoid and inflammatory gene expression, epididymal fat mass, and improved aspects of glucose use in muscle in C57BL/6J mice [J]. International Journal of Obesity, 2015, 40(1)
- [4] Jeffrey B G, Weisinger H S, Neuringer M, et al. The role of docosahexaenoic acid in retinal function [J]. Lipids, 2001, 36(9): 859-871
- [5] Naohiro Gotoh, Koji Nagao, Satoru Onoda, et al. Effects of three different highly purified n-3 series highly unsaturated fatty acids on lipid metabolism in C57BL/KsJ-db/db mice [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2009, 57: 11047-

- 11054
- [6] Lawson L D, Hughes B G. Human absorption of fish oil fatty acids as triacylglycerols, free acids, or ethyl esters [J]. Biochemical & Biophysical Research Communications, 1988, 152(1): 328-335
- [7] Ikeda I, Sasaki E, Yasunami H, et al. Digestion and lymphatic transport of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids given in the form of triacylglycerol, free acid and ethyl ester in rats [J]. Biochimica Et Biophysica Acta, 1995, 1259(3): 297-304
- [8] 王琦. 海产动物来源 n-3 PUFA 磷脂的提取及生物活性研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008
WANG Qi. Study on extraction and bioactivity of n-3 PUFA phospholipids from marine animal [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008
- [9] 孙兆敏, 李金章, 王玉明, 等. 酶法制备 n-3 多不饱和脂肪酸甘油三酯的工艺 [J]. 食品工业科技, 2010, 9: 262-264
SUN Zhao-min, LI Jin-zhang, WANG Yu-ming, et al. Enzymatic synthesis containing n-3 polyunsaturated fatty acids [J]. Science and Technology of Food Industry, 2010, 9: 262-264
- [10] 谭利伟, 麻丽坤, 赵进, 等. 蛋黄卵磷脂的应用研究进展 [J]. 中国畜牧兽医文摘, 2006, 27(4): 35-36
TAN Li-wei, MA Li-kun, ZHAO Jin, et al. Research progress on the application of egg yolk lecithin [J]. Chinese Abstract of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2006, 27(4): 35-36
- [11] Folch J, Lees M, Slane-stanley G H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues [J]. The Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-506
- [12] Bartlett G R. Colorimetric assay methods for free and phosphorylated glyceric acids [J]. The Journal of Biological Chemistry, 1958, 234(3): 466-469
- [13] Amanda Pepper-Yowell M S. The role docosapentaenoic acid omega-3 plays in controlling lipid metabolism and inflammation associated with obesity, atherosclerosis, and neurodegenerative disease [D]. Texas: Texas Tech University, 2014
- [14] 李金章. 甘油酯型鱼油的制备及活性研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011
LI Jin-zhang. Study on preparation and activity of glycerol ester type fish oil [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011
- [15] 梁鹏, 许艳萍, 程文健, 等. 大黄鱼鱼卵磷脂对小鼠脂质代谢

- 的调节作用[J].现代食品科技,2016,1:1-10
- LIANG Peng, XU Yan-ping, CHENG Wen-jian, et al. Effect of large yellow croaker roe-derived phospholipid on the lipid metabolism of hyperlipidemia rats [J]. Modern Food Science & Technology, 2016, 1: 1-10
- [16] Sun C, Wei Z W, Li Y. DHA regulates lipogenesis and lipolysis genes in mice adipose and liver [J]. Molecular Biology Reports, 2011, 38(2): 731-7
- [17] 崔洁,刘小芳,董喆,等.DHA-磷脂对肥胖小鼠脂质代谢的影响[J].中国油脂,2014,39(1):27-31
- CUI Jie, LIU Xiao-fang, DONG Zhe, et al. Effects of DHA-enriched phospholipids on lipid metabolism in diet-induced obese C57BL/6J mice model [J]. China Oils and Fats, 2014, 39(1): 27-31
- [18] Zhu Y, Wang J, Mao L, et al. Effects of fish oil with high DHA/EPA and triglycerides on lipid metabolism in fatty liver rats [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2013, 35(4): 332-337
- [19] Takahashi K, Inoue Y. Chapter 3-marine by-product phospholipids as booster of medicinal compounds [J]. Advances in Food & Nutrition Research, 2012, 65: 31-46
- [20] 吴克刚,柴向华,杨连生.n-3 系多不饱和脂肪酸防治心血管疾病的研究进展[J].食品研究与开发,2000,21(6):6-9
- WU Ke-gang, CHAI Xiang-hua, YANG Lian-sheng. The research progress of n-3 polyunsaturated fatty acids in the prevention and treatment of cardiovascular diseases [J]. Food Research and Development, 2000, 21(6): 6-9
- [21] Engler M M, Engler M B, Pierson D M, et al. Effects of docosahexaenoic acid on vascular pathology and reactivity in hypertension [J]. Experimental Biology & Medicine, 2003, 228(3): 299-307
- [22] Das U N, Fams M D. Long-chain polyunsaturated fatty acids in the growth and development of the brain and memory [J]. Nutrition, 2003, 19(19): 62-65
- [23] 王玉明,李金章,薛勇,等.摄食不同来源磷脂对大鼠脂质代谢及脑内磷脂脂肪酸组成的影响[J].中国油脂,2012,37(2): 31-34
- WANG Yu-ming, LI Jin-zhang, XUE Yong, et al. Effects of different dietary phospholipids on lipid metabolism and brain phospholipids fatty acid composition in rats [J]. China Oils and Fats, 2012, 37(2): 31-34
- [24] Reisbick S, Neuringer M, Gohl E, et al. Visual attention in infant monkeys: effects of dietary fatty acids and age [J]. Developmental Psychology, 1997, 33(3): 387-395
- [25] Zhou M M, Xue Y, Sun S H, et al. Effects of different fatty acids composition of phosphatidylcholine on brain function of dementia mice induced by scopolamine [J]. Lipids in Health & Disease, 2016, 15(1):135
- [26] Xiao T, Li Z J, Jie X, et al. Short term effects of different omega-3 fatty acid formulation on lipid metabolism in mice fed high or low fat diet [J]. Lipids in Health & Disease, 2012, 11(1): 1-8