



不同 α -亚麻酸含量油脂降脂活性研究

邓乾春 禹 晓 黄凤洪 黄庆德 杨金娥

(中国农业科学院油料作物研究所, 湖北 武汉 430062)

摘要: **目的** 研究不同 α -亚麻酸含量油脂对高脂模型大鼠脂质代谢及抗氧化性能的影响。**方法** 60 只雄性 Wistar 大鼠分为正常对照组、高脂对照组、花生油组、13%、27% 和 55% α -亚麻酸 (ALA) 油脂组, 除正常对照组外, 其余各组在饲喂高脂饲料同时采用灌胃方式连续给予 2ml/kg. bw 剂量的受试油 6 周后, 分别测定各组大鼠血脂及肝脂质水平、血清抗氧化性能和粪便中性固醇等指标。**结果** 13%、27% 和 55% ALA 含量的油脂对高脂模型大鼠均具有显著降脂作用, 增加粪便胆固醇的排泄, 且随 ALA 含量的增加降脂效果则更为显著; 但当油脂中 ALA 含量为 55% 时, 将导致血清中形成脂质过氧化产物。**结论** ALA 含量为 13% 和 27% 的油脂具有较显著的降脂活性, 且对机体不造成氧化损伤。

关键词: α -亚麻酸; 高脂模型; 降脂活性; 脂质过氧化; 中性固醇

The Hypolipidemic Activity of Different Alpha Linolenic Acid Content of Oils

Yu Xiao^{1,2} Deng Qianchun¹ Huang Fenghong¹ Huang Qingde¹ Yang Jine¹

¹ Oil Crops Research Institute, CAAS, Wuhan 430062, China;

² Food Science and Technology College, Central China Agriculture University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Objective To investigate the effect of different α -linolenic acid content of oils on lipid metabolism and antioxidant status of hyperlipemia rats. **Method** The rats were divided into control group (Cont), high fat diet group (HFD), peanut oil group (PO), 13%、27% and 55% α -linolenic acid blend oil (ALA-BO) groups, except the control group, the other groups were fed high fat feed and treated simultaneously with corresponding test oils (2ml/kg. bw) for 6 weeks orally. Serum and hepatic lipid profile, antioxidant status and fecal neutral sterols were determined at the end of 6w. **Results** Blend oils which contained 13%、27% and 55% α -linolenic acid (ALA) can regulate lipid metabolism through enhancing cholesterol secretion in hyperlipemic rats, and there is a accordant dose-response relationship between them; But when the α -linolenic acid content of oil reached 55%, it can lead the formation of plasma peroxidation products. **Conclusion** The 13 and 27% ALA-BO had remarkable lipid-lowering activity, and also caused no oxidative damages on rats.

Key words: α -linolenic acid; hyperlipidemia; lipid-lowering activity; plasma peroxidation; neutral sterols

前 言

油脂的营养特性主要取决于其脂肪酸组成, 而脂肪酸的种类和比例与人的心脑血管健康和营养状况密切相关。关于 n-3PUFA 心血管保护作用国内外已有不少报道^[1]。亚麻籽是目前 n-3 脂肪酸含量最高的已知植物之一, 是我国华北和西北地区的主要

食用油脂之一, 且动物和人体试验研究表明, 亚麻油具有显著的降低 TG 和 TC 水平^[2-5]。但亚麻油中亚油酸、 α -亚麻酸等多不饱和脂肪酸含量高达 60% 以上, 易于氧化变质, 且过量服用会对兔肝功能造成损伤^[6], 大鼠在怀孕或泌乳期间过量摄入 n-3 脂肪酸能够缩短子鼠寿命及听性脑干反应 (auditory brainstem response, ABR) 异常^[7]。人群干预试验研究表明妇女在怀孕期间摄入过多的鱼油能够导致妊

娠期缩短及胎儿发育迟缓^[8-9]。摄入过量强化 n-3 型婴儿饮料能够降低婴儿体重^[10]、头围^[11]和血液中花生四烯酸水平^[12]。

FDA 推荐 α -亚麻酸摄入量男性为应该达到 1.1 - 1.6 g/day, 且建议公众摄入 α -亚麻酸的安全剂量为 3 g/day, 但目前关于 α -亚麻酸心血管保护作用的动物及人群干预试验研究中, 其摄入量范围为 5 - 40 g/day, 这个剂量很难通过合理的膳食获得, 也远远超过 FDA 推荐的摄入量。中国营养学会在我国居民膳食指南中推荐每天油脂摄入量以 25 g/d 为宜, 在此剂量下油脂中的 α -亚麻酸含量对其降脂活性和可能存在的氧化损伤等副作用方面的影响目前还鲜有研究; 因此本文主要通过研究油脂中不同 α -亚麻酸含量对高脂模型大鼠生长性能、脂质代谢及抗氧化性能等的影响, 为正确摄入具有显著降脂活性、品质稳定的功能性油脂提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

花生油: 市售鲁花牌压榨一级花生油; 亚麻籽油: 购于内蒙古八月天粮油有限公司。不同 ALA 含量油脂: 由亚麻油和花生油调和成三个梯度, 分别为 13% ALA-BO、27% ALA-BO 和 55% ALA-BO; 受试油的脂肪酸组成及质量指标如表 1 所示。

甘油三酯 (TG)、总胆固醇 (TC)、高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C) 和低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 试剂盒 (中生北控生物科技公司); 超氧化物歧化酶 (SOD)、丙二醛 (MDA)、总抗氧化能力 (T-AOC) 和谷胱甘肽还原酶 (GSH) 试剂盒 (南京建成生物研究所); 戊巴比妥钠 (美国 sigma 公司); 5 α -胆甾烷 (美国 sigma 公司)。

Table 1 The fatty acid composition and quality indices of oils

Fatty acid (% , w/w)	peanut oil	13% ALA-BO	27% ALA-BO	55% ALA-BO
C16:0	11.368	9.659	8.204	5.203
C18:0	4.618	4.219	3.998	3.580
C18:1	42.646	37.463	31.680	20.135
C18:2	36.003	31.177	26.028	15.584
C18:3	—	13.623	27.324	55.498
C20:0	1.790	1.285	0.977	—
C20:1	0.650	0.550	0.430	—
C22:0	2.925	2.023	1.359	—
n-6/n-3	—	2.3	1.0	0.3
Σ SFA	20.701	17.186	14.538	8.783
Σ MUFA	43.296	38.013	32.11	20.135
Σ PUFA	36.003	44.800	53.352	71.082
AV (mgKOH/g)	0.88	1.05	1.55	1.92
POV (meqO ₂ /kg)	3.99	3.87	3.56	2.62

1.2 实验动物与饲料

清洁级雄性 Wistar 大鼠, 体重 150 - 160g, 购于湖北省疾病预防控制中心, 实验动物及饲料生产许可证号: SCXK (鄂) 2008 - 005, 实验动物使用许可证: SYXK (鄂) 2008 - 005, 实验动物质量合格证: 00006134; 基础饲料由湖北省疾病预防控制中心提

供, 高脂饲料由 78.7% 基础饲料、10% 蛋黄粉、10% 饱和脂肪酸、1% 胆固醇、0.3% 胆盐配制而成。

1.3 动物分组及喂养

60 只 Wistar 大鼠饲喂基础饲料观察 7 天, 根据体重随机分为 6 组, 每组 10 只, 分别为: 正常对照组 (Cont)、高脂对照组 (HFD)、花生油组 (PO)、



13% ALA-BO 组、27% ALA-BO 组和 55% ALA-BO 组，其中正常和高脂对照组分别饲喂基础饲料和高脂饲料，其余各组在饲喂高脂饲料的同时采用灌胃方式连续给 2ml/kg bw 剂量的受试油。

试验期间大鼠分笼饲养，每笼 5 只，室温 $22 \pm 1^\circ\text{C}$ ，相对湿度 50–60%，自然昼夜节律，自由进食、饮水。每天记录摄食量，每天定时称重并按体重灌胃受试油，实验期为 6 周。搜集后 3 天大鼠粪便， 60°C 真空干燥，粉碎， -20°C 保存。末次灌胃后当日晚禁食，不限饮水，次日晨将大鼠用 2% 戊巴比妥钠麻醉后腹腔主动脉取血， 4°C 离心 15min (3000 r/min) 分离得到血清， -20°C 保存，待试验动物处死后采集其脏器（心、肝、脾、肾、脑）并称重， -20°C 保存。

1.4 血清脂质的测定

血清 TG、TC、HDL-C 和 LDL-C 分别按试剂盒说明书测定。

1.5 血清抗氧化指标的测定

超氧化物歧化酶 (SOD)、丙二醛 (MDA)、总抗氧化能力 (T-AOC) 和谷胱甘肽还原酶 (GSH) 参考试剂盒说明书测定。

1.6 血浆、肝脏及脑组织脂质的提取

脂质的提取参考 Folch et al.^[13]，称取约 0.1g 组织，放入玻璃制磨砂配合的手动均质器中，加入 5ml 氯仿和甲醇 (V/V = 2:1)，缓慢均质 1min，过滤定容至 5ml，或取 100 μL 血浆，加入 5ml 氯仿和甲醇 (V/V = 2:1) 和 0.2 倍蒸馏水，漩涡混匀 10min， 3000 r/min 离心 15min，除去溶剂上相，再用氯仿、甲醇和水 (V/V/V = 3:48:47) 冲洗溶剂界面 3 次，下相及部分冲洗液加入甲醇后融为一相，氮吹， -20°C 保存至分析。

1.7 肝组织 TC 和 TG 测定

将提取的脂质溶于 1ml 异丙醇中，然后按胆固醇 (TC) 和甘油三酯 (TG) 试剂盒说明进行测定。

1.8 粪便中性固醇含量的测定

粪脂质的提取参考 Folch et al.^[13]，称取 0.5g 研磨均匀的大鼠粪便至 50ml 锥形瓶中，加入 20 倍氯仿和甲醇 (V/V = 2:1) 恒温 (室温) 摇床提取 12h，过滤， 60°C 水浴氮气吹干，加入 5ml 1mol/L KOH 乙醇溶液， 100°C 皂化 30min，冷却后加入 5ml 蒸馏水和 1ml 正己烷，漩涡混匀 5min， 3000 r/min 离心 15min，取层正己烷层，加入 1ml 5 α -胆甾烷 (0.244mg/ml)，氮吹，定容至 1ml，GC 分析^[14-15]。

气相色谱条件：气相色谱仪 Agilent 公司带全自

动进样器 6890 型气相色谱仪，FID 检测器，气相柱为 DB-1 石英毛细管柱 ($100 \times 0.250, 0.25\mu\text{m}$)。GC 程序升温过程为：初始温度为 220°C ，以 $2^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速率升温至 300°C ，保持 10min。进样口和 FID 检测器温度分别为 260°C 和 330°C ，载气为氮气，载气流量为 1.5ml/min。

1.9 统计分析

所有数据以表示，采用 SPSS 16.0 统计软件进行数据分析， $P < 0.05$ 表示有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 不同 α -亚麻酸含量油脂对大鼠生长性能的影响

大鼠生长性能指标如图 1 所示。试验开始时，各实验组大鼠体重无显著性差异 ($p > 0.05$)。实验结束后，与正常对照组相比，高脂对照组大鼠体重显著增加 ($P < 0.05$)；13%、27% 和 55% ALA-BO 组大鼠体重较花生油组都有所降低，且与油脂中 ALA 含量呈剂量反应关系。与高脂对照组相比，不同 ALA 剂量组大鼠体重分别下降 3.3%、6.2% 和 8.7%，各实验组大鼠摄食量差异不显著。因此，增加油脂中 ALA 能够有效抑制高脂模型大鼠体重的增长。

2.2 不同 α -亚麻酸含量油脂对大鼠脏器系数的影响

实验结果如表 2 所示。高脂对照组、花生油组大鼠肝体比显著高于基础对照组 ($P < 0.05$)，27% ALA-BO 组和 55% ALA-BO 组大鼠肝体比与基础对照组无显著差异 ($p > 0.05$)，与高脂对照组和花生油对照组均有显著性差异 ($P < 0.05$)。各试验组大鼠心脏、肾脏、脾脏系数及脑体比差异不显著 ($p > 0.05$)，但 13% ALA-BO 组、27% ALA-BO 组和 55% ALA-BO 组大鼠脑体比分别比高脂对照组增加 7、15 和 29%，其机理可能与高 ALA 饮食能够促进动物脑组织的生长发育及抑制体重的增加有关。

2.3 不同 α -亚麻酸含量油脂对大鼠血清脂质水平的影响

各试验组大鼠血清 TG、TC、HDL-C 和 LDL-C 水平如表 3 所示。与正常对照组相比，高脂对照组大鼠血清 TC、TG 水平显著增加 ($P < 0.05$)，表明通过饲喂高脂饮食得到了理想的高脂模型。与高脂对照组相比，花生油组、13%、27% 和 55% ALA-BO 组大鼠 TC 水平分别下降 3、7、15 和 21%，TG 分别下降 1、10、20、25%，LDL-C 分别下降 5、15、20、35%，而对 HDL-C 水平无影响。

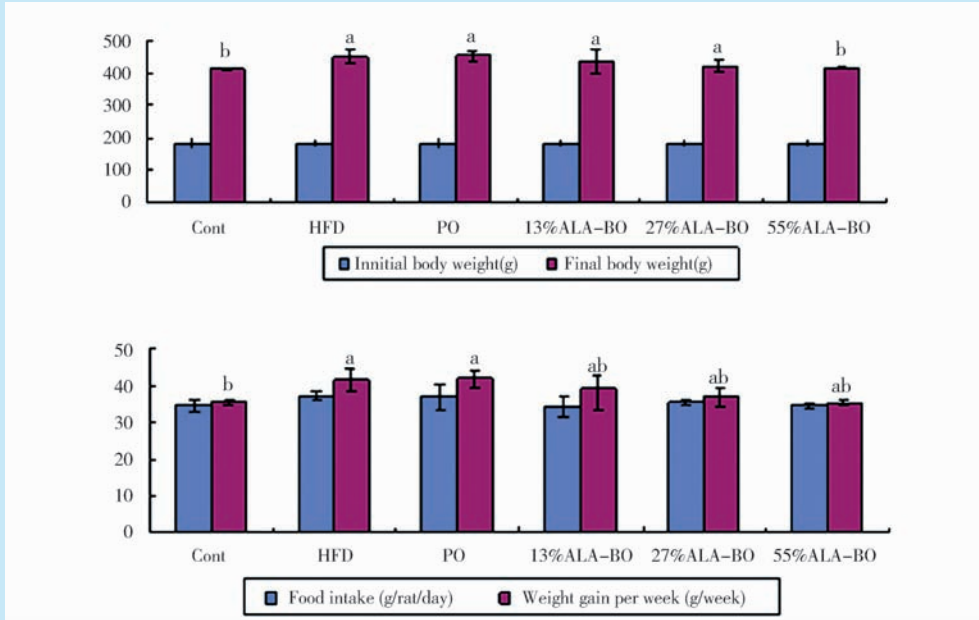


Fig. 1 The growth performance indicators of rats ($\bar{x} \pm s$)

Data are given as means \pm SEM (n=10). Mean values with different letters in each testing parameter were significantly different ($P < 0.05$). The same in following tables.

Table 2 The organ coefficient of rats ($\bar{x} \pm s$)

Group	Organ coefficient (g/kg)				
	liver	heart	kidney	spleen	brain
Cont	26.33 \pm 1.02b	2.94 \pm 0.05	6.37 \pm 0.20	1.83 \pm 0.28	3.57 \pm 0.78
HFD	33.71 \pm 3.63a	2.91 \pm 0.25	6.38 \pm 0.46	1.82 \pm 0.18	3.64 \pm 0.58
PO	34.69 \pm 1.57a	2.90 \pm 0.18	6.32 \pm 0.35	1.83 \pm 0.19	3.72 \pm 0.45
13%ALA-BO	32.74 \pm 1.94ab	2.95 \pm 0.25	6.35 \pm 0.23	1.87 \pm 0.12	3.88 \pm 0.57
27%ALA-BO	30.31 \pm 2.92b	2.96 \pm 0.25	6.33 \pm 0.18	1.80 \pm 0.15	4.20 \pm 0.39
55%ALA-BO	29.80 \pm 1.57b	2.99 \pm 0.35	6.35 \pm 0.33	1.86 \pm 0.16	4.70 \pm 0.44

Table 3 The plasma lipid profile in high fat diet (HFD) fed rats ($\bar{x} \pm s$)

Group	TC (mmol/L)	TG (mmol/L)	HDL-C (mmol/L)	LDL-C (mmol/L)
Cont	1.63 \pm 0.08b	0.60 \pm 0.21b	0.92 \pm 0.11	0.10 \pm 0.01b
HFD	2.12 \pm 0.07a	1.01 \pm 0.11a	0.82 \pm 0.10	0.20 \pm 0.01a
PO	2.06 \pm 0.25ab	1.00 \pm 0.07a	0.75 \pm 0.12	0.19 \pm 0.01a
13%ALA-BO	1.96 \pm 0.15ab	0.91 \pm 0.11a	0.83 \pm 0.10	0.17 \pm 0.04a
27%ALA-BO	1.81 \pm 0.09ab	0.81 \pm 0.11ab	0.86 \pm 0.11	0.16 \pm 0.04a
55%ALA-BO	1.67 \pm 0.13b	0.76 \pm 0.05ab	0.86 \pm 0.13	0.13 \pm 0.01ab



2.4 不同 α -亚麻酸含量油脂对大鼠肝脂质水平的影响

大鼠肝组织 TG、TC 水平及总脂质含量如表 4 所示。与正常对照组相比，高脂对照组及花生油组大鼠肝组织 TC、TG 水平显著提高 ($P < 0.05$)。与高

脂对照组相比，13%、27% 和 55% ALA-BO 组大鼠肝组织 TC、TG 水平显著降低 ($P < 0.05$)，其中 27% 和 55% ALA-BO 组 TC、TG 水平差异不显著 ($p > 0.05$)。

Table 4 Total cholesterol and triglycerides in liver tissue of high fat diet (HFD) fed rats ($\bar{x} \pm s$)

Group	Cont	HFD	PO	13%ALA-BO	27%ALA-BO	55%ALA-BO
TC ($\mu\text{mol/g}$)	4.1 \pm 0.6d	44.0 \pm 2.8a	38.3 \pm 3.2ab	33.0 \pm 3.6b	27.4 \pm 3.5bc	20.1 \pm 1.7c
TG ($\mu\text{mol/g}$)	2.6 \pm 0.6d	35.8 \pm 1.2a	27.5 \pm 1.8b	22.2 \pm 2.2b	15.2 \pm 1.3c	10.4 \pm 0.9c

2.5 不同 α -亚麻酸含量油脂对大鼠血清抗氧化性能的影响

各试验组大鼠血清抗氧化指标如表所示。高脂对照组大鼠血清 SOD、T-AOC、GSH 水平低于正常对照组，MDA 水平高于正常对照组，表明高脂饮食对大鼠机体抗氧化性能有不利影响。与高脂对照组相比，花生油组、13%、27% 和 55% ALA-BO 组大鼠血清 SOD 水平增加 7%、9%、7% 和 6%，但差异

不显著。增加植物油中 ALA 含量能够降低高脂饲喂大鼠血清丙二醛含量，但当 ALA 含量为 55% 时能够增加脂质过氧化产物的生成。高脂对照组与 13%、27% ALA-BO 组 T-AOC 水平差异显著，与 55% ALA-BO 组差异不显著，27% ALA-BO 血清 T-AOC 水平与正常对照组差异不显著。27% ALA-BO 组大鼠 GSH 水平最高，与正常对照组差异不显著。

Table 5 The antioxidant status in plasma of high fat diet (HFD) fed rats ($\bar{x} \pm s$)

Group	Cont	HFD	PO	13%ALA-BO	27%ALA-BO	55%ALA-BO
SOD	49.64 \pm 1.37	46.67 \pm 1.34	50.06 \pm 1.58	51.02 \pm 2.19	50.37 \pm 2.26	49.42 \pm 1.38
MDA	6.83 \pm 0.80b	7.64 \pm 0.55a	7.31 \pm 0.38b	7.22 \pm 0.76b	7.00 \pm 0.22b	8.01 \pm 0.31a
T-AOC	4.82 \pm 1.35b	4.32 \pm 0.99c	4.50 \pm 0.44b	6.10 \pm 0.46a	5.25 \pm 0.22b	4.20 \pm 0.76c
GSH	12.5 \pm 3.96a	9.94 \pm 3.25b	9.64 \pm 2.16b	10.97 \pm 2.63b	13.63 \pm 1.30a	11.30 \pm 1.11b

2.6 不同 α -亚麻酸含量油脂对大鼠粪便中性固醇含量的影响

粪便胆固醇和植物甾醇含量如表 6 所示。花生油组、13%、27% 和 55% ALA-BO 组大鼠粪便胆固醇含量高于高脂模型组，且 55% ALA-BO 组与花生油组、13% ALA-BO 组差异显著 ($P < 0.05$)，而与

27% ALA-BO 组差异不显著 ($p > 0.05$)。除正常对照组外，各实验组大鼠粪便菜籽甾醇、菜油甾醇、豆甾醇和 β -谷甾醇含量差异不显著。因此，增加植物油中 α -ALA 含量能够增加粪便胆固醇分泌，降低胆固醇在体内的沉积。

Table 6 The fecal cholesterol and phytosterol contents of high fat diet (HFD) fed rats (mg/g dry fecus)

Group	Cont	HFD	PO	13%ALA-BO	27%ALA-BO	55%ALA-BO
cholesterol	0.67 \pm 0.15d	6.13 \pm 0.12c	7.17 \pm 0.33c	9.30 \pm 0.85b	10.29 \pm 0.32ab	11.17 \pm 0.45a
Brassicasterol	0.05 \pm 0.01b	0.17 \pm 0.03a	0.21 \pm 0.02a	0.17 \pm 0.01a	0.18 \pm 0.01a	0.18 \pm 0.03a
campesterol	0.19 \pm 0.01	0.17 \pm 0.03	0.18 \pm 0.02	0.17 \pm 0.02	0.18 \pm 0.01	0.20 \pm 0.01
stigmasterol	0.05 \pm 0.02	0.08 \pm 0.02	0.10 \pm 0.05	0.08 \pm 0.01	0.09 \pm 0.01	0.10 \pm 0.01
Beta-sitosterol	0.48 \pm 0.01	0.43 \pm 0.06	0.47 \pm 0.01	0.42 \pm 0.01	0.42 \pm 0.04	0.45 \pm 0.01
Total	1.45 \pm 0.15d	6.98 \pm 0.25c	8.13 \pm 0.10c	10.13 \pm 0.84b	11.16 \pm 0.25ab	12.10 \pm 0.50a

3 结果与讨论

3.1 不同 α -亚麻酸含量油脂的降脂活性

本实验通过建立高脂高胆固醇 Wistar 大鼠模型,研究了不同 ALA 含量油脂对大鼠血清脂质水平、肝组织脂质含量及 TC、TG 水平的影响,不同 ALA 含量受试油中 n-6/n-3 配比油分别为 2:1、1:1 和 0.2:1;结果表明,油脂的降血脂活性(TC、TG 和 non-LDL-C)与其 n-3 脂肪酸含量呈一定的剂量效应关系。当油脂中 ALA 含量为 13%、27% 和 55%, n-6/n-3 比例为 2-0.2:1 时,大鼠 TC 水平分别下降 7%、15% 和 21%, TG 分别下降 10%、20% 和 25%, LDL-C 分别下降 15%、20% 和 35%。这与国外关于油脂中 n-6/n-3 比例对人体和试验动物脂质水平影响的研究结果较为一致。人群干预试验研究表明,每天摄入 30ml 亚麻油(15.9 ml ALA, n6:n3 = 0.25)能够显著降低正常人血清甘油三酯水平^[16]。为进一步验证 α -亚麻酸在降脂活性方面的对象适应性,越来越多的学者通过增加油脂中 n-3 脂肪酸的比例,研究低 n-6/n-3 比例油脂对不同动物模型及人体脂质代谢的影响。郭艳等^[17]以膳食正常脂肪摄入量为前提,模拟我国居民膳食脂肪酸构成比例现状,研究了不同 n-6/n-3 (1-10:1) 比值的膳食对正常小鼠血脂代谢及免疫功能的影响;结果表明,当 n-6/n-3 为 1-5:1 能维持血脂在较低水平。Riediger ND^[18]研究了低 n-6/n-3 比例、不同 n-3 来源(鱼油和亚麻油)对高胆固醇饲喂小鼠血脂及组织脂肪酸组成的影响;结果表明,与对照组(n-6/n-3 = 25:1)相比,低 n-6/n-3 (2:1)能够降低 C57BL/6 小鼠血清 TC 水平,鱼油组和亚麻油组分别降低 27% 和 36%。Jeffery NM^[19]等以葵花油为对照,研究不同 n-6/n-3 配比油(14.8:1、6.5:1、0.8:1 和 0.33:1)对大鼠血脂水平的影响;试验结果表明,大鼠血清 TC、TG 和 FFA 脂肪酸含量随 n-6/n-3 比例降低而降低。

3.2 不同 α -亚麻酸含量油脂对氧化损伤的影响

膳食脂肪酸的类型与脂质过氧化关系极为密切。大量研究表明,摄入高含量鱼油的日粮能够增加人体和试验动物膜脂质中 n-3 脂肪酸含量,从而导致其组织、血液及尿中脂质过氧化^[20]。Saito M 等^[21]以成年大鼠为试验对象,研究摄食富含鱼油的日粮(25%)对大鼠肝脂质氧化易感性的影响;结果表明,鱼油组大鼠肝组织 α -VE、VC 及非蛋白巯基(NPSH)化合物显著降低,血清 TBA 含量增加,因

此,高鱼油日粮能够增加大鼠机体脂质过氧化作用。Garrido A 等^[22]研究表明,摄入高剂量鱼油能够增加大鼠肝脏微粒体膜氧化损伤的易感性,但低剂量鱼油对体内脂质过氧化作用影响不显著。本试验研究结果也表明,膳食中适宜比例的 ALA 能够增加大鼠血清 SOD、T-AOC 水平,降低 MDA 含量,从而增加大鼠抗氧化性能减少因高脂饮食对大鼠机体造成的氧化损伤,但当在不添加抗氧化成分的条件下,长期摄入高 ALA 含量油脂能够增加机体脂质过氧化产物的生成。

中国营养学会在我国居民膳食指南中推荐每天油脂摄入量以 25g/d 为宜,如按照动物与人体间的 5 倍等效剂量换算关系,本研究结果表明,人体每天摄入 13-27% α -亚麻酸含量油脂 25g,补充约 3-6g α -亚麻酸具有较显著的降血脂活性,但进一步增加 α -亚麻酸摄入量,能够增加机体脂质过氧化作用,造成机体氧化损伤。

参考文献

- [1] Shahidi F, Miraliakbari H. Omega-3 (n-3) fatty acids in health and disease: Part1-cardiovascular disease and cancer [J]. *Journal of Medicinal Food*, 2004, 7: 387-401.
- [2] 黄庆德, 刘烈刚, 郭萍梅, et al. Study on the Reducing Blood Lipids of Flaxseed Oil. *Food Sci*, 2004, 25: 162-164.
- [3] Tzang BS, Yang SF, Fu SG, et al. Effects of dietary flaxseed oil on cholesterol metabolism of hamsters. *Food Chem*, 2009, 114: 1450-1455.
- [4] Vijaimohan K, Mallika J, Sabitha KE, et al. Beneficial effects of alpha linolenic acid rich flaxseed oil on growth performance and hepatic cholesterol metabolism in high fat diet fed rats. *Life Sci*, 2006, 79: 448-454.
- [5] Othman RA, Suh M, Fischer G, et al. A comparison of the effects of fish oil and flaxseed oil on cardiac allograft chronic rejection in rats. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2008, 294: H1452-H1458.
- [6] 张玲, 胡鑫尧, 孙树, 等. 亚麻子油对兔肝功能的影响 [J]. *解放军预防医学杂志*, 2002, 20(5): 328-331.
- [7] Church MW, Jen KLC, Anumba JI, et al. Excess omega-3 fatty acid consumption by mothers during pregnancy and lactation caused shorter lifespan and ab-



normal ABRs in old adult offspring [J]. *Neurotoxicology and Teratology*, 2010, 32: 171 – 181.

[8] Grandjean P, Bjerve KS, Weihe P, et al. Birth weight in a fishing community: significance of essential fatty acids and marine food contaminants [J]. *International Journal of Epidemiology*, 2001, 30: 1272 – 1278.

[9] Oken E, Kleinman KP, Olsen SF, et al. Associations of seafood and elongated n-3 fatty acid intake with fetal growth and length of gestation: results from a US pregnancy cohort [J]. *American Journal of Epidemiology*, 2004, 160: 774 – 783.

[10] Jensen CL, Prager TC, Fraley JK, et al. Effect of dietary linoleic/alpha-linolenic acid ratio on growth and visual function of term infants [J]. *Journal of Pediatrics*, 1997, 131: 200 – 209.

[11] Carlson SE, Cooke RJ, Werkman SH, et al. First year growth of preterm infants fed standard compared to marine oil n-3 supplemented formula [J]. *Lipids*, 1992, 27: 901 – 907.

[12] Carlson SE. Arachidonic acid status of human infants: influence of gestational age at birth and diets with very long chain n-3 and n-6 fatty acids [J]. *Journal of Nutrition*, 1996, 126: 1092S – 1098S.

[13] Folch J, Les M, Sloane-Stanley GH. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animals [J]. *J Biol Chem*, 1957, 226: 497 – 509.

[14] Wilson TA, DeSimone AP, Romano CA, et al. Corn fiber oil lowers plasma cholesterol levels and increases cholesterol excretion greater than corn oil and similar to diets containing soy sterols and soy stanols in hamsters [J]. *J. Nutr. Biochem*, 2000, 11: 443 – 449.

[15] Yung Liang Chien, Liang Yi Wu, Tsung Cheng Lee, et al. Cholesterol-lowering effect of phytosterol-containing lactic-fermented milk powder in hamsters [J]. *Food Chemistry*, 2010, 119: 1121 – 1126.

[16] Schwab US, Callaway JC, Erkkilä AT, et al. Effects of hempseed and flaxseed oils on the profile of serum lipids, serum total and lipoprotein lipid concentrations and haemostatic factors [J]. *European Journal of Nutrition*, 2006, 45 (8): 470 – 477.

[17] 郭艳, 苏宜香. 多不饱和脂肪酸对小鼠血脂和免疫功能的影响 [J]. *中国公共卫生*, 2003, 19 (11): 1341 – 1342.

[18] Riediger ND, Othman R, Fitz E, et al. Low n-6:n-3 fatty acid ratio, with fish- or flaxseed oil, in a high fat diet improves plasma lipids and beneficially alters tissue fatty acid composition in mice [J]. *European Journal of Nutrition*, 2008, 47 (3): 153 – 160.

[19] Jeffery NM, Sanderson P, Sherrington EJ, et al. The ratio of n-6 to n-3 polyunsaturated fatty acids in the rat diet alters serum lipid levels and lymphocyte functions [J]. *Lipids*, 1996, 31 (7): 737 – 745.

[20] Ando K, Nagata K, Yoshida R, et al. Effect of n-3 Polyunsaturated Fatty Acid Supplementation on Lipid Peroxidation of Rat Organs [J]. *Lipids*, 2000, 35 (4): 401 – 407.

[21] Saito M, Nakatsugawa K. Increased susceptibility of liver to lipid peroxidation after ingestion of a high fish oil diet [J]. *Int-J-Vitam-Nutr-Res*, 1994, 64 (2): 144 – 151.

[22] Garrido A, Garrido F, Guerra R, et al. Ingestion of high doses of fish oil increases the susceptibility of cellular membranes to the induction of oxidative stress [J]. *Lipids*, 1989, 24 (9): 833 – 835.