

豆油替代鱼油对中华条颈龟血脂代谢及相关酶活的影响

裘正元¹, 盛成¹, 洪美玲¹, 史海涛^{1,2}

(1. 海南师范大学 生命科学学院, 海南 海口 571158;
2. 中国科学院 成都生物研究所, 四川 成都 610041)

摘要:为缓解国际鱼油资源短缺,本研究从血脂代谢角度去评价豆油替代鱼油在中华条颈龟中的适宜比例。选取体质量(1557±307)g的4龄雌性成体中华条颈龟,根据日粮中豆油与鱼油的添加比例不同随机分成四组,0S:3F组(豆油:鱼油0:3),1S:2F组(豆油:鱼油1:2),2S:1F组(豆油:鱼油2:1)和3S:0F组(豆油:鱼油3:0);外源油的添加量占日粮1%。每周投喂2次,连续投喂8个月。从每组中随机取6只中华条颈龟,冷冻麻醉处死,解剖。检测血液中甘油三酯、总胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇含量,肝脏组织中脂蛋白脂酶、肝脂酶和激素敏感性脂肪酶活性以及肠道胰脂肪酶活性,结果如下:(1)随着豆油替代比例的升高,只有1S:2F组和3S:0F组总胆固醇显著高于0S:3F组,并且3S:0F组低密度脂蛋白含量显著高于0S:3F($P<0.05$)。(2)总脂酶活力在2S:1F组达到最高,显著高于0S:3F组($P<0.05$);2S:1F组的激素敏感性脂肪酶活力与其余组相比,更接近于0S:3F;胰脂肪酶的活力在2S:1F与0S:3F之间差异不显著,但均显著低于其余两组。综合上述两方面指标来看,豆油替代鱼油在中华条颈龟中总体可行,较适宜的比例组为2S:1F。

关键词:血脂;脂肪代谢酶;肝脏;鱼油;豆油;中华条颈龟

中图分类号:S963.71

文献标识码:A

文章编号:1003-1111(2015)07-0453-06

鱼油以其含有丰富的二十二碳六烯酸、二十碳五烯酸和亚麻酸等不饱和脂肪酸,成为人工饲料中重要的脂质营养来源^[1];当前鱼油资源日益消耗,产量已远远跟不上需求^[2],加上鱼油极易被氧化而不利于长期保存的缺点^[3],使得寻求替代资源显得尤为迫切^[4];植物油,尤其是豆油以其丰富的产量和低廉的价格成为鱼油的理想替代资源,被人们所关注^[5-6]。

已有的研究表明,植物油替代鱼油后可在一定程度上影响动物体内的血脂代谢,如韩春艳等^[7]在奥尼罗非鱼(*Oreochromis aureus* × *O. niloticus*)中的研究发现,鱼油相比于豆油具有显著降低甘油三酯,升高高密度脂蛋白胆固醇的作用;但林华锋^[8]在军曹鱼(*Rachycentron canadum*)中发现植物油替代鱼油对血清胆固醇、甘油三酯影响不显著。此外,植物油替代鱼油后也可使机体相关脂肪酶活性发生改变,在欧洲鲈鱼(*Dicentrarchus labrax*)^[9]和

金头鲷(*Sparus aurata*)^[10]中的研究表明,植物油替代鱼油会显著降低脂蛋白脂酶和肝脂酶活力,促进脂质(主要是甘油三酯)在肝脏中的积累;王焯恒^[11]在异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)中发现,相比于猪油,豆油和混合油(鱼油:豆油:猪油=3:4:3)可以显著提高肠道胰脂肪酶活性,鱼油可以显著提高肝胰脏脂蛋白酶和肝酯酶活性;但张媛媛等^[12]在异育银鲫中却发现不同脂肪源对血清脂蛋白酶活力无显著影响。但有关植物油替代鱼油后对水生龟类的影响研究尚属空白。

随着龟类野生资源的急剧减少和人们对龟类需求量的不断增加,龟类养殖被认为是目前解决这一现状的有效方法之一。我国的龟类养殖起步于20世纪80年代,21世纪初得到迅猛发展,大型养殖户及水产养殖专业合作社等各种养殖模式在各省得到迅猛发展,形成了种类多样化、面积规模化、数量集约化的产业化模式^[13-14]。目前在龟类的饲

收稿日期:2015-01-06; 修回日期:2015-03-23。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31360642, 31372228)

作者简介:裘正元(1989—),男,硕士研究生;研究方向:动物生态学。E-mail: qiuzhengyuan@hotmail.com。通信作者:洪美玲(1976—),女,教授;研究方向:动物学。E-mail: meilinghong_cnu@aliyun.com。

料配方中仍以鱼油为主,大规模的养殖需要大量的鱼油资源,开展鱼油替代的研究可以节约龟类养殖成本,缓解鱼油短缺所带来的影响。因此本试验通过研究不同比例的豆油替代鱼油的日粮对中华条颈龟(*Mauremys sinensis*)血脂代谢及相关酶活的影响,以期从血脂代谢的角度评价豆油替代鱼油在龟类养殖中的可行性,并初步筛选出较适宜的替代比例,为后续在龟类中开展脂质营养需求的研究奠定基础。

1 材料与方 法

1.1 饲料配置

以鱼粉、去皮豆粕为蛋白源,鱼油与大豆油不同比例(0:3、1:2、2:1、3:0)混合油为脂肪源,配制成分等蛋等脂饲料。饲料蛋白含量的45%、脂肪含量约8%^[14]。饲料原料的选取以尽可能降低脂质的含量为标准,由佛山市顺德区均安镇源大饲料厂代加工,饲料原料经60目筛网过滤,经充分混匀后利用绞肉机制成湿状饲料,置于-20℃冰箱中保存备用。

1.2 试验材料及试验设计

从海南省文昌市泓旺农业养殖有限公司购买4龄雌性成体中华条颈龟,于海南师范大学龟类养殖室驯化两周后,按照豆油(金龙鱼大豆油,益海嘉里食品营销有限公司)和鱼油(秘鲁鱼油,进口)的不同比例随机分成4组,分别为3S:0F(豆油:鱼油,3:0)、2S:1F(豆油:鱼油,2:1)、1S:2F(豆油:鱼油,1:2)和0S:3F(豆油:鱼油,0:3)。每周饲喂2次,饲喂量按体质量的1%计算,混合油的添加量按基础日粮1%添加。连续饲喂8个月后,从每组随机选取6只进行相关指标的检测。

1.3 样品处理及指标测量

1.3.1 血脂含量测定

用一次性注射器由近心脏处的动脉血管取血1 mL,室温静置2 h,12 000 r/min 4℃离心5 min,取上清液即血清,4℃保存,48 h内送至海南医学院附属医院进行总胆固醇和甘油三酯含量测定;高密度脂蛋白和低密度脂蛋白胆固醇含量的测定采用选择性沉淀法,试剂盒由北京北化康泰临床试剂有限公司生产。

1.3.2 肝脏总酯酶活力测定

取肝脏0.5 g,加入预冷的0.65%生理盐水4.5 mL,冰浴匀浆,2500 r/min 4℃离心10 min,取上清液4℃保存,24 h内完成肝酯酶和脂蛋白酶活力的测定。采用考马斯亮蓝法定量组织总蛋白。

所用试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。每毫克组织蛋白每小时在反应系统中所产生的1 μmol游离脂肪酸为1个酶活性单位[μmol/(mg·h)]。

1.3.3 肝脏激素敏感性脂肪酶活力测定

肝脏样品处理同1.3.2。采用双抗体一步夹心酶联免疫吸附法,试剂盒由苏州卡尔文生物科技有限公司提供。

1.3.4 肠道胰脂肪酶活力测定

准确称取小肠组织湿质量,按体质量(g):体积(mL)=1:4的比例加入生理盐水,冰浴匀浆,2500 r/min,4℃离心10 min,取上清液按南京建成生物工程研究所的脂肪酶测试盒说明书操作,蛋白定量同1.3.2。在37℃条件下,每克组织蛋白在本反应体系中与底物反应1 min,每消耗1 mol底物为一个酶活单位。

1.4 数据处理

所有试验数据均以平均值±标准差表示,采用SPSS 17.0软件进行分析,采用单因素方差分析,若差异显著,则采用LSD法比较两两之间的差异显著性。

2 结果分析

2.1 豆油替代鱼油对中华条颈龟血脂含量的影响

随着豆油替代比例的升高,中华条颈龟血清中总胆固醇含量总体呈上升趋势,其中1S:2F组和3S:0F组总胆固醇含量分别是0S:3F组的1.2倍左右($P<0.05$),2S:1F组与0S:3F组相比差异不显著。随着豆油替代比例的升高,甘油三酯含量总体呈降低趋势,但差异不显著($P>0.05$)。各组高密度脂蛋白含量间差异亦不显著($P>0.05$),但2S:1F组和0S:3F组要略高于其他两组。就低密度脂蛋白含量而言,随着豆油替代比例的升高,其含量总体呈上升趋势,其中3S:0F组显著高于添加鱼油的各试验组($P<0.05$),甚至达到了0S:3F组的2倍以上,但添加了鱼油的各试验组间差异不显著(表1)。

2.2 豆油替代鱼油对中华条颈龟肝脏和肠道脂肪代谢酶活力的影响

肝脏肝酯酶和脂蛋白酶的活力随着豆油替代比例的升高,均呈先升后降的趋势,并均在2S:1F组达到最高;3S:0F组和2S:1F组肝酯酶活力均显著高于0S:3F组,其中2S:1F组几乎是0S:3F组的2.6倍($P<0.05$);2S:1F组肝脏脂蛋白酶活

力甚至达到了 0S:3F 组 4 倍左右($P<0.01$),其余组间差异不显著(表 2)。

激素敏感性脂肪酶活力随着豆油替代比例的升高,总体呈下降趋势,且各组间差异显著($P<0.05$);其中 0S:3F 组和 2S:1F 组的激素敏感性脂肪酶活力最高,其余依次是 1S:2F 组和 3S:0F

组。肠道胰脂肪酶活力与激素敏感性脂肪酶活力的变化趋势相反,其中 1S:2F 组和 3S:0F 组胰脂肪酶活力均达到其余两组 3.6 倍左右($P<0.01$),但 1S:2F 组和 3S:0F 组之间,以及 0S:3F 组和 2S:1F 组之间差异并不显著(表 3)。

表 1 不同处理组血清血脂含量的比较

血脂	0S:3F	1S:2F	2S:1F	3S:0F
总胆固醇	4.29±0.37 ^b	5.10±0.08 ^a	5.03±0.19 ^{ab}	5.55±0.52 ^a
甘油三酯	2.27±0.21	3.45±1.30	2.15±0.20	2.06±0.48
高密度脂蛋白胆固醇	0.32±0.02	0.25±0.11	0.38±0.14	0.29±0.06
低密度脂蛋白胆固醇	1.67±0.43 ^b	1.79±0.15 ^b	1.44±0.13 ^b	3.38±0.06 ^a

注:不同字母表示不同处理之间差异显著。表 2、表 3 同。

表 2 不同处理组中华条颈龟肝脏肝脂酶和脂蛋白脂酶活力的比较

脂酶	0S:3F	1S:2F	2S:1F	3S:0F
肝脂酶	4.71±1.32 ^c	6.44±1.15 ^{bc}	14.89±3.32 ^a	12.16±1.16 ^{ab}
脂蛋白脂酶	8.19±2.99 ^b	17.49±5.92 ^{ab}	28.54±1.71 ^a	17.63±1.70 ^{ab}

表 3 不同处理组中华条颈龟肝脏激素敏感性脂肪酶和肠道胰脂肪酶活力的比较

脂肪酶	0S:3F	1S:2F	2S:1F	3S:0F
胰脂肪酶	2.96±0.71 ^a	0.71±0.05 ^b	2.53±0.37 ^a	0.67±0.15 ^b
激素敏感性脂肪酶	6.61±0.12 ^a	5.25±0.11 ^c	6.17±0.11 ^b	4.84±0.17 ^d

3 讨论

植物油替代鱼油不仅可以节约资源,降低养殖成本,还可以尽量减少由于鱼油氧化所带来的不利影响^[15]。脂质作为机体重要的结构物质和能量来源,在动物生长,发育和繁殖的整个过程都发挥着极其重要的作用^[16-17]。

3.1 对血脂吸收的影响

外源脂质主要以甘油三酯的形式,在胆汁盐乳化作用下,由肠道胰脂肪酶催化分解并运输到小肠上皮黏膜细胞内重新合成甘油三酯,包装之后进入到血液。甘油三酯占到作为代谢能量储存形式的脂肪总量的 90%以上;胆固醇是合成肾上腺皮质激素、性激素、胆汁酸及维 D 等生理活性物质的重要前体^[18-19],也是构成细胞膜的主要成分^[20];本研究发现豆油相比于鱼油具有升高血液总胆固醇的作用,与 Tillander 等^[21-22]的研究结论一致,外源性甘油三酯的摄入需要大量的总胆固醇转化成胆汁酸参与乳化可能是原因之一。对甘油三酯影响差异不显著,这与张媛媛等^[12]在异育银鲫和冯健等^[23]

在太平洋鲑(*Oncorhynchus* spp.)中的研究结论一致,但与王焯恒等^[11,24]在异育银鲫中发现的鱼油具有显著降低甘油三酯含量的结果不同,说明在龟类中豆油在脂质能量供给上可以媲美鱼油。此外,在本研究中,中华条颈龟肠道胰脂肪酶活力与甘油三酯含量的变化趋势几乎一致,这与王焯恒等^[11]在异育银鲫的试验中发现豆油和混合油(鱼油:豆油:猪油=3:4:3)具有提高肠道胰脂肪酶活性的结果一致,说明外源性脂质的吸收会改变血液甘油三酯含量,这可能也是造成本研究中各试验组甘油三酯含量差异不显著的原因之一。综合总胆固醇,甘油三酯和胰脂肪酶的结果来看,2S:1F 组与 0S:3F 组相比并无显著差异,可以作为理想的替代组。

3.2 对血脂转运的影响

高密度脂蛋白结合胆固醇,并以高密度脂蛋白胆固醇的形式逆转运胆固醇至肝脏,再由胆汁途径排出体外,维持血浆与外周环境中的胆固醇含量处于平衡;而低密度脂蛋白则是将肝脏的胆固醇运往全身各器官,胆固醇以低密度脂蛋白胆固醇的形式在血液中流动,极易沉积于动脉血管壁上,造成阻

塞^[25]。临床上将高密度脂蛋白和低密度脂蛋白与总胆固醇,甘油三酯并称“血脂四项”,常作为心血管疾病发生的监测指标^[26]。在军曹鱼^[8]和大鼠(*Rattus norvegicus*)^[27]中的研究发现,富含二十碳五烯酸和二十二碳六烯酸等 n-3 系列多不饱和脂肪酸的鱼油可通过增强高密度脂蛋白合成酶和脂蛋白酶活性,抑制高密度脂蛋白降解酶活性,使血清高密度脂蛋白水平升高^[28],同时可使低密度脂蛋白受体活性增加,从而减少低密度脂蛋白在血液中的水平,并促进低密度脂蛋白向高密度脂蛋白的转化^[29]。本研究中发现豆油替代鱼油对高密度脂蛋白和低密度脂蛋白影响除了完全替代的 3S:0F 组显著升高了低密度脂蛋白含量外,其余各组差异均不显著,这与冯健等^[23]在太平洋鲑中发现鱼油相比于植物油具有显著降低血清中低密度脂蛋白含量的结果相似。已有的研究表明,淡水鱼类相比于海洋鱼类具有利用 C18:2n-6 和 C18:3n-3 来合成长链的 n-6 和 n-3 系列脂肪酸以满足自身对多不饱和脂肪酸的需求的能力^[30],类似的发现还存在于中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)^[31]和中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)^[32]中;推测本研究中出现的结果可能与此有关,但目前在龟类中尚未见相关报道,具体还需进一步分析。本研究中对高密度脂蛋白和低密度脂蛋白的影响总体差异不显著,证明了豆油替代鱼油的可行性。综合高、低密度脂蛋白的影响来看,1S:2F 组和 2S:1F 组替代鱼油效果最佳。

3.3 对相关酶活的影响

脂蛋白脂酶存在于脂肪组织和肌肉组织的毛细血管中,可水解外源性甘油三酯,产生游离脂肪酸^[33],肝脂酶在肝细胞中合成,作用与脂蛋白酶类似,主要是水解脂蛋白内未酯化的甘油三酯,同时可作为配体促进低密度脂蛋白进入肝细胞,并直接参与高密度脂蛋白的逆转运和高密度脂蛋白残粒的分解^[34],脂蛋白酶和肝酯酶合称总脂酶,是脂质转运过程中的关键酶之一。本研究发现总脂酶的变化趋势正好契合了甘油三酯含量的变化,其中 2S:1F 组显著高于 0S:3F 组,进一步佐证了肝酯酶和脂蛋白酶在水解甘油三酯,维持脂质代谢平衡方面的作用;本研究可以得出豆油替代鱼油具有减少龟类脂质积累的作用,上述结果说明 2S:1F 组替代优势显著。

激素敏感性脂肪酶是内源性脂质动员的关键

酶之一^[35],添加植物油可以使肝脏细胞处于更高的应激状态^[36]。本研究发现激素敏感性脂肪酶与总脂酶的变化趋势类似,这可能与来自食物的脂肪必须先转化为贮存脂肪,才可以被利用有关;据此推断,在能量需求旺盛的时期,外源性脂肪的贮存和内源性脂肪的动员一直处在一个动态平衡当中,从而维持体内的血脂水平和能量供应。但在 0S:3F 组总脂酶与激素敏感性脂肪酶趋势刚好相反,推测可能与多不饱和脂肪酸抑制脂质消化酶,从而限制脂质过量摄入有关^[37]。综合脂质代谢酶活性的结果来看,2S:1F 组是较适宜的替代组。

综上所述,从机体血脂代谢及相关酶活的角度出发,豆油替代鱼油在龟类养殖中总体可行,且 2S:1F 组表现出较适宜的替代效应。进一步的研究可以围绕 2S:1F 组来设置更多的替代比例组,来探究龟类中脂肪的适宜添加量及豆油替代鱼油在龟类中的最佳的替代比例;未来还可以从卵黄募集、脂肪酸的沉积、组织结构的影响、调控脂质代谢的相关基因的表达等方面进行更加深入的研究。

致谢:

感谢海南师范大学生命科学学院陈鹏,赵仁睿和江爱萍等同学在取样过程以及王秋月,黄颖,胡丽金和吴迪等同学在样品检测过程中给予的帮助!

参考文献:

- [1] 夏树华,姜元荣,张余权,等. 鱼油在食品领域中的应用技术综述[J]. 食品科学, 2012, 33(11):299-302.
- [2] Pickova J, Mørkøre T. Alternate oils in fish feeds [J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2007, 109(3):256-263.
- [3] 徐奇友,许红,李婵,等. 用豆油代替鱼油对虹鳟生长、非特异性免疫和组织酶活性的影响[J]. 大连水产学院学报, 2009, 24(2):104-108.
- [4] Caballero M J, Izquierdo M S, Kjorsvik E, et al. Morphological aspects of intestinal cells from gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fed diets containing different lipid sources [J]. *Aquaculture*, 2003, 225(1/4):325-340.
- [5] Martino R C, Cyrino J E P, Portz L, et al. Performance and fatty acid composition of surubim (*Pseudoplatystoma coruscans*) fed diets with animal and plant lipids [J]. *Aquaculture*, 2002, 209(1/4):233-246.
- [6] Raso S, Anderson T A. Effects of dietary fish oil re-

- placement on growth and carcass proximate composition of juvenile barramundi (*Lates calcarifer*) [J]. *Aquaculture Research*, 2003, 34(10):813-819.
- [7] 韩春艳, 郑清梅, 冯丽娜. 饲料中添加不同油脂对奥尼罗非鱼生长发育、体内抗氧化能力和血液生化指标的影响[J]. *饲料工业*, 2012, 33(2):17-20.
- [8] 林华锋. 3种植物油替代鱼油对军曹鱼幼鱼生长、血清生化指标和脂肪酸组成的影响[D]. 湛江:广东海洋大学, 2012.
- [9] Richard N, Mourente G, Kaushik S, et al. Replacement of a large portion of fish oil by vegetable oils does not affect lipogenesis, lipid transport and tissue lipid uptake in European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) [J]. *Aquaculture*, 2006, 261(3):1077-1087.
- [10] Bouraoui L, Sanchez-Gurmaches J, Cruz-Garcia L, et al. Effect of dietary fish meal and fish oil replacement on lipogenic and lipoprotein lipase activities and plasma insulin in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2011, 17(1):54-63.
- [11] 王煜恒. 不同脂肪源对异育银鲫生长、体脂沉积和血液生化指标的影响[D]. 南京:南京农业大学, 2011.
- [12] 张媛媛, 刘波, 戈贤平, 等. 不同脂肪源对异育银鲫生长性能、机体成分、血清生化指标、体组织脂肪酸组成及脂质代谢的影响[J]. *水产学报*, 2012, 36(7):1111-1118.
- [13] 史海涛, 洪美玲, 傅丽容, 等. 龟类的养殖与保护[J]. *生物学通报*, 2009, 44(1):18-21.
- [14] Hong M L, Shi H T, Fu L R, et al. Scientific refutation of traditional Chinese medicine claims about turtles [J]. *Applied Herpetology*, 2008, 5(2):173-187.
- [15] Wang Y W, Field C J, Sim J S. Dietary polyunsaturated fatty acids alters lymphocyte subset proportion and proliferation, serum immunoglobulin G concentration, and immune tissue development in chicks [J]. *Poultry Science*, 2000, 79(12):1741-1748.
- [16] Tocher D R. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish [J]. *Reviews in Fisheries Science*, 2003, 11(2):107-184.
- [17] Nakayama S, Masuda R, Takeuchi T, et al. Effects of highly unsaturated fatty acids on escape ability from moon jellyfish *Aurelia aurita* in red sea bream *Pagrus major* larvae [J]. *Fisheries Science*, 2003, 69(5):903-909.
- [18] Quackenbush L S. Yolk protein production in the marine shrimp *Penaeus vannamei* [J]. *Journal of Crustacean Biology*, 1989, 9(4):509-516.
- [19] Zhang W, Mai K, Yao C, et al. Effects of dietary cholesterol on growth, survival and body composition of juvenile abalone *Haliotis discus hannai* Ino [J]. *Aquaculture*, 2009, 295(3):271-274.
- [20] Sheen S S. Dietary cholesterol requirement of juvenile mud crab *Scylla serrata* [J]. *Aquaculture*, 2000, 189(3/4):277-285.
- [21] Tillander V, Bjørndal B, Burri L, et al. Fish oil and krill oil supplementations differentially regulate lipid catabolic and synthetic pathways in mice [J]. *Gene Expression*, 2014, 11(1):20-36.
- [22] 郑锦锋, 彭莉. 膳食鱼油对高脂血症金黄地鼠血脂水平的影响[J]. *中国临床营养杂志*, 2002, 10(4):252-254.
- [23] 冯健, 覃志彪. 4种不同脂肪源对太平洋鲑生长和体组成的影响[J]. *水生生物学报*, 2006, 30(3):256-261.
- [24] 於叶兵, 江世贵, 林黑着, 等. 不同脂肪源对异育银鲫形体与血液生化指标的影响[J]. *湖南农业大学学报:自然科学版*, 2012, 38(2):192-197.
- [25] 陈亚平. 冠心病血清胆红素和低密度脂蛋白胆固醇水平的临床分析[J]. *国际检验医学杂志*, 2014, 35(14):1955-1956.
- [26] 徐飞虎, 龚兴国, 管文军. 酶法测定血清胆固醇的研究进展[J]. *临床检验杂志*, 2001, 19(4):247-249.
- [27] McIntosh G H, McLennan P L, Lawson C A, et al. The influence of dietary fats on plasma lipids, blood pressure and coagulation indices in the rat [J]. *Atherosclerosis*, 1985, 55(2):125-134.
- [28] Eisenberg S. High density lipoprotein metabolism [J]. *Journal of Lipid Research*, 1984, 25(10):1017-1058.
- [29] Woollett L A, Spady D K, Dietschy J M. Saturated and unsaturated fatty acids independently regulate low density lipoprotein receptor activity and production rate [J]. *Journal of Lipid Research*, 1992, 33(1):77-88.
- [30] Bell M V, Henderson R J, Sargent J R. The role of polyunsaturated fatty acids in fish [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1986, 83B(4):711-719.
- [31] 任泽林, 李爱杰. 中国对虾(*Penaeus chinensis*)脂肪酸转化能力的研究[J]. *水产科技情报*, 1995, 22(5):225-227.
- [32] 陈彦良, 李二超, 禹娜, 等. 豆油替代鱼油对中华绒螯蟹幼蟹生长、非特异性免疫和抗病力的影响[J]. *中国水产科学*, 2014, 21(3):511-521.
- [33] Auwerx J, Leroy P, Schoonjans K. Lipoprotein lipase: recent contributions from molecular biology [J]. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*,

- 1992, 29(3/4):243-268.
- [34] Choi S Y, Goldberg I J, Curtiss L K, et al. Interaction between ApoB and hepatic lipase mediates the uptake of ApoB-containing lipoproteins [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1998, 273(32):20456-20462.
- [35] 王咏波. 胰岛细胞激素敏感性脂肪酶在糖尿病发病中的变化及意义[D]. 武汉:华中科技大学, 2007.
- [36] 周继术, Ingunn Stubhaug, Anne Krovel, 等. 植物油替代鱼油的饲料对大西洋鲑肝细胞 4 个应激基因表达的影响[J]. *水产科学*, 2014, 33(4):208-213.
- [37] 吉红, 曹艳姿, 刘品, 等. 饲料中 HUFA 影响草鱼脂质代谢的研究[J]. *水生生物学报*, 2009, 33(5): 881-889.

Effects of Partial Replacement of Fish Oil by Soybean Oil on Serum Lipid Metabolism and Related Enzyme Activities in Chinese Striped-necked Turtle *Mauremys sinensis*

QIU Zhengyuan¹, SHENG Cheng¹, HONG Meiling¹, SHI Haitao^{1, 2}

(1. College of Life Sciences, Hainan Normal University, Haikou 571158, China;

2. Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract: In order to study the effects of partial replacement of fish oil by soybean oil on serum lipid metabolism and the activity of correlated lipases. Four-year old female Chinese striped-necked turtle *Mauremys sinensis* [body weight(1557±307) g] were randomly divided into four groups according to and fed the diets containing various proportions of fish oil (F) and soybean oil (S) including 0S : 3F (S : F, 0 : 3), 1S : 2F (S : F, 1 : 2), 2S : 1F(S : F, 2 : 1) and 3S : 0F (S : F, 3 : 0) for eight months. Six turtles were randomly selected from each group and determined for the content of triglycerides (TG), total cholesterol (TC), high density lipoprotein cholesterol (HDL-C) and low density lipoprotein cholesterol (LDL-C) in blood collected from the heart and the activity of lipoprotein lipase (LPL), hepatic lipase (HL) and hormone sensitive lipase (HSL) in liver, and pancreatic lipase (PL) in intestine. The results showed that the content of TC was significantly higher in 1S : 2F and 3S : 0F than that in 0S : 3F ($P < 0.05$); the content of LDL-C was significantly higher in 3S : 0F than in 0S : 3F ($P < 0.05$), no significant differences in the other groups. The maximal activity of the total lipase (LPL + HL) was observed in 2S : 1F, significantly higher than that in the 0S : 3F group ($P < 0.05$) and almost the same in HSL in 2S : 1F to 0S : 3F compared to the rest groups of HSL. There was no significant difference in PL in the group of 2S : 1F from that in 0S : 3F, but both being lower than that in the other groups. In totally of enzyme activity, the group of 2S : 1F was also the suitable group. Above all, the substitution of fish oil by soybean oil in the turtle could be worked, with the suitable ratio of 2S : 1F.

Key words: serum lipid; lipid metabolism enzyme; liver; fish oil; soybean oil; *Mauremys sinensis*