

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2013.00107

饲料脂肪水平对褐菖鲉血清生化指标、免疫及抗氧化酶活力的影响

施兆鸿^{1,2}, 岳彦峰^{1,2}, 彭士明¹, 李云航^{1,2}, 孙鹏¹, 尹飞¹, 王建钢¹

1. 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090;
2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306

摘要: 以鱼粉为脂肪源, 设脂肪水平分别为 6.1%(A 组)、9.5%(B 组)、12.4%(C 组)、15.1%(D 组)、18.5%(E 组)的 5 种实验饲料, 对平均初始体质量为 (27.56 ± 0.19) g 的褐菖鲉(*Sebastes marmoratus*)进行为期 60 d 的饲养实验, 探讨饲料脂肪水平对褐菖鲉血清生化指标、免疫及抗氧化酶活力的影响。结果表明: (1)随着饲料中脂肪水平的升高, 褐菖鲉血清中的高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)呈逐渐升高的趋势, E 组最高, 显著高于 A 组、B 组和 C 组($P < 0.05$), 低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)表现为先上升后下降的趋势, C 组显著高于 D 组和 E 组($P < 0.05$), 而甘油三酯(TG)和总胆固醇(CHO)呈下降的趋势, D 组、E 组显著低于 A 组、B 组和 C 组($P < 0.05$), 总蛋白(TP)含量在各组间差异不显著($P > 0.05$); (2)褐菖鲉血清免疫球蛋白 M(IgM)含量随脂肪水平的升高呈现先上升后下降的趋势, C 组显著高于其他各组($P < 0.05$), 溶菌酶(LZM)活力也呈现先上升后下降的趋势, C 组显著高于 A 组、D 组和 E 组($P < 0.05$); (3)肝超氧化物歧化酶(SOD)活力、过氧化氢酶(CAT)活力和总抗氧化能力(T-AOC)随着饲料中脂肪水平的升高呈现先上升后下降的趋势, C 组显著高于其他各组($P < 0.05$), 丙二醛(MDA)含量则呈现逐渐上升的趋势, 其 D 组和 E 组显著高于其他各组($P < 0.05$)。血清中 SOD 活力随脂肪水平升高呈现上升趋势, D 组和 E 组显著高于 A 组、B 组、C 组($P < 0.05$); 血清 CAT 活力也表现为上升的趋势, 但各组之间差异不显著($P > 0.05$)。综上所述, 饲料中适宜的脂肪水平(12.4%)可明显改善褐菖鲉的免疫功能与抗氧化能力。

关键词: 褐菖鲉; 脂肪水平; 生化指标; 免疫; 抗氧化

中图分类号: S963

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2013)01-0101-07

鱼类在生长过程中对脂肪水平有着特定的需求, 不同种类在不同生长阶段对食物中脂肪含量的需求各不相同^[1-3]。而鱼类的血清生化指标可反映鱼类的代谢、营养状况及免疫水平^[4]。因此研究鱼类血清中生化指标, 对于了解饲料中脂肪水平对鱼类的生长代谢、免疫以及抗氧化能力具有实际意义。

褐菖鲉(*Sebastes marmoratus*)隶属硬骨鱼纲(Osteichthyes), 辐鳍亚纲(Actinopterygii), 鲉形目, 鲉科(Scorpaenidae), 菖鲉属(*Sebastes*), 俗称虎头鱼、假石斑、石头鲈, 体色呈褐色或红褐色, 广泛分布于日本、菲律宾、朝鲜和中国沿海^[5]。

其肉质细嫩, 味道鲜美, 市场售价较高, 具养殖开发前景。作为名贵食用鱼类和游钓鱼类, 针对褐菖鲉的苗种生产技术和人工放流技术, 日本在 20 世纪七八十年代时就进行过相关研究^[6], 在褐菖鲉稚幼鱼的年龄与生长关系以及饥饿耐受力、游泳能力等方面, 国外学者也进行过相关的报道^[7-8]。中国对褐菖鲉的研究主要集中在生物学特性、环境影响、仔稚培育、饥饿胁迫等方面^[9-14], 而对其营养需求研究较少, 仅见饲料中钙对其生长性能、饲料效率的影响^[15]。现在网箱养殖的褐菖鲉饵料基本以冰冻小杂鱼为主, 而要使褐菖鲉养殖实现规模化, 单纯投喂小杂鱼对于产业可持续发展

收稿日期: 2012-04-01; 修订日期: 2012-06-02.

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD13B01); 中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(东 2011M09).

作者简介: 施兆鸿, 研究员, 主要从事海水鱼类苗种培育与繁殖生物学研究. E-mail: shizhh@hotmail.com

展及健康养殖都存在很大的弊端,所以探求褐菖鲉的营养需求,研制安全高效环境友好型的配合饲料尤为必要。本研究开展了饲料中脂肪水平对褐菖鲉血清生理生化、免疫及抗氧化功能的影响实验,以期为褐菖鲉人工配合饲料的研制提供参考数据。

1 材料与方法

1.1 实验用鱼及饲料制备

褐菖鲉购自于浙江省温州市洞头县渔排养殖户,挑选平均初始体质量为(27.56±0.19) g,体表无伤、体色正常的褐菖鲉作为实验对象。饲料以鱼粉、豆粕为蛋白源,鱼油为脂肪源,共设 5 个不同的脂肪水平,依次为 6.1%(A 组)、9.5%(B 组)、12.4%(C 组)、15.1%(D 组)、18.5%(E 组)。所有饲料原料需经 40 目筛,且充分混匀后用颗粒机制作成直径为 2 mm 的颗粒饲料,置于-20℃冰箱保存备用。采用 GB /T6432 - 1994 中的方法测定粗蛋白含量,采用 GB /T6433 - 1994 中的方法测定粗脂肪含量,饲料组份和测得的营养组成见表 1。

1.2 实验设计

实验在浙江省温州市洞头县浙江省水产养殖研究所基地内进行。将 225 尾褐菖鲉分别放入 15 个直径 1.0 m、深度 0.8 m 的网箱中,网箱置于 28 m³ 的圆形水泥池中,放养密度为 15 尾/网箱,每个脂肪水平设 3 个重复。在 14 d 的适应期中,所

有网箱中的褐菖鲉统一饲喂同一种商品饲料(市售石斑鱼饲料)。预饲 14 d 后开始正式实验,实验周期为 60 d。实验期饱食投喂,每天早晚各投喂 1 次,并观察水质和鱼活动情况。实验期间实验用水采用经暗处理、沉淀、砂滤的天然海水,冷热水机控制水温,换水量为 30%/d。盐度 27.0±0.5, pH 7.9±0.5, 溶解氧 6~8 mg/L, 水温为 25.1~25.6℃。

1.3 样品采集

实验结束时,停食 24 h,然后分别从每个实验网箱中随机捕捞 5 尾褐菖鲉,用 MS222 (200 mg/L) 将鱼麻醉处理后,随即在准备好的冰盘上进行血清和肝样品的采集。实验鱼通过尾静脉采取血清血样。每尾鱼的血样分别放置在 4℃静置,12 h 后,4℃,4 000 r/min 离心 10 min,取其上清液,-70℃保存备用。肝完整取出,小心剔除表面的结缔组织和脂肪等附着物,收集编号后放入液氮快速冷冻,置-70℃超低温冰箱中保存备用。

1.4 血清生理生化指标测试

甘油三酯(TG)、总胆固醇(CHO)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)以及总蛋白含量(TP)均采用康艺-30 全自动生化分析仪进行分析。

1.5 免疫指标以及抗氧化酶活力的测定

血清溶菌酶(LZM)活性参照 Yin 等^[16]的方法测定。

肝与血清中的超氧化物歧化酶(SOD)活力、过

表 1 实验饲料的组成
Tab. 1 Composition of the experimental diets

	% DW				
成分 composition	A 组 diet A	B 组 diet B	C 组 diet C	D 组 diet C	E 组 diet E
饲料原料 ingredients					
鱼粉 fish meal	60	60	60	60	60
豆粕 soybean meal	20	20	20	20	20
多维 vitamin premix	1	1	1	1	1
多矿 multi-mineral	1	1	1	1	1
氯化胆碱 choline chloride	1	1	1	1	1
淀粉 starch	17	14	11	8	5
鱼油 fish oil	0	3	6	9	12
营养组成 nutrition composition					
粗蛋白 crude protein	41.4	41.8	41.9	41.9	41.5
粗脂肪 crude lipid	6.1	9.5	12.4	15.1	18.5

氧化氢酶(CAT)活力、总抗氧化能力(T-AOC)活力以及丙二醛(MDA)和免疫球蛋白 M(Ig M)含量采用南京建成生物工程研究所的试剂盒测定。测定方法参见说明书。

1.6 数据处理

数据以平均值±标准误($\bar{x} \pm SE$)表示, 实验结果用 SPSS13 软件进行统计与分析, 采用 Duncan 检验进行多重比较, $P < 0.05$ 即认为有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 饲料脂肪水平对褐菖鲉血清生化指标的影响

由表 2 可知, 饲料脂肪水平对褐菖鲉血清中的甘油三酯(TG)、总胆固醇(CHO)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)以及低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)含量有显著的影响($P < 0.05$)。随着饲料中脂肪水平的升高, 褐菖鲉血清中的 HDL-C 呈逐渐

升高的趋势, E 组最高, 显著高于 A 组、B 组和 C 组($P < 0.05$), 但与 D 组差异不显著($P > 0.05$)。LDL-C 随着饲料脂肪水平的递增表现为先上升后下降的趋势, C 组显著高于 D 组和 E 组($P < 0.05$), 而 CHO 和 TG 含量呈现下降的趋势, D 组、E 组显著低于 A 组、B 组和 C 组($P < 0.05$)。总蛋白(TP)含量在各组间没有显著差异($P > 0.05$)。

2.2 饲料脂肪水平对褐菖鲉免疫功能的影响

由表 3 可知, 饲料脂肪水平对褐菖鲉血清免疫球蛋白 M(IgM)含量以及溶菌酶(LZM)活力有显著影响($P < 0.05$)。随着脂肪水平的升高, IgM 含量呈现先上升后下降的趋势, C 组显著高于其他各组($P < 0.05$); LZM 活力随脂肪水平的升高也呈现先上升后下降的趋势, C 组显著高于 A 组、D 组和 E 组($P < 0.05$)。

表 2 饲料脂肪水平对褐菖鲉血清生化指标的影响
Tab. 2 Effects of dietary lipid levels on serum biochemistry indices of *Sebasticus marmoratus*

组别 group	甘油三酯 /(mmol·L ⁻¹) TG	总胆固醇 /(mmol·L ⁻¹) CHO	高密度脂蛋白胆固醇 /(mmol·L ⁻¹) HDL-C	低密度脂蛋白胆固醇 /(mmol·L ⁻¹) LDL-C	总蛋白 /(g·L ⁻¹) TP
饲料 A diet A	8.38±1.98 ^a	9.17±0.90 ^a	1.05±0.31 ^c	2.18±0.44 ^{ab}	42.88±3.89
饲料 B diet B	7.01±1.45 ^{ab}	6.99±0.28 ^{ab}	2.02±0.52 ^{bc}	2.45±0.63 ^{ab}	48.86±0.71
饲料 C diet C	5.52±1.54 ^b	6.97±2.56 ^b	2.12±1.06 ^{bc}	3.21±1.04 ^a	43.80±4.52
饲料 D diet D	3.64±1.08 ^c	4.24±0.96 ^c	2.71±0.74 ^{ab}	1.82±0.56 ^b	42.91±3.29
饲料 E diet E	2.38±1.04 ^c	3.68±1.16 ^c	2.46±0.65 ^a	1.25±0.08 ^c	44.77±3.84

注: 同一列不同上标字母表示组间有显著性差异($P < 0.05$)。
Note: Different superscript letters within each column represent significant differences between groups($P < 0.05$).

表 3 饲料中脂肪水平对褐菖鲉免疫指标的影响
Tab. 3 Effects of dietary lipid levels on immunity indices of *Sebasticus marmoratus*

组别 group	免疫球蛋白 M /(μg·L ⁻¹) IgM	溶菌酶/(U·mL ⁻¹) lysozyme
饲料 A diet A	13.88±1.51 ^c	1280.30±13.12 ^b
饲料 B diet B	16.02±0.83 ^b	1357.57±216.11 ^{ab}
饲料 C diet C	18.17±2.85 ^a	1590.91±120.26 ^a
饲料 D diet D	17.04±0.17 ^b	1388.86±79.02 ^b
饲料 E diet E	16.55±0.40 ^b	1019.70±10.48 ^c

注: 同一列不同上标字母表示组间有显著性差异($P < 0.05$)。
Note: Different superscript letters within each column represent significant differences between groups($P < 0.05$).

2.3 饲料脂肪水平对褐菖鲉抗氧化功能的影响

由表 4 可知, 饲料脂肪水平对褐菖鲉肝的超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛(MDA)、过氧化氢

酶(CAT)、总抗氧化能力(T-AOC)以及血清中 SOD 活力有显著的影响($P < 0.05$)。肝的 SOD、CAT 和 T-AOC 活力随脂肪水平的升高呈现先上升后下降的趋势, C 组显著高于其他各组($P < 0.05$); MDA 则呈现逐渐上升的趋势, 其 D 组和 E 组显著高于其他各组($P < 0.05$)。血清中 SOD 随脂肪水平升高呈现逐渐上升趋势, D 组和 E 组显著高于 A、B、C 组($P < 0.05$); 血清 CAT 活力呈现逐渐上升趋势但在各组之间没有显著差异($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 脂肪水平对褐菖鲉血清生化指标的影响

鱼类血液中的脂肪只占机体脂肪总量的极少部分, 由于它流动于各组织之间, 因此当机体发

表 4 饲料脂肪水平对褐菖鲉抗氧化酶活力的影响
Tab. 4 Effects of dietary lipid levels on antioxidant enzymes activity of *Sebasticus marmoratus*

组别 group	肝 liver				血清 serum	
	超氧化物歧化酶 /(U·mg ⁻¹) SOD	丙二醛(nmol·mg ⁻¹) MDA	过氧化氢酶 /(U·mg ⁻¹) CAT	总抗氧化活力 /(U·mg ⁻¹) T-AOC	过氧化氢酶 /(U·mL ⁻¹) CAT	超氧化物歧化酶 /(U·mL ⁻¹) SOD
饲料 A diet A	86.71±0.88 ^c	1.08±0.26 ^b	18.78±2.91 ^b	0.65±0.15 ^b	2.23±0.37	75.86±10.74 ^c
饲料 B diet B	93.38±13.66 ^c	1.34±0.46 ^b	19.01±2.43 ^b	0.74±0.13 ^b	2.39±2.12	89.51±9.31 ^b
饲料 C diet C	124.06±4.15 ^a	1.56±0.59 ^b	35.14±4.60 ^a	1.46±0.54 ^a	3.24±1.95	90.59±5.92 ^b
饲料 D diet D	105.93±2.72 ^b	3.48±1.89 ^a	23.84±3.60 ^b	0.87±0.19 ^b	4.04±1.45	99.26±13.18 ^a
饲料 E diet E	102.59±3.29 ^b	3.82±0.59 ^a	19.99±0.91 ^b	0.42±0.25 ^c	5.10±3.43	106.96±16.41 ^a

注：同一列不同上标字母表示组间有显著性差异(P<0. 05)。
Note: Different superscript letters within each column represent significant differences between groups(P<0. 05).

生生理或病理变化时，血液生化指标可以迅速反映其机体代谢、营养状况及疾病状况^[4,17]。研究表明，胆固醇大部分由肝制造，必须与脂蛋白结合才能进行运输^[18]。脂蛋白分高密度脂蛋白(HDL)和低密度脂蛋白(LDL)，前者是将各组织的胆固醇送回肝代谢，而后者把胆固醇从肝运送到全身组织^[18-19]。本实验中褐菖鲉血清的 HDL-C 含量与饲料脂肪水平呈正比，而 LDL-C 含量表现为与饲料脂肪水平呈反比，表明饲料脂肪水平对褐菖鲉的肝功能产生了一定的影响。临床认为血清 HDL-C 的升高具有极积作用；而 LDL-C 的降低可能预示肝功能异常或其他代谢问题，这有待于今后对肝生化指标进行测试后作进一步的分析。实验中血清 CHO 和 TG 含量随饲料脂肪水平的升高呈现下降趋势。CHO 参与形成细胞膜、合成胆汁酸、维生素 D 以及甾体激素的原料，是动物组织细胞所不可缺少的重要物质；TG 则是重要的能源物质，主要参与体内的能量代谢，包括能量的产生与储存，是生命运动中重要的物质^[18]。CHO 和 TG 含量的降低可能是消化脂肪的胆汁分泌异常或肝功能障碍所致。高脂肪水平的饲料可能对鱼类的肝功能产生一定的影响，使鱼体的肝细胞遭到破坏或者肝功能受损，导致 TG 转运出肝受到阻碍，致使血液中的 TG 相对减少。在奥尼罗非鱼(*Oreochromis aureus*)幼鱼^[20]以及厚唇弱棘鲷(*Hiphaestus fuliginosus*)^[21]的研究中也得出与本实验相似的结论。但是在王爱民等^[22]、Romsos 等^[23]以及陈萍等^[24]的研究中发现，血清中胆固醇含量与饲料脂肪水

平呈现正相关，原因可能是饲料脂肪水平对于血清胆固醇的影响在不同鱼类或不同物种、不同季节以及不同生长阶段也会发生变化，对其相关机制的分析尚需进一步研究。

3.2 脂肪水平对褐菖鲉免疫功能的影响

脂类不仅是鱼类生长发育所必需的物质基础，而且对于维持免疫系统功能也起到重要的作用。血清中的免疫球蛋白与溶菌酶分别属于鱼体液免疫系统中的特异性免疫与非特异性免疫，是鱼类体液免疫系统的重要组成部分，二者的活力水平可以在一定程度上反映出鱼体的免疫水平。在本实验条件下，随着脂肪水平的升高，褐菖鲉血清的 IgM 含量以及 LZM 活性均呈现先上升后下降的趋势，有报道认为脂肪酸是鱼类组织细胞膜的重要组成部分，它在维持细胞膜的流动性、促进淋巴细胞增殖、调节细胞的免疫功能等方面发挥着重要作用^[25-26]。而必需脂肪酸不仅可以提高动物机体的体液免疫和细胞免疫，而且可以增强细胞因子的产生以及对有丝分裂原刺激的淋巴细胞增殖反应产生影响^[27]。适宜的脂肪酸含量可能增强了褐菖鲉骨髓细胞的增殖活力，促进胸腺、脾等免疫器官的生长和促进血清蛋白的生物合成。Lin 等^[28]的研究发现，随着饲料多不饱和脂肪酸(PUFA)水平的增加，马拉巴石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)稚鱼血清溶菌酶活力显著提高，Pilarczyk^[29]证实适量的 n-3 HUFA 可以增加鲤(*Cyprinus carpio*)抗体的合成量，另外 Kiron 等^[30]研究发现，当饲料中缺乏 n-3 HUFA 时，虹鳟

(*Oncorhynchus mykiss*)的抗体生成量降低,削弱了鱼体对 IHN 病毒的抵抗力。同时本实验也发现,过高的脂肪酸含量并不能使褐菖鲉的免疫力进一步提高,反而会出现免疫抑制现象致使鱼体抗病能力下降,与 Lingenf 等^[31]和 Lall^[32]得出的结果一致。

3.3 脂肪水平对褐菖鲉抗氧化功能的影响

鱼体内有天然的抗氧化系统去除脂肪酸的氧化产物,以维持正常的生理功能,其中包括 SOD、CAT 等抗氧化酶, SOD 作用于超氧自由基,使体内的超氧自由基转化为过氧化氢, CAT 则能特异性清除体内过多的过氧化氢,保护细胞免受过氧化损伤^[33-34]。MDA 被认为是脂肪酸过氧化的代谢产物,其组织含量是肝损伤程度的指标^[35]。在本实验中,随着饲料中脂肪水平的升高,肝 SOD、CAT 以及 T-AOC 活力呈现先上升后下降的趋势,说明一定的饲料脂肪水平可以提高鱼体的抗氧化酶活力,从而提高褐菖鲉的抗氧化能力,但是脂肪水平过高反而增加了体内过氧化产物的含量,进而削弱了机体抗氧化能力。肝 MDA 水平呈现逐渐上升的趋势,血清中 SOD 随脂肪水平升高呈现逐渐上升趋势。分析原因可能在高脂肪水平下,褐菖鲉的肝已经沉积了大量的脂肪,并有很大一部分发生了氧化,导致 MDA 含量上升,而由于肝组织的损伤,导致肝细胞破坏或细胞膜通透性增加,致使肝细胞中的酶渗入血液,最终导致血清中 SOD 酶活性增加,其具体的机理有待进一步研究分析。本实验研究结果表明,饲料中适量的脂肪水平可以增强鱼体内的抗氧化酶活力,提高其抗氧化能力,但当超过一定脂肪水平时反而会减弱其抗氧化能力。这也从另一侧面印证了褐菖鲉生长、代谢所适宜的脂肪营养需求,即鱼体生理性指标的变化可以反映出机体对外源营养的适宜需求量,在对胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)^[36]和奥尼罗非鱼^[20]的研究报道中也得到了与本实验相似的结论。

3.4 结论

本实验条件下,饲料中不同脂肪水平对褐菖鲉血清生化指标、免疫及抗氧化酶活力有显著影

响($P<0.05$),且当脂肪水平超过 12.4%时,容易导致褐菖鲉肝功能受损。综合各项生理生化指标得出褐菖鲉适宜脂肪水平为 12.4%,这一结果与生长性能方面反映出的褐菖鲉最适饲料脂肪水平为 12.74%的结论(另文发表)相符。

参考文献:

- [1] 岳彦峰,彭士明,施兆鸿,等. 脂肪酸营养对鱼类生长、脂代谢及免疫性能影响的研究进展[J]. 现代渔业信息, 2011, 26(11): 13-19
- [2] 周小秋. 鱼类能量需要量研究进展[J]. 国外水产, 1994(4): 3-8.
- [3] Ahmad Daud O M, Hong J I, UMINO T, et al. Dietary effects of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid on lipid metabolism in black sea bream[J]. Fish Sci, 2003, 69: 1182-1193.
- [4] 高露姣,施兆鸿,艾春香. 不同脂肪源对施氏鲟幼鱼血清生化指标的影响[J]. 海洋渔业, 2005, 27(4): 319-323.
- [5] Froese R, Pauly D. 2012 Fish Base [DB/OL]. <http://www.fishbase.org>. 2012.02/2012.3.
- [6] 刘卓,李善勋. 日本水产增殖殖业[M]. 农业出版社, 1981.
- [7] Watanabe S. Age and growth of scorpion fish, *Sebastiscus marmoratus* in coastal waters off Oseto and Luchinotsu, Nagasaki[J]. Bull Nagas Prefect Inst Fish, 2003, 28: 17.
- [8] Yoko M, Yasushi K. Evaluation of larval quality of viviparous scorpion fish *Sebastiscus marmoratus*[J]. Fish Sci, 2006, 72(5): 948-954.
- [9] 林丹军,尤永隆. 卵胎生硬骨鱼褐菖鲉卵巢的周期发育研究[J]. 动物学研究, 2000, 21(4): 269-274.
- [10] 尤永隆,林丹军. 卵胎生硬骨鱼褐菖鲉精子发生的超微结构研究[J]. 热带海洋学报, 2002, 21(1): 70-77.
- [11] 赵扬,王云,左正,等. 三丁基锡(TBT)对褐菖鲉肝脏抗氧化系统的影响[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2008, 47(5): 748-751.
- [12] 张景智,陈荣,李东. 苯并芘对褐菖鲉肝细胞 DNA 交联的影响[J]. 台湾海峡, 2010, 29(4): 446-451.
- [13] 王志铮,吴常文,侯伟芬,等. 褐菖鲉仔、稚鱼生长特性及其关键变态期的研究[J]. 海洋科学, 2002, 26(5): 1-4.
- [14] 江丽华. 饥饿对褐菖鲉消化道指数及消化酶活力的影响[J]. 水产科学, 2010, 30(4): 187-191.
- [15] Hossain M A, Furuichi M. Essentiality of dietary calcium supplement in fingerling scorpion fish (*Sebastiscus marmoratus*)[J]. Aquaculture, 2000, 189: 155-163.
- [16] Yin G J, Jenney G, Razz T, et al. Effect of two Chinese

- herbs(*Astragals radix* and *Scutellaria radix*) on non-specific immune response of tilapia, *Oreochromis niloticus* [J]. Aquaculture, 2006, 253(1-4): 39-47.
- [17] 刘波, 唐永凯, 俞菊华, 等. 饲料脂肪对翘嘴红鲌生长、葡萄糖激酶和葡萄糖-6-磷酸酶活性与基因表达的影响[J]. 中国水产科学, 2008, 15(6): 1024-1033.
- [18] 周顺伍. 动物生物化学[M]. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 144-146.
- [19] Deplano M, Connesr, Diazj P, et al. Intestinal steatosis in the farm-reared sea bass *Dicentrarchus labrax* [J]. Dis Aquat Org, 1989, 6: 121-130.
- [20] 甘晖, 李坚明, 冯广朋, 等. 饲料脂肪水平对奥尼罗非鱼幼鱼生长和血浆生化指标的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(1): 35-41.
- [21] 王爱英, 韩勃, 宋理平, 等. 不同脂肪水平对厚唇弱棘鲷血液生化指标的影响[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2010, 29(3): 222-226.
- [22] 王爱民, 韩光明, 封功, 等. 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼生产性能、营养物质消化及血液生化指标的影响[J]. 水生生物学报, 2011, 35(1): 80-87.
- [23] Romsos D R, Belo P S, Bennink M R, et al. Effects of dietary carbohydrate, fat and protein on growth, body composition and blood metabolite levels in the dog[J]. J Nutr, 1976, 106(10): 1452-1464.
- [24] 陈萍, 李福昌. 日粮中添加脂肪对断奶至 2 月龄肉兔生产性能与生理指标的影响[J]. 动物营养学报, 2006, 18(3): 179-185.
- [25] National Research Council. Nutrient requirement of fish [M]. Washington D. C.: National Academy of Press, 1993: 114.
- [26] Montero D, Tort L, Izquierdo M S, et al. Effects of toco-pherol and n-3 HUFA deficient diets on blood cells, selected immune parameters and proximate body composition of gilthead seabream (*Sparus aurata*)[M] //Stolen J S, Fletcher T C, Bayne C J, et al. Modulators of immune response. The evolutionary trail. Fair Haven: SOS Publications, 1996: 251-266.
- [27] 杨鸢劫, 郝旭文, 徐增洪, 等. 不饱和脂肪酸对黄鳝部分非特异性免疫和代谢指标的影响[J]. 中国水产科学, 2008, 15(4): 600-605.
- [28] Lin Y H, Shi Y S. Dietary lipid requirement of grouper, *Epinephelus malabaricus*, and effects on immune response[J]. Aquaculture, 2003, 225: 243-250.
- [29] Pilarczyk A. Impact of the genetic and alimentary factors on the carp immune response [J]. Akademia Rolnicza Szczecin, Rozprawy, 1998, 81: 62.
- [30] Kiron V, Fukuda H, Takeuchi T, et al. Essential fatty acid nutrition and defence mechanisms in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. Comp Biochem Physiol, 1995, 111A: 361-367.
- [31] Lingenfelser J T, Blazer V S, Gay J. Influence of fish oil in production cat fish feeds on selected disease resistance factors[J]. J Appl Aquacult, 1995, 5: 37-48.
- [32] Lall S P. Dietary lipids, immune function and pathogenesis of disease in fish[C]//Halifax N S. Proceedings of the 37th eastern nutrition conference. Canada: Animal Nutrition Association of Canada, 2001: 150-158.
- [33] Gul S, Belge-kurutas E, Yildiz E, et al. Pollution correlated modifications of liver antioxi-dant systems and histopathology of fish (Cyprinidae) living in Seyhan Dam Lake, Turkey [J]. Environ Int, 2004, 30: 605-609.
- [34] 韩雨哲, 姜志强, 任同军, 等. 氧化鱼油与棕榈油对花鲈肝脏抗氧化酶及组织结构的影响[J]. 中国水产科学, 2010, 17(4): 798-806.
- [35] Mourente G, Tocherd R, Diaz E, et al. Relationships between antioxidants, antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation products during early development in *Dentex dentex* eggs and larvae[J]. Aquaculture, 1999, 179: 309-324.
- [36] 王朝明, 罗莉, 张桂众, 等. 饲料脂肪水平对胭脂鱼幼鱼生长、体组成和抗氧化能力的影响[J]. 淡水渔业, 2010, 40(5): 47-53.

Effects of dietary lipid levels on serum biochemistry indices, immunity, and antioxidant activity in *Sebastiscus marmoratus*

SHI Zhaohong^{1,2}, YUE Yanfeng^{1,2}, PENG Shiming¹, LI Yunhang^{1,2}, SUN Peng¹, YIN Fei¹, WANG Jiangang¹

1. Key Laboratory of East China Sea and Oceanic Fishery Resources Exploitation, Ministry of Agriculture of P.R. China; East Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;

2. College of Fisheries and Life, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: We evaluated the effects of dietary lipid levels on serum biochemistry indices, immunity, and antioxidant function in *Sebastiscus marmoratus*. Juvenile fish (average initial body weight: 27.56 ± 0.19 g) were randomly divided into 5 groups and fed diets containing different levels of lipid (from fish meal) for 60 d: diet A (6.1%), diet B (9.5%), diet C (12.4%), diet D (15.1%), or diet E (18.5). The HDL-C content tended to increase with increasing dietary lipid levels. HDL-C levels were highest in the fish fed diet E and were significantly higher than in fish fed diets A–C ($P < 0.05$). The LDL-C content also tended to increase at first but then decreased at higher dietary lipid levels. The LDL-C content was significantly higher in fish fed diet C than those fed diets D and E ($P < 0.05$). TG and CHO content tended to decrease as dietary lipid levels increased. TG and CHO content were significantly lower in fish fed diets D and E than in those fed diets A–C ($P < 0.05$). Diet had no effect on TP ($P > 0.05$). The IgM content tended to increase then decrease with increasing dietary lipid levels. IgM levels were significantly higher in fish fed diet C than all other groups. Similarly, LZM levels increased then decreased with increasing dietary lipid levels and were significantly higher in fish fed diet C than those fed diets A, D, and E. The liver SOD, CAT, and T-AOC activity also increased then decreased with increasing dietary lipid levels. Enzyme activity was highest in fish fed diet C than all other groups. The liver MDA content increased with increasing dietary lipid levels and was higher in fish fed diets D and E than those fed diets A–C ($P < 0.05$). Serum SOD activity also increased with increasing dietary lipid levels and was higher in fish fed diets D and E than those fed diets A–C ($P < 0.05$). Last, serum CAT activity tended to increase but there was no difference among the groups ($P > 0.05$). In conclusion, the adaptability of *S. marmoratus* to the dietary lipid levels is reflected by changes in serum biochemistry. Our data suggest the optimal dietary lipid levels (12.4%) are associated with improved immunity and antioxidant function.

Key words: *Sebastiscus marmoratus*; lipid level; biochemistry indices; immunity; antioxidant

Corresponding author: SHI Zhaohong. E-mail: shizhh@hotmail.com