

文章编号: 1000-0615(2018)09-1408-09

DOI: 10.11964/jfc.20170910948

配合饲料和冰鲜鲢对大口黑鲈生长、血浆生化指标、抗氧化能力和组织学的影响

牟明明¹, 蒋余¹, 罗强², 陈拥军¹, 罗莉¹, 林仕梅^{1*}

(1. 西南大学动物科技学院, 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室, 重庆 400716;

2. 重庆市璧山区农业委员会, 重庆 402670)

摘要: 为探讨不同来源饲料对大口黑鲈生长、血浆生化指标、抗氧化能力以及肝脏和肠道组织学的影响, 实验选取初始体质量为(12.45±0.07) g的大口黑鲈180尾, 随机分成2个处理, 每个处理3个重复, 每个重复30尾, 分别投喂配合饲料和冰鲜鲢, 养殖84 d。结果显示, 配合饲料组大口黑鲈的增重率(WGR)、特定生长率(SGR)和饲料系数(FCR)显著低于冰鲜鲢组, 而蛋白质效率(PER)、肝体比(HSI)和脏体比(VSI)显著高于冰鲜鲢组。大口黑鲈摄食配合饲料后, 肝糖原含量显著高于冰鲜鲢组, 肝脏蛋白酶活性显著低于冰鲜鲢组, 而肌糖原和肠淀粉酶活性无显著差异。饲喂配合饲料组大口黑鲈血浆谷草转氨酶(AST)活性、血糖和丙二醛(MDA)含量以及Ca/P比值显著高于冰鲜鲢组, 而血浆碱性磷酸酶(ALP)、超氧化物歧化酶(SOD)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性以及总蛋白(TP)、甘油三酯(TG)、尿素、钙和磷含量显著低于冰鲜鲢组。各实验组血浆谷丙转氨酶(ALT)活性以及胆固醇(TC)和胰岛素含量均无显著差异。配合饲料明显影响大口黑鲈肝脏和肠道的组织结构, 饲喂配合饲料组实验鱼的肝脏空泡化现象严重, 小肠绒毛受到严重机械性损伤。研究表明, 在本实验条件下, 冰鲜鲢更适合饲喂大口黑鲈, 配合饲料不仅影响大口黑鲈的生长, 而且损伤肝脏和肠道的健康。因此, 可以借鉴冰鲜鲢的营养组成和大口黑鲈的代谢特性, 深入研究大口黑鲈的饲料配制技术。

关键词: 大口黑鲈; 配合饲料; 冰鲜鱼; 生化指标; 肝脏; 肠道

中图分类号: S 963.7

文献标志码: A

大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)是我国重要的经济养殖鱼类, 近年来年产量超过30万t。目前, 我国大口黑鲈的养殖仍以冰鲜杂鱼为主, 这无疑会造成资源浪费和对养殖环境的污染, 同时还会引起各种疾病的暴发。现有的资料已涉及大口黑鲈的营养学研究, 包括蛋白质^[1-3]、脂肪^[4-6]、和碳水化合物^[7], 但其营养和饲料参数仍然十分缺乏, 导致其生产力水平低下, 尤其是在中后期出现生长慢、厌食、肝脏疾病等问题。研究表明, 珍珠龙胆石斑鱼(*Epinephelus*

fuscoguttatus♀×*E. lanceolatus*♂)^[8]对天然饵料和配合饲料的利用差异, 为其人工配合饲料的优化提供了依据。同时, 也阐明了大口黑鲈^[9]对外源性脂肪的适应和调节能力。这些研究结果可以为养殖鱼类人工配合饲料的研发提供借鉴和技术指导。因此, 充分了解大口黑鲈的营养需求特点, 是科学合理配制其人工饲料的前提。为此, 本实验旨在通过比较研究配合饲料和冰鲜鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)肉对大口黑鲈生长、血液生化指标以及肝脏和肠道组织学的差

收稿日期: 2017-09-04 修回日期: 2018-01-16

资助项目: 国家自然科学基金(31672659); 重庆市生态渔产业技术体系[渝府发(2017)23号]

通信作者: 林仕梅, E-mail: linsm198@163.com

异影响, 为大口黑鲈配合饲料的开发提供理论依据和新思路。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

实验用冰鲜杂鱼为鲜活鲢, 购自重庆北碚区天生农贸市场, 用绞肉机粉碎, 于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中保存备用。配合饲料为大口黑鲈专用商品配合饲料(购自国内某知名品牌)。实验饲料的营养组成见表1。

表1 配合饲料和冰鲜鲢的主要营养组成

Tab. 1 The main nutritional components of formulated diet and fresh frozen *H. molitrix*(dry matter) %

营养成分 nutritional component	配合饲料 formulated diet	冰鲜鲢 fresh frozen <i>H. molitrix</i>
水分 moisture	4.65	68.25
粗蛋白质 crude protein	52.65	56.21
粗脂肪 crude lipid	11.00	32.74
粗灰分 crude ash	8.51	9.69
淀粉 starch content	12.6	-

1.2 饲养管理

实验用大口黑鲈购自重庆市长寿区鱼种场, 用配合饲料饲喂实验鱼10 d以适应实验环境。实验前禁食24 h后, 随机挑选出体格健壮、规格一致的大口黑鲈 $[(12.45\pm 0.07)\text{ g}]$ 分为2组, 每组设3个重复, 每个重复30尾。每天表观饱食投饲配合饲料和冰鲜鲢3次(8:30、12:30和18:00), 持续摄食约30 min, 随后清除残饵和粪便, 养殖水源为曝气自来水, 在室内淡水循环养殖系统(有效容积200 L)饲养84 d。实验期间, 水温为 $26\sim 29\text{ }^{\circ}\text{C}$, 溶解氧 $7\sim 8\text{ mg/L}$, 氨氮 $<0.48\text{ mg/L}$, 亚硝酸盐氮 $<0.07\text{ mg/L}$, pH为 $7.2\sim 7.6$ 。

1.3 样品采集与化学分析

饲养实验结束后, 禁食24 h后称重, 每个重复随机取3尾鱼作为全鱼样品, 用于体组成的测定; 每个重复随机取6尾鱼, 用0.01%Ms-222麻醉, 测体长、体高, 分离出内脏、肝胰脏, 用于形体指标的测定; 每个重复随机取5尾鱼于尾静脉取血, 加入抗凝剂的血液于 $4\ 000\text{ r/min}$ 、 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下离心10 min, 收集血浆, $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存

备用。每个重复取3条鱼的肠将其分为3段(前肠、中肠和后肠)和肝脏保存于PBS缓冲液中, 液氮速冻后 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存备用。

参照吴仁协等^[10]的方法剪取实验鱼的肝脏和肠部并匀浆。样品中加入2.5 mL冰冷双蒸水, 用电动匀浆器在冰水浴中 $1\ 000\text{ r/min}$ 匀浆5 min, 匀浆液在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, $1\ 000\text{ r/min}$, 离心30 min, 取上清液, $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存备用。

饲料和鱼体常规营养测定均采用国标法。其中粗蛋白含量检测采用蛋白质测定仪检测(Leco FB-528); 粗脂肪含量检测采用索氏抽提法; 水分含量检测采用在 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重法; 灰分检测采用马弗炉 $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 灼烧失重法测定。

蛋白酶和淀粉酶活性采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒进行测定。蛋白酶定义为在 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下, 每毫升酶液每分钟水解酪蛋白生成 $1\text{ }\mu\text{g}$ 酪氨酸为一个酶活力单位。淀粉酶定义为在 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下, 每毫升酶液30 min内完全水解10 mg淀粉为一个淀粉酶活力。

血浆中谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)和碱性磷酸酶(ALP)活性以及总蛋白(TP)、尿素(UREA)、总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)和葡萄糖(GLU)含量采用全自动生化分析仪(日立7100)测定。血浆超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性以及丙二醛(MDA)含量的测定采用上海优选生物科技有限责任公司生产的试剂盒进行测定。血浆胰岛素委托第三军医大学直接采用放射免疫法测定(放射免疫技术仪: 磁酶联免疫测定仪, 北京倍爱康生物技术有限责任公司), 试剂盒由北京北方生物技术所生产。肝糖原、肌糖原采用蒽酮法测定, 试剂盒由南京建成生物工程研究所生产。

1.4 计算公式

$$\text{增重率}(\text{weight growth rate, WGR, \%}) = (W_t - W_0) / W_0 \times 100;$$

$$\text{特定生长率}(\text{specific growth rate, SGR, \% / d}) = (\ln W_t - \ln W_0) / t \times 100;$$

$$\text{蛋白质效率}(\text{protein efficiency rate, PER, \%}) = (W_t - W_0) / (W_f \times W_p) \times 100;$$

$$\text{饲料系数}(\text{feed conversion rate, FCR}) = W_f / (W_t - W_0);$$

$$\text{成活率}(\text{survival rate, SR, \%}) = N_t / N_0 \times 100;$$

$$\text{肥满度}(\text{condition factor, CF, g/cm}^3) =$$

$W_t/L^3 \times 100$;

脏体比(viscerosomatic index, VSI, %) = $W_v/W \times 100$;

肝体比(hepatosomatic index, HSI, %) = $W_h/W \times 100$ 。

式中, t 为饲养天数(d); N_0 为初始尾数(尾); N_t 为终末尾数(尾); W_p 为饲料的粗蛋白质含量(%); W_t 为总摄食饲料的干重(g); W_l 为终末均重(g); W_o 为初始均重(g); W_v 内脏重(g); W_h 肝脏重(g); W 为体质量(g); L 为体长(cm)。

1.5 数据处理与分析

用SPSS 23.0软件对所得数据进行单因素方差分析(One-Way ANOVA), 若差异显著($P < 0.05$), 再进行Tukey氏多重比较。除成活率外, 数据均以平均值±标准误(mean±SE)表示。

2 结果

2.1 配合饲料和冰鲜鲢对大口黑鲈生长性能的影响

配合饲料和冰鲜鲢会显著影响大口黑鲈的生长性能(表2)。配合饲料组大口黑鲈的FBW、WGR、SGR和FCR显著低于冰鲜鲢组($P < 0.05$), 而PER、HSI、VSI以及肝糖原含量显著高于冰鲜鲢组($P < 0.05$)(表2, 表3)。各实验组大口黑鲈肥满度以及全鱼水分、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分和肌糖原含量均无显著差异($P > 0.05$)。各实验组大口黑鲈成活率为100%。

表2 配合饲料和冰鲜鲢对大口黑鲈生长性能的影响

Tab. 2 Effects of formulated diet and fresh frozen *H. molitrix* on the growth performance of *M. salmoides*

项目 items	配合饲料 formulated diet	冰鲜鲢 fresh frozen <i>H. molitrix</i>
初始重/g	12.45±0.07	12.56±0.14
IBW		
终末重/g	53.50±4.24 ^a	76.68±7.17 ^b
FBW		
增重率/%	329.72±0.37 ^a	510.51±0.61 ^b
WGR		
特定生长率/(%/d)	1.60±0.99 ^a	1.99±0.11 ^b
SGR		
蛋白质效率/%	1.44±0.26 ^b	0.67±0.08 ^a
PER		
饲料系数	1.20±0.06 ^a	3.60±0.35 ^b
FCR		
成活率/%	100	100
SR		

注: 同行中上标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$), 下同
Notes: values in the same column with different superscripted small letters mean significant difference ($P < 0.05$), the same below

表3 配合饲料和冰鲜鲢对大口黑鲈形态指标和营养组成的影响

Tab. 3 Effects of formulated diet and fresh frozen *H. molitrix* on morphological measurements and nutrition composition of *M. salmoides*

项目 items	配合饲料 formulated diet	冰鲜鲢 fresh frozen <i>H. molitrix</i>
形态指标 morphological measurements		
肥满度/(g/cm ³)	1.77±0.13	2.24±0.20
CF		
脏体比/%	8.60±0.11 ^a	6.67±0.51 ^b
VSI		
肝体比/%	2.67±0.17 ^a	1.08±0.07 ^b
HSI		
营养组成 nutrition composition		
水分/%	72.00±0.01	68.00±0.04
moisture		
粗蛋白质/%	18.01±0.28	17.93±4.77
crude protein		
粗脂肪/%	6.78±0.21	6.37±0.04
crude lipid		
粗灰分/%	3.44±0.05	3.51±0.01
crude ash		
肝糖原/(mg/g)	74.33±8.97 ^b	42.77±0.95 ^a
liver glycogen		
肌糖原/(mg/g)	1.02±0.06	0.91±0.08
muscle glycogen		

2.2 配合饲料和冰鲜鲢对大口黑鲈消化酶活性的影响

配合饲料组大口黑鲈肝脏蛋白酶活性显著低于冰鲜鲢组($P < 0.05$), 而肠淀粉酶活性无显著差异(表4)。

表4 配合饲料和冰鲜鲢对大口黑鲈消化酶活性的影响

Tab. 4 Effects of formulated diet and fresh frozen *H. molitrix* on enzyme activities of *M. salmoides*

项目 items	配合饲料 formulated diet	冰鲜鲢 fresh frozen <i>H. molitrix</i>
肝脏蛋白酶/(U/mg protein)	0.53±0.30 ^a	0.72±0.07 ^b
liver protease		
肠淀粉酶/(U/mg protein)	0.76±0.21	0.79±0.02
intestinal amylase		

2.3 配合饲料和冰鲜鲢对大口黑鲈血浆生化指标的影响

配合饲料和冰鲜鲢会显著影响大口黑鲈的血浆生化指标(表5)。配合饲料组大口黑鲈血浆的AST活性、血糖含量以及Ca/P比值显著高于冰鲜鲢组($P < 0.05$), 而其血浆ALP活性以及TP、TG、尿素、钙和磷含量显著低于冰鲜鲢组($P < 0.05$)。各实验组血浆ALT活性以及胆固醇和胰岛

表5 配合饲料和冰鲜鲢对大口黑鲈
血浆生化指标的影响

Tab. 5 Effects of formulated diet and fresh frozen *H. molitrix* on plasma biochemical index of *M. salmoides*

项目 items	配合饲料 formulated diet	冰鲜鲢 fresh frozen <i>H. molitrix</i>
谷丙转氨酶/(U/L) ALT	5.97±1.51	5.05±1.20
谷草转氨酶/(U/L) AST	53.05±3.89 ^b	32.60±2.20 ^a
碱性磷酸酶/(U/L) ALP	69.23±1.52 ^a	109.42±11.35 ^b
总蛋白/(g/L) TP	38.40±1.80 ^a	50.05±2.50 ^b
甘油三脂/(mmol/L) TG	8.20±0.66 ^a	17.35±1.29 ^b
总胆固醇/(mmol/L) TC	15.06±0.77	14.50±1.02
血糖/(mmol/L) plasma glucose	4.71±0.63 ^b	3.30±0.28 ^a
胰岛素/(mmol/L) plasma insulin	26.65±2.78	22.22±1.40
尿素/(mmol/L) UREA	1.23±0.12 ^a	2.58±0.64 ^b
Ca/(mmol/L)	3.03±0.26 ^a	3.47±0.02 ^b
P/(mmol/L)	3.18±0.24 ^a	4.42±0.16 ^b
Ca/P	0.95±0.02 ^b	0.79±0.03 ^a

素含量均无显著差异($P>0.05$)。

2.4 配合饲料和冰鲜鲢对大口黑鲈血浆抗氧化能力的影响

配合饲料组, 大口黑鲈血浆SOD和GSH-Px活性显著低于冰鲜鲢组($P<0.05$)。而配合饲料组血浆MDA含量显著高于冰鲜鲢组($P<0.05$)。各实验组血浆CAT活性以及GSH-Px/SOD和CAT/SOD比值均无显著差异($P>0.05$)(表6)。

表6 配合饲料和冰鲜鲢对大口黑鲈血浆
抗氧化指标的影响

Tab. 6 Effects of formulated diet and fresh frozen *H. molitrix* on plasma antioxidant index of *M. salmoides*

项目 items	配合饲料 formulated diet	冰鲜鲢 fresh frozen <i>H. molitrix</i>
超氧化物歧化酶/ (U/mg prot) SOD	362.95±13.80 ^a	432.95±8.27 ^b
过氧化氢酶/ (U/mg prot) CAT	108.85±7.99	123.20±8.91
谷胱甘肽过氧化物酶/ (nmol/L) GSH-Px	530.45±63.71 ^a	609.05±53.67 ^b
GSH-Px/SOD	1.46±0.30	1.40±0.15
CAT/SOD	0.28±0.01	0.29±0.02
丙二醛/(nmol/L) MDA	31.25±2.05 ^b	28.20±0.14 ^a

2.5 配合饲料和冰鲜鲢对大口黑鲈肝脏和肠道组织学的影响

冰鲜鲢组大口黑鲈肝细胞排列整齐, 细胞界限较为明显, 细胞核清晰可见。而配合饲料组肝细胞形态轮廓模糊, 肝细胞空泡化较为严重, 脂肪堆积加重, 肝细胞核逐渐溶解或缺失(图1)。

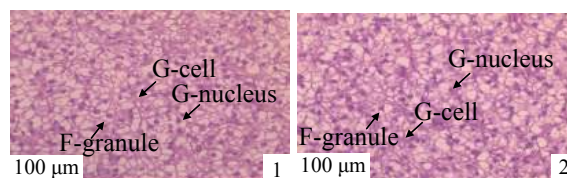


图1 配合饲料和冰鲜鲢对
大口黑鲈肝组织的影响(H. E 400×)

G-cell: 肝细胞; G-nucleus: 肝细胞核; F-granule: 肝细胞中堆积的脂肪粒; 1: 冰鲜鲢组; 2: 配合饲料组

Fig. 1 Effects of formulated diet and fresh frozen *H. molitrix* on liver histology of *M. salmoides* (H. E 400×)

G-cell: hepatocytes; G-nucleus: hepatic nuclear; F-granule: fat granule; 1: fresh frozen *H. molitrix*; 2: formulated diet

配合饲料组大口黑鲈的前肠绒毛稀疏、较短, 而冰鲜鲢组前肠绒毛纤长紧密、排列整齐。配合饲料组中肠绒毛稀疏、较短、空泡化严重, 杯状细胞数量明显减少且排列不整齐, 而冰鲜鲢组中肠绒毛高度和宽度较配合饲料组有所增加, 肠绒毛空泡现象明显较少(图2)。

3 讨论

3.1 配合饲料和冰鲜鲢对大口黑鲈生长性能的影响

本研究结果显示, 摄食冰鲜鲢的大口黑鲈WGR和SGR显著高于配合饲料组, 且终末重提高了43%, 说明配合饲料不利于改善大口黑鲈的生长。这与在珍珠龙胆石斑鱼^[8]和大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)^[11]上的研究结果一致。这些结果显示, 肉食性养殖鱼类对冰鲜杂鱼的利用效果优于配合饲料, 说明配合饲料的营养特性还不能适应肉食性鱼类的快速生长。但是冰鲜鲢组大口黑鲈的PER显著低于配合饲料组, 表明饲喂冰鲜鲢会造成饲料蛋白质资源的浪费。本实验还发现, 大口黑鲈摄食配合饲料, 肝脏组织结构受到明显破坏, 致使肝脏消化酶的分泌能力

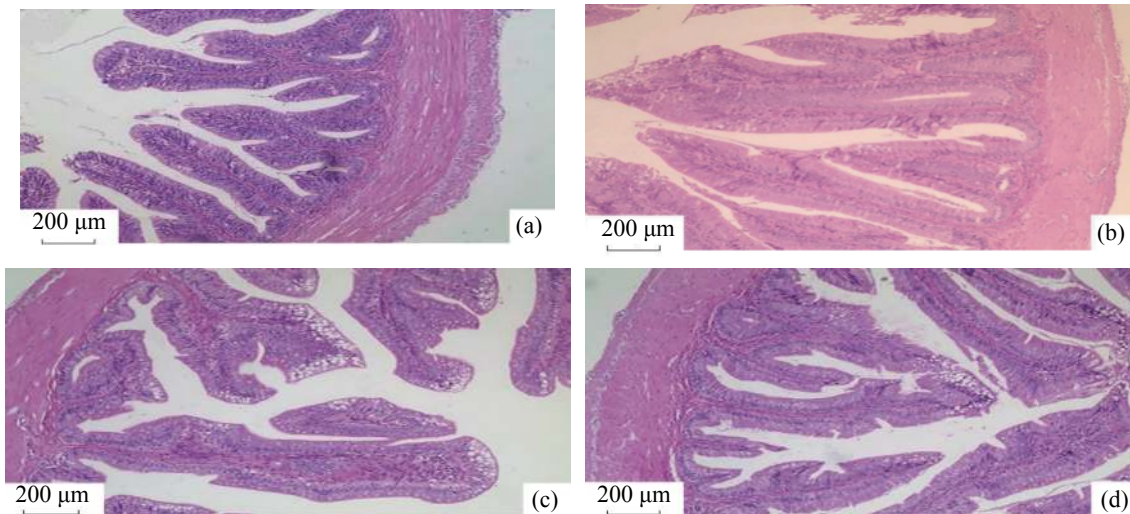


图2 配合饲料和冰鲜鲢对大口黑鲈前肠和中肠组织结构的影响(H. E, 100×)

(a) 配合饲料组前肠; (b) 冰鲜鲢组前肠; (c) 配合饲料组中肠; (d) 冰鲜鲢组中肠

Fig. 2 Effects of formulated diet and fresh frozen *H. molitrix* on foregut and midgut in *M. salmoides* under a light microscope (H. E, 100×)

(a) formulated diet of foregut; (b) fresh frozen *H. molitrix* of foregut; (c) formulated diet of midgut; (d) fresh frozen *H. molitrix* of midgut

降低, 肝脏蛋白酶活性显著降低, 从而导致大口黑鲈的生长受到抑制。此外, 大口黑鲈摄食配合饲料后, 肠道绒毛和杯状细胞数量减少, 进一步证实了配合饲料会影响大口黑鲈对营养物质的吸收能力。这些研究表明, 配合饲料抑制大口黑鲈生长的原因可能是消化吸收功能降低所致。因此, 应结合冰鲜杂鱼营养成分特点及其对大口黑鲈生长的良好效果, 调整和优化大口黑鲈的饲料配制技术, 保障其健康养殖。今后的研究, 我们应该关注大口黑鲈肝脏和肠道的健康。

研究表明, 动物对饲料组成会产生生理适应性反应, 饲料中淀粉含量会诱导养殖动物淀粉酶活性的变化。本实验大口黑鲈摄食配合饲料后肠道淀粉酶活性却无显著变化, 尽管配合饲料的淀粉含量高于冰鲜鲢, 而肝糖原含量和HSI显著升高。这与之前在大口黑鲈上的研究结果一致^[12], 随着饲料碳水化合物水平降低, 大口黑鲈HSI呈下降趋势, 说明大口黑鲈耐受糖的能力较差。已有研究也证实, 虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[13]和斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)^[14]摄食高糖饲料后, 会使脂肪在肝脏沉积、HSI增大进而对肝脏造成损伤。这表明肉食性鱼类对碳水化合物的利用率很低, 长期摄食高碳水化合物水平饲料会导致鱼肝脏体积增大。但大口黑

鲈摄食高碳水化合物饲料后, 肝脏脂肪含量是否会升高, 有待深入研究。

3.2 配合饲料和冰鲜鲢对大口黑鲈代谢和血浆生化指标的影响

鱼类血液生理生化指标与饲料营养水平密切相关, 因此, 血液生理生化指标的变化可以反映机体的代谢、营养和生理状况。正常状态下, 机体血液中ALT和AST活性较低, 只有当组织细胞发生破坏和损害时, 才会引起血液内转氨酶活性增强。本研究发现, 大口黑鲈投喂商品配合饲料后血浆中AST中活性升高, 说明投喂配合饲料对大口黑鲈的肝脏产生了一定的损伤, 这反映了大口黑鲈对配合饲料的生理适应能力较差。此外, 肝脏受损后, 进一步影响了TG转运, 导致配合饲料组大口黑鲈血浆中TG降低, 相似结果在草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)^[15]、吉富罗非鱼(GIFT *Oreochromis niloticus*)^[16]和大菱鲆^[17]上均有报道。当鱼类肝脏出现损伤后, LDL-C活性变低, 数量也因此减少, 影响了碳水化合物的代谢和酯化, 进而导致大口黑鲈长期摄食配合饲料后肝糖原含量增加。胰岛素是调节和维持血糖平衡最为重要的调节因子, 目前有关胰岛素的分泌与饲料中糖含量关系的报道结果不一致^[18-20]。本实验发现, 碳水化合物水平对大口黑鲈血浆胰岛素含量无显著影响, 表明鱼类

胰岛素的分泌与饲料碳水化合物水平无关, 对血液葡萄糖含量的调节主要依赖肝糖原途径。与在军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[21]上的研究结果一致。有关大口黑鲈糖代谢的研究值得深入探讨。

ALP是一种多功能酶, 在机体内直接参与磷酸基团的转移和代谢, 其活性高低是衡量磷代谢强度的指标, ALP也是溶酶体酶的重要组成部分, 在鱼体的免疫中发挥着重要作用^[22]。有研究表明, 鱼体内磷缺乏会导致ALP活性降低^[23]。本实验发现, 大口黑鲈投喂冰鲜鲢后血浆中磷含量增加, 进而导致血浆ALP活性升高, 说明投喂冰鲜鲢可以提高大口黑鲈机体的免疫能力, 这可能是ALP活性升高的原因。血浆磷含量增加, 使鱼体物质代谢过程中的磷酸化作用加强, 葡萄糖异生作用减弱, 这也是大口黑鲈摄食冰鲜鲢后生长速度快于配合饲料的原因。但大口黑鲈摄食配合饲料和冰鲜鲢后, 血浆钙、磷含量出现较大差异, 而Ca/P比值保持稳定, 这是本研究的一个意外发现, 其中原因值得深入探究。

3.3 配合饲料和冰鲜鲢对大口黑鲈抗氧化能力的影响

动物在病理或应激状态下可产生大量自由基, 与不饱和脂肪酸发生脂质过氧化反应, 形成脂质过氧化产物如丙二醛(malondialdehyde, MDA), 从而对鱼体产生毒害作用^[24-25]。本研究中大口黑鲈摄食配合饲料显著提高了肝脏MDA含量, 表明肝脏发生了脂质过氧化反应。这与胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)^[26]和尼罗罗非鱼(*O. niloticus*)^[27]上的研究结果一致。动物体内过氧化物含量增加, 继而会影响肝功能。此外, 实验中大口黑鲈摄食配合饲料后, 血浆SOD和GSH-Px活性显著降低, 这表明配合饲料引起鱼体MDA含量增加的同时, 鱼体内抗氧化防御系统也受到危害, 进而导致机体清除自由基的能力减弱。血浆AST活性升高, 更进一步证实了配合饲料对大口黑鲈肝脏造成明显的伤害。

综上所述, 投喂冰鲜鲢可提高大口黑鲈的生长性能, 但其饲料效率却远低于配合饲料。而配合饲料通过影响大口黑鲈的消化道健康、机体糖脂代谢和抗氧化能力, 进而抑制机体的生长。因此, 可以借鉴冰鲜鲢的营养组成和大口黑鲈的代谢特性, 深入研发大口黑鲈的饲料配制技术, 促进其产业健康发展。

参考文献:

- [1] Portz L, Cyrino J E P, Martino R C. Growth and body composition of juvenile largemouth bass *Micropterus salmoides* in response to dietary protein and energy levels[J]. Aquaculture Nutrition, 2001, 7(4): 247-254.
- [2] Bright L A, Coyle S D, Tidwell J H. Effect of dietary lipid level and protein energy ratio on growth and body composition of largemouth bass *Micropterus salmoides*[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2005, 36(1): 129-134.
- [3] 钱国英. 饵料中不同蛋白质、纤维素、脂肪水平对大口黑鲈生长的影响[J]. 上海水产大学学报, 1998, 7(增1): 193-199.
Qian G Y. Effects of different protein, fibre and fat levels in diets on the growth of large-mouth bass, *Micropterus salmoides*[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 1998, 7(suppl.1): 193-199(in Chinese).
- [4] Zhou H, Chen N, Qiu X, et al. Arginine requirement and effect of arginine intake on immunity in largemouth bass, *Micropterus salmoides*[J]. Aquaculture Nutrition, 2012, 18(1): 107-116.
- [5] 陈乃松, 马建忠, 周恒永, 等. 大口黑鲈对饲料中蛋氨酸需求量的评定[J]. 水产学报, 2010, 34(8): 1244-1253.
Chen N S, Ma J Z, Zhou H Y, et al. Assessment of dietary methionine requirement in largemouth bass, *Micropterus salmoides*[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(8): 1244-1253(in Chinese).
- [6] Li X F, Liu W B, Jiang Y Y, et al. Effects of dietary protein and lipid levels in practical diets on growth performance and body composition of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fingerlings[J]. Aquaculture, 2010, 303(1-4): 65-70.
- [7] Amoah A, Coyle S D, Webster C D, et al. Effects of graded levels of carbohydrate on growth and survival of largemouth bass, *Micropterus salmoides*[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2008, 39(3): 397-405.
- [8] 丛林梅, 王蔚芳, 高淳仁, 等. 配合饲料和冰鲜太平洋玉筋鱼对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长、抗氧化和脂质代谢的影响[J]. 水产学报, 2016, 40(9): 1398-1407.
Cong L M, Wang W F, Gao C R, et al. Effects of compound diet and fresh frozen *Ammodytes personatus* on growth, antioxidant ability and lipid metabolism of hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂) juveniles[J]. Journal of Fisheries of

- China, 2016, 40(9): 1398-1407(in Chinese).
- [9] 陈乃松, 肖温温, 梁勤朗, 等. 饲料中脂肪与蛋白质比
对大口黑鲈生长、体组成和非特异性免疫的影响[J].
水产学报, 2012, 36(8): 1270-1280.
Chen N S, Xiao W W, Liang Q L, *et al.* Effects of diet-
ary lipid to protein ratios on growth performance, body
composition and non-specific immunity of largemouth
bass (*Micropterus salmoides*)[J]. Journal of Fisheries of
China, 2012, 36(8): 1270-1280(in Chinese).
- [10] 吴仁协, 洪万树, 张其永, 等. 大弹涂鱼仔稚鱼和早期
幼鱼的消化酶活性[J]. 水产学报, 2006, 30(6): 733-739.
Wu R X, Hong W S, Zhang Q Y, *et al.* Digestive en-
zyme activities in larval, juvenile and early young fish of
Boleophthalmus pectinirostris[J]. Journal of Fisheries of
China, 2006, 30(6): 733-739(in Chinese).
- [11] 牛化欣, 雷霖霖, 常杰, 等. 冰鲜野杂鱼和商品饲料对
大菱鲆生长、脂质代谢及抗氧化功能的影响[J]. 动物
营养学报, 2013, 25(11): 2696-2704.
Niu H X, Lei J L, Chang J, *et al.* Effects of fresh frozen
trash fish and commercial feeds on growth, lipid meta-
bolism and antioxidant function of turbot (*Scophthalmus
maximus* L.)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition,
2013, 25(11): 2696-2704(in Chinese).
- [12] 谭肖英, 刘永坚, 田丽霞, 等. 饲料中碳水化合物水平
对大口黑鲈*Micropterus salmoides*生长、鱼体营养成
分组成的影响[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2005,
44(增1): 258-263.
Tan X Y, Liu Y J, Tian L X, *et al.* The effects of dietary
carbohydrate levels on the growth, nutrient composition
of juvenile largemouth bass *Micropterus salmoides*[J].
Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni,
2005, 44(suppl.1): 258-263(in Chinese).
- [13] Brauge C, Medale F, Corraze G. Effect of dietary carbo-
hydrate levels on growth, body composition and
glycaemia in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*,
reared in seawater[J]. Aquaculture, 1994, 123(1-2): 109-
120.
- [14] 朱仙龙, 吴小易, 李伟峰, 等. 不同蛋白与脂肪日投喂
水平对斜带石斑鱼生长的影响[J]. 热带生物学报,
2015, 6(1): 1-10.
Zhu X L, Wu X Y, Li W F, *et al.* Effects of dietary pro-
tein and lipid levels on the growth of orange-spotted
grouper (*Epinephelus coioides*)[J]. Journal of Tropical
Biology, 2015, 6(1): 1-10(in Chinese).
- [15] 郭小泽, 梁旭方, 方刘, 等. 饲料中非蛋白能量源对草
鱼血清生化指标和肝脏组织的影响[J]. 水生生物学报,
2014, 38(3): 582-587.
Guo X Z, Liang X F, Fang L, *et al.* Effects of non-pro-
tein energy sources on serum biochemical indices and
histology of liver in grass carp (*Ctenopharyngodon
idella*)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2014, 38(3): 582-
587(in Chinese).
- [16] 白富瑾, 罗莉, 黄先智, 等. 蚕蛹油等7种油脂对吉富罗
非鱼生长、体组成及脂质代谢影响的比较[J]. 水产学
报, 2017, 41(2): 258-270.
Bai F J, Luo L, Huang X Z, *et al.* Comparative study on
effects of silkworm pupal oil and other six kinds of lipid
on growth, body composition and lipid metabolism of
GIFT *Oreochromis niloticus*[J]. Journal of Fisheries of
China, 2017, 41(2): 258-270(in Chinese).
- [17] 王晓艳, 王际英, 马晶晶, 等. VE和L-肌肽对大菱鲆幼
鱼生长、抗氧化、非特异性免疫及血清生化指标的
影响[J]. 水生生物学报, 2017, 41(1): 86-94.
Wang X Y, Wang J Y, Ma J J, *et al.* Effects of dietary
vitamin e and l-carnosine on growth performance, anti-
oxidant status, non-specific immunity and serum bio-
chemical indices in juvenile turbot (*Scophthalmus max-
imus*)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2017, 41(1): 86-
94(in Chinese).
- [18] 田娟, 涂玮, 曾令兵, 等. 饥饿和再投喂期间尼罗罗非
鱼生长、血清生化指标和肝胰脏生长激素、类胰岛
素生长因子- I 和胰岛素mRNA表达丰度的变化[J]. 水
产学报, 2012, 36(6): 900-907.
Tian J, Tu W, Zeng L B, *et al.* The changes in growth,
serum biochemical indices and GH/IGF- I /IN mRNA
expression abundance of *Oreochromis niloticus* during
fasting and re-feeding[J]. Journal of Fisheries of China,
2012, 36(6): 900-907(in Chinese).
- [19] 钱云霞, 陈惠群, 孙江飞. 饥饿对养殖鲈鱼血液生理生
化指标的影响[J]. 中国水产科学, 2002, 9(2): 133-137.
Qian Y X, Chen H Q, Sun J F. Effects of starvation on
hematological and blood biochemical indices in cultured
Lateolabrax japonicus[J]. Journal of Fishery Sciences of
China, 2002, 9(2): 133-137(in Chinese).
- [20] 刘波, 何庆国, 唐永凯, 等. 饥饿胁迫对吉富罗非鱼生
长及生理生化指标的影响[J]. 中国水产科学, 2009,
16(2): 230-237.
Liu B, He Q G, Tang Y K, *et al.* Effects of starvation on

- growth, physiological and biochemical parameter of GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(2): 230-237(in Chinese).
- [21] 刘迎隆, 麦康森, 徐玮, 等. 摄食不同淀粉含量饲料对军曹鱼血清生化指标的影响[J]. 水生生物学报, 2015, 39(1): 46-51.
- Liu Y L, Mai K S, Xu W, *et al.* Effects of dietary starch on biochemical indexes of the serum of cobia (*Rachycentron canadum*)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2015, 39(1): 46-51(in Chinese).
- [22] Donachy J E, Watabe N, Showman R M. Alkaline phosphatase and carbonic anhydrase activity associated with arm regeneration in the seastar *Asterias forbesi*[J]. Marine Biology, 1990, 105(3): 471-476.
- [23] Eya J C, Lovell R T. Effects of Dietary Phosphorus on Resistance of *Channel Catfish* to *Edwardsiella ictaluri* Challenge[J]. Journal of Aquatic Animal Health, 1998, 10(1): 28-34.
- [24] Banerjee B D, Seth V, Bhattacharya A, *et al.* Biochemical effects of some pesticides on lipid peroxidation and free radical scavengers[J]. Toxicology Letters, 1999, 107(1-3): 33-47.
- [25] Lushchak V I. Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals[J]. Aquatic Toxicology, 2011, 101(1): 13-30.
- [26] 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.
- Wang C M, Luo L, Zhang G Z, *et al.* Effect of dietary lipid level on growth performance, body composition and antioxidant capacity of juvenile Chinese sucker (*Myxocyprinus asiaticus*)[J]. Freshwater Fisheries, 2010, 40(5): 47-53(in Chinese).
- [27] Li F J, Lin X, Lin S M, *et al.* Effects of dietary fish oil substitution with linseed oil on growth, muscle fatty acid and metabolism of tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Aquaculture Nutrition, 2016, 22(3): 499-508.

Effects of formulated diet and fresh frozen *Hypophthalmichthys molitrix* on growth, plasma biochemical index and antioxidant ability and histology of *Micropterus salmoides*

MOU Mingming¹, JIANG Yu¹, LUO Qiang², CHENG Yongjun¹, LUO Li¹, LING Shimei^{1*}

(1. Key Laboratory of Freshwater Resources and Reproductive Development, Ministry of Education, College of Animal Science and Technology, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. Agricultural Commission of Bishan District of Chongqing, Chongqing 402670, China)

Abstract: To study the effects of different origins of feed on growth, plasma biochemical indexes, antioxidant capacity, liver and intestinal histology of *Micropterus salmoides*, 180 largemouth basses [initial average weight (12.45±0.07) g] were randomly divided into 2 groups with three replicates at a stock density of 30, and commercial compound diet and fresh frozen *Hypophthalmichthys molitrix* were allocated to each of two groups of fish for a feeding period of 84 days. Results suggest that group with commercial compound diet behaves significantly lower than the other group on weight gain rate(WGR), specific growth rate (SGR) and feed conversion ratio (FCR), with the same conclusion on the liver protease activities. And the former performs higher than the latter on protein efficiency ratio (PER), hepatosomatic index (HSI) and viscerosomatic index (VSI) than the other group, similar to the hepatic glycogen contents. But significant difference disappeared in muscle glycogen and intestinal amylase activities between 2 groups. The AST activities, glucose (GLU) and MDA contents and Ca/P ratio of largemouth basses fed with commercial compound diet are significantly higher than those fed with fresh frozen trash fish group, but the activities of ALP, SOD, GSH-Px and the contents of TP, TG, UREA, Ca, P in plasma are significantly lower than fresh frozen trash fish group. No significant difference was observed in ALT, TC and insulin contents of plasma among all groups. The histological study showed that ultrastructure of the liver and the intestine in the commercial compound diet treatment were abnormal. Serious vacuolization in liver, the severe mechanical damage of intestinal villi were found in commercial compound diet group. The study, under given conditions, indicates that fresh frozen *H. molitrix* is more appropriate to feed *M. salmoides* compared with commercial compound diet. The latter not only affected the growth of largemouth bass but also did harm to the liver and intestine of largemouth bass. Therefore, feed formulation technology for largemouth bass could be further developed, referring to nutritional composition of fresh frozen *H. molitrix* and the metabolic properties.

Key words: *Micropterus salmoides*; feed; frozen fish; biochemical indexes; liver; intestine

Corresponding author: LIN Shimei. E-mail: linsm198@163.com

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (31672659); Chongqing Ecological Fishing Industry Technical System [Yu Fu FA (2017)23]