

文章编号: 1000- 0615(2002)06- 0542- 09

三种脂肪源和两种降脂因子对鲈生长、 体营养成分组成和血清生化指标的影响

杜震宇¹, 刘永坚¹, 郑文晖², 田丽霞¹, 梁桂英¹

(1. 中山大学水生经济动物研究所, 广东 广州 510275;

2. 中山大学分子医学检验中心, 广东 广州 510089)

摘要: 在人工配合饲料中加入 3 种脂肪源(鱼油、鱼油+ 玉米油 1. 34: 1、鱼油+ 豆油 1. 34: 1) 和两种降脂因子(胆碱 $10\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、肉碱 $350\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 饲喂鲈, 并用冰鲜杂鱼饵料作为配合饲料的对照。经过 8 周的饲养, 对鲈的生长情况、体营养成分组成和血清生化指标进行测定和分析。结果表明, 鲈对脂肪肝的耐受性较差, 长期大量投喂冰鲜杂鱼易诱发病变, 肝脏对病变的敏感性高于肌肉; 在满足必需脂肪酸需要量的情况下, 不同脂肪源对鲈生长差异影响不大, 但对体脂沉积有一定影响; 胆碱和肉碱具有一定的降体脂作用。

关键词: 鲈; 配合饲料; 鲜杂鱼; 脂肪源; 脂肪肝; 脂肪酸组成

中图分类号: S963 文献标识码: A

The effects of three oil sources and two anti-fat liver factors on the growth, nutrient composition and serum biochemistry indexes of *Lateolabrax japonicus*

DU Zhen-yu¹, LIU Yong-jian¹, ZHEN Wen-hui², TIAN Li-xia¹, LIANG Gui-ying¹

(1. Institute of Economic Aquatic Animals, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China;

2. Center of Molecular Inspection of Medicine, Zhongshan University, Guangzhou 510089, China)

Abstract: Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) were fed by six diets for 8 weeks to study the effects of different diets on the growth, nutrient composition, fatty acids composition and serum biochemistry indexes of fishes. Five formulated diets all contained about 9. 79% lipid content with different lipid sources: fish oil, mixture of fish oil and corn oil (1. 34: 1), mixture of fish oil and soybean oil (1. 34: 1), the rest two formulated diets contained fish oil and more choline ($100\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) and carnitine ($350\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) added respectively. "Iced trash fish" (*Saurida tumbil*) were used as control diet. The results showed the tolerance to fat liver of Japanese sea bass was weak and the detrimental effects would be seen if fishes were fed by a large quantity of "iced trash fish" for long time. Different lipid sources made no significant difference on the growth of Japanese sea bass when its EFA requirements were met, but they could take some effects on the lipid deposit in fishes. Choline and carnitine had some effects to reduce the lipid of the fish.

Key words: *Lateolabrax japonicus*; formulated diet; iced trash fish; oil source; fat liver; fatty acid composition

海水鱼养殖已成为水产行业的热点,但是目前海水鱼养殖还存在着不少问题,其中一个突出的问题是缺乏营养全面合理的配合饲料。目前在生产中主要以冰鲜杂鱼作为饲养海水鱼的饵料,不仅造成了资源的浪费和环境的污染,带来病害的流行,也往往造成养殖鱼类出现营养性疾病。因此,探求海水养殖鱼类的营养需求,研制高效实用安全的配合饲料的任务非常紧迫。

鲈(*Lateolabrax japonicus*),俗称花鲈,由于其生长快,对盐度和温度的适应范围较宽,肉质鲜美,已成为我国沿海地区的一种重要养殖鱼类。在鲈的养殖过程中,同样出现了其它海水鱼类似的问题,尤其是投喂冰鲜易诱发鲈的脂肪肝病。然而,目前对鲈的营养学研究刚刚起步,已有的少数研究也只初步确定了鲈的最适蛋白质需要量和脂肪需要量等一些数据^[1-4],而对于鲈的脂肪源利用情况和一些重要的抗脂肪肝因子在配合饲料中的作用等尚无人研究。本研究通过在饲料中使用3种不同的脂肪源和添加胆碱、肉碱两种降脂因子,探讨其对鲈的影响。

1 材料和方法

1.1 试验饲料、试验鱼和饲养

按表1所示配方配制5组软颗粒饲料(粒径4.5mm),饲料分多次制作,用完即配,制成后的饲料保存于-20℃冰箱中。设一个冰鲜鱼饵料组作为与人工配合饲料的对照。采用市场常见的冰冻多齿蛇鲻(*Saurida tumbil*)去头去内脏后的躯干部作为冰鲜饵料。6组饲料脂肪酸组成见表2。

表1 试验饲料的组成
Tab.1 The composition of experiment diets (%)

饲料号 (diets)	1	2	3	4	5	6
鱼粉 (fish meal)	46.74	46.74	46.74	46.74	46.74	冰鲜鱼
次粉 (wheat middling)	20.48	20.48	20.48	20.48	20.48	(iced trash fish)
大豆粕 (soybean meal)	20	20	20	20	20	
鱼油 (fish oil)	4.67	2.67	2.67	4.67	4.67	
玉米油 (corn oil)	/	2.00	/	/	/	
大豆油 (soybean oil)	/	/	2.00	/	/	
啤酒酵母 (beer yeast)	4.11	4.11	4.11	4.11	4.1	
磷酸二氢钙 ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	1	1	1	1	1	
复合矿物盐 (mineral mixture)	1	1	1	1	1	
复合维生素 (vitamin mixture)	1	1	1	1	1	
V _C 磷酸酯 (ascorbic acid phosphate ester)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
V _E (tocopherol acetate)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
α -淀粉 (α -starch)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
胆碱 (choline chloride)	0.2	0.2	0.2	1.0	0.2	
肉碱 (L-carnitine)	/	/	/	/	0.035	
水分 (moisture)	28.61	29.22	28.74	29.04	29.07	78.34
蛋白(%干重) (protein, % dry wt)	47.62	47.17	47.36	48.10	48.57	82.28
脂肪(%干重) (lipid, % dry wt)	9.98	10.03	9.32	9.79	9.60	7.35
灰分(%干重) (ash, % dry wt)	12.80	12.87	13.00	12.81	12.75	9.64

注:①每100g复合无机盐中含有如下成分:磷酸二氢钙12.287g,乳酸钙47.424g,磷酸二氢钠4.203g,硫酸钾16.383g,硫酸亚铁1.078g,柠檬酸铁3.826g,硫酸镁4.419g,硫酸锰0.033g,硫酸铜0.022g,氯化钴0.043g,碘酸钾0.002g,氯化钠3.233g,氯化钾6.575g;②每1000g复合维生素中含有如下成分:V_{B1}5g, V_{B2}5g, V_{B6}4g, V_{B12}0.01g, V_K4g, V_E40g, V_A5g, V_D4.8g, 烟酸20g, 泛酸钙10g, 生物素0.6g, 叶酸1.5g, 肌醇200g, 纤维素622.99g

Notes:①To contain as unit/100g mineral mixture: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 12.287g, calcium lactate 47.424g, $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 4.203g, K_2SO_4 16.383, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1.078g, ferric citrate 3.826g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 4.419g, $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.033g, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.022g, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.043g, KIO_4 0.002g, NaCl 3.233g, KCl 6.575g;②To contain as unit/1000g vitamin mixture: thiamine 5g, riboflavin 5g, pyridoxine 4g, vitamin B₁₂ 0.01g, menadione 4g, tocopherol acetate 4g, vitamin A 5g, vitamin D₃ 4.8g, nicotinic acid 20g, *Ca-pantothenate* 10g, biotin 0.6g, folic acid 1.5g, inositol 200g, cellulose 622.99g

试验鱼来自珠海斗门鲈养殖场, 平均体重 $158.72 \pm 18.57\text{g}$ 。试验在中山大学鱼类营养研究室室外水泥池 ($3\text{m} \times 2\text{m} \times 1\text{m}$) 中进行。每组饲料设置 3 个平行池, 共 18 个试验池, 每个水泥池放鱼 16 尾, 水源为曝气去氯后的自来水, 每天增氧 12h, 水温 $24.93 \pm 1.23^\circ\text{C}$, 溶氧为 $7.99 \pm 0.58\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 氨氮为 $0.94 \pm 0.33\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, pH 为 7.75 ± 0.45 。

试验前将鲈在试验池中驯养 3d, 正式试验开始时, 称取每池鲈的初始体重。配合饲料日投喂率为鱼体重的 3.5%, 撒布投喂, 冰鲜鱼组投喂率为鱼体重的 7%, 将冰鱼解冻后剪成 2~3cm 长的小段抛喂。按日增重 2% 每 10 天调整一次投喂量。每天分上午 9:00 和下午 5:00 两次投喂。每周换水清污一次。试验期 8 周。

表 2 饲料脂肪酸组成
Tab. 2 The fatty acids composition of experiment diets (%)

饲料号 (diets)	1	2	3	4	5	6
ΣSFA	28.00	27.15	27.50	32.00	29.50	40.03
ΣMUFA	34.45	33.60	28.80	33.35	34.25	18.70
$\Sigma_{\text{n-6}} \text{PUFA}$	8.20	17.25	19.45	7.70	7.85	5.33
$\Sigma_{\text{n-3}} \text{PUFA}$	27.15	20.40	21.70	24.15	26.15	33.23
$\Sigma_{\text{n-3}} \text{HUFA}$	24.45	16.65	17.75	21.75	23.70	32.65
DHA/EPA	1.48	1.13	1.26	1.25	1.43	4.37
18:1n-7/18:2n-7 HUFA	0.80	1.39	1.06	0.86	0.82	0.33

1.2 样品采集和分析

试验结束时, 使鱼空腹 24h 后称重。然后从每个池中随机取鱼 4 尾, 击打头部致死。称取体重, 量得体重, 解剖取得肌肉和肝脏制样, 分离内脏脂团, 称得肝脏和内脏脂团重量; 心脏取血, 每 2 尾做一混样, 加肝素抗凝, $12000\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 10min, 收集上层血清样品。所有样品置于 -20°C 冰箱保存待测。

分别采用 105°C 常压干燥法、凯氏定氮法、索氏提取法及 550°C 灼烧法分别测定全鱼、肌肉和肝脏的水分、粗蛋白、脂肪和灰分。将血清解冻 $3000\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 10min 除去凝胶状物后在日立 7170 自动生化测定仪和 VITR ΦS 750 × RC 临床诊断仪上进行血清生化指标的分析。采用甲缩醛-氯仿 (4:1) 法提取肌肉和肝脏脂质, 甲醇钠酯化法制备脂肪酸甲酯混合物, 加入十七酸甲酯作为内标物, 用毛细管气相色谱分析脂肪酸组成。色谱条件为: 岛津 GG-9A 气相色谱仪; FFAP 毛细管色谱柱 ($30\text{m} \times 0.53\text{mm} \times 1.2\mu\text{m}$); 氢火焰离子检测器 (FID); 初始温度 160°C , 程序升温 $20^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 至 220°C , 保持 25min; 气化室温度 270°C ; 高纯氮 $20\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$, 补充气 $10\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

1.3 试验结果的统计分析

试验结果采用平均数 ± 标准差表示, 采用 Duncan 氏多重比较法分析平均数的差异显著性 ($P < 0.05$)。

2 结果

2.1 试验期鲈摄食情况观察

鲈贪吃, 抢食凶猛, 在投喂饲料时异常活跃, 本试验期间, 鲈对 5 种配合饲料摄食迅速, 往往在饲料未沉入水底之前已将饲料吃完, 在整个试验期都表现出对配合饲料的旺盛食欲。但是在投喂中也发现, 由于鲈在投喂饲料时争抢异常激烈, 水面扰动非常大, 因而导致投喂的软颗粒饲料中的一部分被鲈尾部击打或水流的冲击而溃散, 不能被鲈充分摄食。这影响了实验中计算鲈摄入的饲料量。投喂冰鲜鱼则不存在此类情况, 在试验前期和中期, 鲈对冰鲜鱼摄食正常, 但在试验后期, 3 个平行池的鲈在 4d 内先后表现出厌食情况, 每天只能进食相当于体重 1%~3% 的食物, 在试验结束时, 其中一个试验池的鲈甚

至出现拒食的现象。解剖发现, 投喂冰鲜鱼的鲈肝脏肿大, 色泽苍白或乳黄色, 表现出脂肪肝病变的症状^[5]。

2.2 6种饲料对于鲈增重率、特定生长率和蛋白质效率的影响

由表3可见, 在为期8周时间内, 各组鱼的体重与试验前相比均有较大幅度的增加, 其中冰鲜鱼组鲈的增重率、特定生长率和蛋白质效率都明显高于5个配合饲料组($P < 0.05$), 而5个配合饲料组之间则无明显差异($P > 0.05$)。

表3 6种饲料对鲈增重率、特定生长率和蛋白质效率的影响

Tab. 3 The effects of six diets on the weight gain(WG), significant growth rate(SGR) and protein efficiency ratio(PER)

饲料号(diets)	1	2	3	4	5	6
初重(g) initial wt	145.83 ± 7.22	152.36 ± 2.30	154.98 ± 2.16	147.93 ± 0.29	161.67 ± 20.79	189.57 ± 15.56
末重(g) final wt	285.26 ± 6.54	305.59 ± 14.09	294.92 ± 25.30	281.80 ± 22.75	309.85 ± 21.20	464.71 ± 54.22
增重率(%) (WG)	95.87 ± 8.83 ^a	100.51 ± 6.30 ^a	90.25 ± 4.04 ^a	90.41 ± 3.83 ^a	92.67 ± 11.86 ^a	144.94 ± 15.00 ^b
特定生长率(%) (SGR)	1.18 ± 0.08 ^a	1.22 ± 0.05 ^a	1.13 ± 0.04 ^a	1.13 ± 0.04 ^a	1.15 ± 0.11 ^a	1.57 ± 0.11 ^b
蛋白质效率(PER)	0.80 ± 0.04 ^a	0.84 ± 0.04 ^a	0.78 ± 0.03 ^a	0.78 ± 0.03 ^a	0.77 ± 0.11 ^a	1.48 ± 0.09 ^b

注: 每行数据后上标字母无重复者表示有显著性差异($P < 0.05$)。增重率、特定生长率和蛋白质的计算方法见参考文献[5]

Notes: within the same row, values with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$), and weight gain(WG), significant growth rate(SGR) and protein efficiency(PER) were introduced by reference[5]

2.3 6种饲料对鲈体形和内脏器官相对重量的影响

由表4可见, 各组鱼肥满度无显著差异($P > 0.05$), 体形相近, 但冰鲜鱼组具有比配合饲料组高的空壳率($P < 0.05$), 说明其具有较多的可食部分, 各配合饲料组之间则无显著差异($P > 0.05$)。与空壳率相对应, 冰鲜鱼组鲈具有相对较小的内脏团, 尤其与鱼油组和鱼油肉碱组相比有明显下降($P < 0.05$)。各组鲈的肝体比相近, 冰鲜组鲈的肝相对较大, 但彼此无显著差异($P > 0.05$)。鱼油玉米油组和冰鲜鱼组鲈具有最低的脂体比, 显示其在内脏团中积累脂肪较少, 其中鱼油玉米油组与鱼油组、鱼油肉碱组相比有显著性差异($P < 0.05$), 鱼油组、鱼油胆碱组和鱼油肉碱组之间并无显著差异($P > 0.05$)。

表4 6种饲料对鲈内脏器官相对重量的影响

Tab. 4 The effects of 6 diets on the relative weights of carcass (%)

饲料号(diets)	1	2	3	4	5	6
肥满度(CF)	1.46 ± 0.06 ^a	1.45 ± 0.06 ^a	1.44 ± 0.09 ^a	1.46 ± 0.05 ^a	1.47 ± 0.09 ^a	1.69 ± 0.17 ^a
脏体比(VR)	8.26 ± 0.83 ^a	7.70 ± 1.25 ^{ab}	7.46 ± 1.06 ^{ab}	7.56 ± 0.64 ^{ab}	8.01 ± 0.62 ^a	6.98 ± 0.66 ^b
肝体比(HSI)	0.88 ± 0.13 ^a	0.89 ± 0.13 ^a	0.87 ± 0.10 ^a	0.85 ± 0.11 ^a	0.86 ± 0.10 ^a	1.09 ± 0.14 ^a
脂体比(IPFR)	4.29 ± 0.74 ^a	3.35 ± 0.95 ^b	3.74 ± 0.97 ^{abc}	3.73 ± 0.53 ^{ab}	4.28 ± 0.63 ^{ac}	3.33 ± 0.47 ^b
空壳率(TR)	91.74 ± 0.83 ^a	92.30 ± 1.25 ^{ab}	92.54 ± 1.06 ^{ab}	92.44 ± 0.64 ^{ab}	91.99 ± 0.62 ^a	93.02 ± 0.66 ^b

注: 每行数据后字母无重复者表示有显著性差异($P < 0.05$)。表中各指标见参考文献[6]

Notes: Within the same row, values with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$), and condition factor(CF), viscous ratio (VR), hepatosomatic index (HSI), intraperitoneal fat ratio(IPFR) and trunk ratio (TR) were introduced by reference[6]

2.4 6种饲料对于鲈体营养成分组成的影响

图1表示肌肉和肝脏中粗蛋白、粗脂肪、水分和灰分的含量。6种饲料对肌肉蛋白影响不大($P > 0.05$), 但是冰鲜鱼组鲈的肝脏蛋白明显低于配合饲料组($P < 0.05$)。鱼油肉碱组鲈的肌肉脂肪为6个试验组中最低的, 除鱼油豆油组之外与其余各组均有显著性差异($P < 0.05$)。冰鲜鱼组鲈肝脏脂肪明显高于其它组($P < 0.05$), 各配合饲料组中鱼油胆碱组和鱼油肉碱组肝脏脂肪较低, 但与其它组差异不明显($P > 0.05$)。冰鲜鱼组鲈肌肉和肝脏中水分含量和灰分含量均显著低于配合饲料组($P < 0.05$), 配合饲料组间水分无差异($P > 0.05$), 鱼油肉碱组鲈肌肉灰分显著低于鱼油组($P < 0.05$), 鱼油豆油组鲈

肝脏灰分显著低于鱼油组($P < 0.05$)。

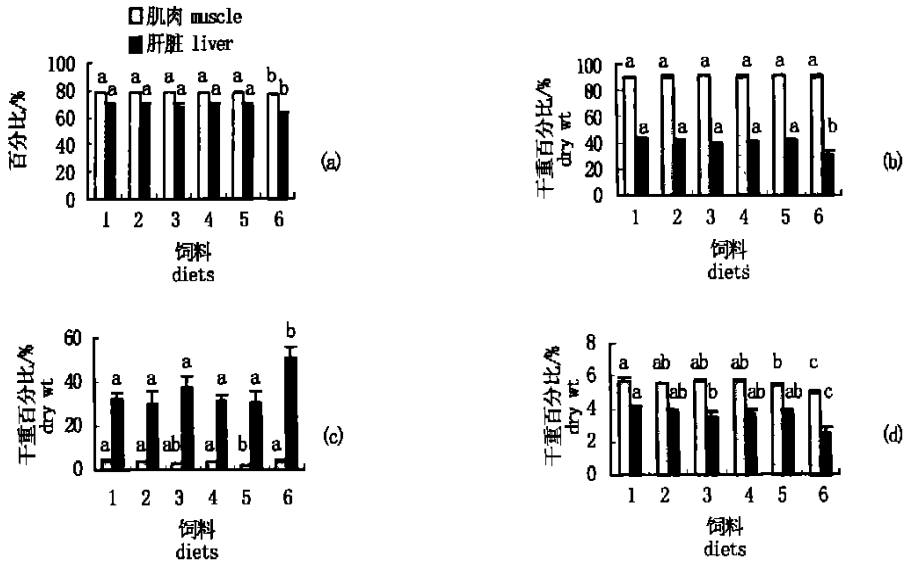


图1 6种饲料对于鲈体营养成分组成的影响

Fig. 1 The effects of 6 diets on the nutrient composition of *Lateolabrax japonicus*

(a) 水分 (moisture); (b) 蛋白质 (protein); (c) 脂肪 (lipid); (d) 灰分 (ash)

注: 同一组织各字母不同者表示有显著性差异($P < 0.05$)

Notes: within the same tissue, values with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

2.5 6种饲料对于鲈血清生化指标的影响

本实验显示,不同脂肪源的配合饲料和在饲料中添加胆碱、肉碱会对鲈血清中的一些生化指标产生不同的影响(图2)。鱼油玉米油组鲈血清脂肪酶(LIPA)显著高于其它几组($P < 0.05$),其血清甘油三酯(TG)也是各组中最高的,显著高于其余两种脂肪源组($P < 0.05$)。各组鲈血清的总胆固醇(CHOL)、高密度脂蛋白(HDL-C)、低密度脂蛋白(LDL-C)的图形走势表现出相类似的趋势,即冰鲜鱼组鲈的该3项指标均高于各配合饲料组,而鱼油豆油组鲈该3项指标均为最低。LDL-C/HDL-C值同样能大致看到这一趋势,冰鲜鱼组该值显著高于其余配合饲料组($P < 0.05$)。

2.6 6种饲料对于鲈肌肉和肝脏脂肪酸组成的影响

表5和表6列出了6组鲈肌肉和肝脏的脂肪酸组成情况。由表中可见,肌肉和肝脏脂肪酸组成与饲料脂肪酸组成情况较为一致。

冰鲜鱼组鲈肌肉中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸含量和18:1n-9/n-3HUFA均高于配合饲料组鲈,DHA/EPA也高于配合饲料组。5个配合饲料组鲈肌肉中n-3HUFA与饲料相比上升,而冰鲜鱼组鲈肌肉中n-3HUFA则下降了27.57%,与n-3系列脂肪酸相比,鲈肌肉中n-6系列脂肪酸含量与饲料中含量差距不大。

与肌肉脂肪酸组成类似,各配合饲料组鲈肝脏中脂肪酸组成情况同样出现了上述类似的情况,但是升降幅度相对较小。但是,冰鲜鱼组鲈肝脏的变化却与肌肉中脂肪酸组成的变化差异较大,n-6和n-3多不饱和脂肪酸都有明显下降,其中总n-3HUFA下降了83.89%,远远低于配合饲料中的含量。相反,在其余各配合饲料组鲈肌肉和肝脏18:1n-9/n-3HUFA值与饲料中相近时,冰鲜鱼组鲈肝脏中该值则远远高于肌肉组,也显著高于各配合饲料组($P < 0.05$),比饲料中高出22.12倍。

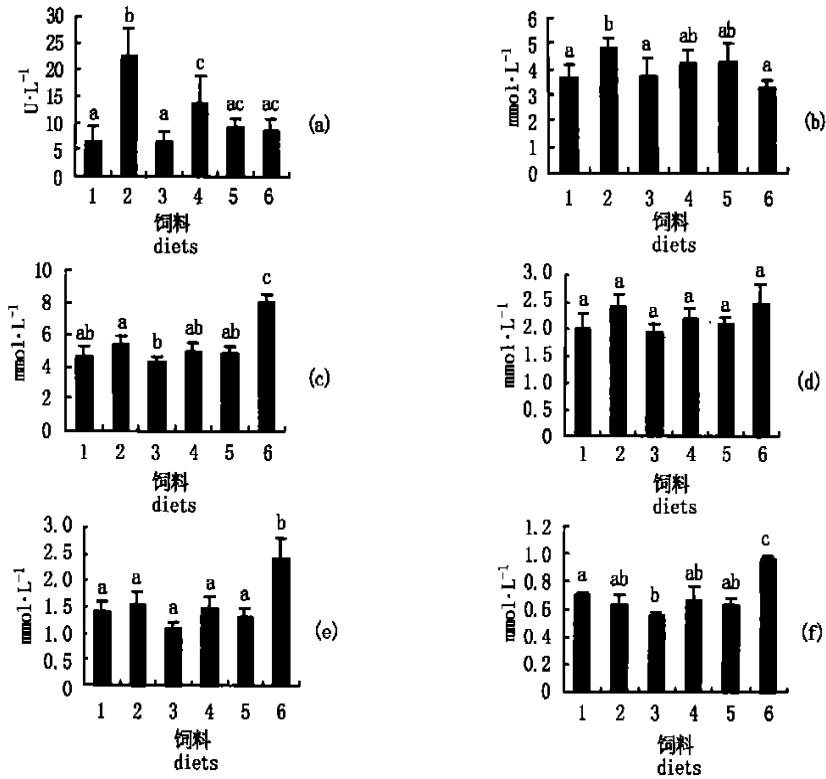


图2 6种饲料对于鲈血清生化指标的影响

Fig. 2 The effects of 6 diets on serum biochemistry indexes of *Lateolabrax japonicus* (a) 脂肪酶(LIPA); (b) 总甘油三酯(TG); (c) 总胆固醇(CHOL); (d) 高密度脂蛋白(HDL-C); (e) 低密度脂蛋白(LDL-C); (f) 低密度脂蛋白/高密度脂蛋白(LDL-C/HDL-C)

注: 同组中字母不同者表示有显著性差异($P < 0.05$)

Notes: within the same group, values with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

表5 6组实验鲈肌肉脂肪酸组成(%总脂肪酸)

Tab. 5 The fatty acids composition of muscle of Japanese sea bass (% total fatty acids)

饲料号(diets)	1	2	3	4	5	6
Σ SFA	32.62 \pm 0.27 ^a	30.59 \pm 0.41 ^b	29.87 \pm 1.03 ^b	31.61 \pm 0.41 ^a	32.76 \pm 0.66 ^a	33.96 \pm 0.35 ^a
Σ MUFA	31.51 \pm 0.10 ^a	27.35 \pm 1.75 ^b	26.55 \pm 1.25 ^b	28.59 \pm 1.21 ^{ab}	29.95 \pm 0.85 ^{ab}	32.45 \pm 2.25 ^a
Σ n-6PUFA	8.40 \pm 0.20 ^a	12.95 \pm 1.65 ^b	15.15 \pm 0.15 ^c	9.15 \pm 0.04 ^a	8.54 \pm 0.94 ^a	6.00 \pm 0.20 ^d
Σ n-3PUFA	26.14 \pm 0.44 ^a	25.61 \pm 1.91 ^a	24.91 \pm 0.79 ^a	29.40 \pm 2.20 ^a	25.00 \pm 4.20 ^a	24.80 \pm 2.60 ^a
Σ n-3HUFA	25.25 \pm 0.45 ^{ab}	24.05 \pm 2.05 ^{ab}	23.30 \pm 0.90 ^a	27.90 \pm 1.80 ^b	24.10 \pm 4.10 ^b	23.65 \pm 2.15 ^{ab}
DHA/EPA	3.18 \pm 0.17 ^a	3.00 \pm 0.14 ^a	3.16 \pm 0.09 ^a	2.82 \pm 0.19 ^{ab}	2.55 \pm 0.27 ^b	5.95 \pm 0.22 ^c
18 ln-9/n-3HUFA	0.93 \pm 0.05 ^{ab}	0.84 \pm 0.04 ^{ab}	0.85 \pm 0.05 ^{ab}	0.75 \pm 0.06 ^a	0.90 \pm 0.16 ^{ab}	1.01 \pm 0.13 ^b

注: 每行数据后字母无重复者表示有显著性差异($P < 0.05$)

Notes: within the same row, values with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

表6 6组试验鲈肝脏脂肪酸组成(%总脂肪酸)

Tab. 6 The fatty acids composition of liver of Japanese sea bass (% total fatty acids)

饲料号(diets)	1	2	3	4	5	6
Σ SFA	24.55 \pm 1.15 ^{abc}	23.50 \pm 0.01 ^{abc}	22.41 \pm 1.40 ^c	25.33 \pm 0.27 ^b	24.61 \pm 0.21 ^{abc}	34.07 \pm 2.25 ^d
Σ MUFA	40.60 \pm 0.40 ^a	34.70 \pm 1.00 ^b	32.60 \pm 3.00 ^b	36.26 \pm 0.44 ^b	36.38 \pm 0.08 ^b	55.17 \pm 3.87 ^c
Σ n-6PUFA	10.89 \pm 2.29 ^a	16.55 \pm 0.45 ^b	18.45 \pm 3.06 ^b	9.02 \pm 0.09 ^a	8.85 \pm 0.45 ^a	3.00 \pm 0.26 ^c
Σ n-3PUFA	21.15 \pm 0.55 ^a	23.25 \pm 0.15 ^b	23.55 \pm 1.85 ^b	24.43 \pm 0.27 ^b	26.51 \pm 0.51 ^c	5.26 \pm 0.74 ^d
Σ n-3HUFA	19.80 \pm 0.70 ^a	21.10 \pm 0.60 ^b	21.50 \pm 1.50 ^{bc}	22.90 \pm 0.30 ^c	25.20 \pm 0.70 ^d	5.26 \pm 0.74 ^d
DHA/EPA	2.03 \pm 0.86 ^a	3.22 \pm 0.12 ^b	3.29 \pm 0.34 ^b	3.36 \pm 0.07 ^b	4.09 \pm 0.19 ^b	6.62 \pm 1.01 ^c
18 ln-9/n-3HUFA	1.39 \pm 0.07 ^a	1.20 \pm 0.03 ^a	1.13 \pm 0.17 ^a	1.10 \pm 0.01 ^a	1.01 \pm 0.03 ^a	7.63 \pm 1.61 ^b

注: 每行数据后字母无重复者表示有显著性差异($P < 0.05$)

Notes: within the same row, values with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

3 讨论

本试验结束时, 试验鱼已长成近上市的规格。通过对增重率、特定生长率和蛋白质效率的分析说明, 冰鲜鱼作为鲈的饵料, 确实能使鲈快速生长, 效果好于本实验所用配合饲料, 虽然本实验中由于部分饲料在水中溃散而影响了结果的准确性, 但是本实验结果也表明目前鲈的配合饲料尚不完善, 亟待改进。然而本实验也发现, 如果长期投喂冰鲜鱼, 可诱发鲈的脂肪肝病, 导致厌食、拒食。作者认为, 冰鲜鱼诱发脂肪肝病的原因有二, 一是因为冰鲜鱼几乎不含有糖类, 大部分由蛋白质组成, 极易被肉食性养殖鱼类利用, 而海水肉食性养殖鱼类又往往食量较大, 因此长期大量投喂冰鲜鱼, 易造成能量积累过多而造成脂肪肝; 其次往往是因为投喂的冰鲜鱼不够新鲜, 造成品质下降, 尤其是各类维生素等微量营养素的损失, 造成养殖鱼类脂肪转运受阻, 诱发脂肪肝。在本实验中, 由于冰鲜鱼饵料去除了内脏和头部, 因此几乎全部由蛋白质组成, 另外, 由于动物维生素等微量营养素往往贮藏于内脏中, 因此内脏的去除也造成了冰鲜鱼饵料中微量营养素的不足。本实验中鲈脂肪肝病的发生, 应该是与这两方面的因素有关。考虑到实践生产中所用杂鱼为质量较次的低档鱼, 堆放日久又易变质的情况, 在实践养殖中, 投喂冰鲜鱼诱发鲈脂肪肝病的情况会更严重和普遍。

实验中发现, 各组鲈普遍具有较多的内脏脂肪, 呈团状包裹于鲈幽门垂周围。本实验室发现(待发表), 鲈是一种非常耐饥饿的鱼类, 在不提供任何食物的情况下仅靠自身的营养储备就能存活半年以上, 因此在食物充足时储备足够多的脂肪, 应是鲈的一种生理特性。在本实验中, 鱼油玉米油组鲈的脂体比显著低于其余4个配合饲料组($P < 0.05$)。由于内脏脂肪为脂肪从肝中运出经代谢后剩余部分的贮存地, 因此其多少可以从侧面反映鲈对脂肪的利用能力, 这表明鲈对鱼油玉米油可以很好的利用。Craig和Gatlin^[7]也发现, 用玉米油作为脂肪源的红鱼(*Sciaenops ocellatus*)的脂体比小于用鱼油作为脂肪源的实验鱼, 这与本实验结果相类似。至于冰鲜鱼组鲈的脂体比也较低的情况, 应该是与其脂肪肝导致脂肪不能正常运出有关。

本实验中, 用冰鲜鱼投喂的鲈肝脂占肝干重的50.92%, 占湿重的19.96%, 这与Nematipour和Gatlin^[8]用不含n-3HUFA的纯橄榄油饲养的杂交条纹鲈的不正常肝脂相仿, 但是该鱼并不出现明显的病变。Lochmann和Gatlin^[9]发现用鱼油作为脂肪源所喂养的红鱼幼鱼肝脂可达到湿重的20%~30%而无明显毒害现象出现。考虑到鲈即使产生脂肪肝病而导致肝肿大, 其肝体比仍只有1.09, 较正常的条纹鲈(1.92~2.4)^[8]、美国红鱼(1.17~3.08)^[7]、尖吻重牙鲷(*Diplodus puntazzo*)^[10]和尖吻鲈(1.39~1.67)^[11]都低。这说明, 鲈是一种对脂肪肝耐受性较差的鱼类, 易被诱发脂肪肝。

本实验中各配合饲料组鲈的肝脂积累不多, 且无明显差别($P > 0.05$), 但是可以看到添加胆碱与肉碱组鲈的肝脂都有下降的趋势, 其中肉碱组的趋势更明显一些。而在肌肉组织中, 胆碱和肉碱的降脂作用更加显著, 尤其是肉碱组与不添加肉碱的鱼油组有显著性差异($P < 0.05$)。这证明肉碱具有降脂的作用。这与Santulli对海鲈^[12]、Gaylord对条纹鲈^[13]的实验结果相似。而胆碱是一种有效的降脂因子^[14], 为何在本实验中并未表现出明显效果, 作者认为, 可能是由于5种配合饲料中都加有基础量(0.2%)的胆碱, 而导致加大量(1%)的胆碱组并未表现出特别明显的效果。

脂肪酶由胰腺分泌, 是体内脂肪分解的主导酶, 其活性高低, 可以反映机体对脂肪的利用能力。本实验发现, 鱼油玉米油组鲈的脂肪酶活性显著高于其它组($P < 0.05$), 相应的, 该组鲈血清中游离的甘油三酯含量也是各组中最高的, 由于在空腹时, 从肝脏中转移的甘油三酯量是很少的^[15], 因而鲈血清中甘油三酯主要来自体内贮备的脂肪动员, 这说明该组鲈动用体内脂肪能力强于其它组, 这也解释了为什么该组鲈的内脏脂肪积累少, 脂体比小的问题。另外, 由于高密度脂蛋白和低密度脂蛋白是胆固醇的主要运输者, 因此可以发现胆固醇、高密度脂蛋白和低密度脂蛋白三者的图形走势非常相似, 其中冰鲜鱼组鲈的这三项指标均为最高, LDL-C/HDL-C值也远远高于其它组, 这说明冰鲜鱼组鲈血清胆固醇主要来自LDL-C。

在正常情况下,甘油三酯的升降往往伴随着胆固醇的升降^[15],在本实验中的5个配合饲料组的鲈血清指标也遵循着这种规律,但是在冰鲜鱼组,却出现了反常,其甘油三酯是各组中最低的,而胆固醇含量却是最高的。作者认为,由于甘油三酯主要通过极低密度脂蛋白(VLDL)运载,而VLDL只能由肝脏合成,而冰鲜鱼组鲈由于肝的损伤,无法合成足够的VLDL,相反,作为胆固醇主要运载者的HDL和LDL可由肠道等处合成,因此在需要动员脂肪贮备而又无足够的VLDL来运载甘油三酯的情况下,就导致了胆固醇和甘油三酯升降的反常。

通过比较本实验所用饲料的脂肪酸组成与实验结束时鲈肌肉和肝脏脂肪酸组成情况,可以发现鱼体脂肪酸组成与饲料脂肪酸组成相关,这在很多鱼类都有类似的报道^[16,17]。一般而言,海水鱼所需的n-3HUFA占到其饲料的1%左右即可满足其生理需要^[8,18],本实验中每组饲料的n-3HUFA都达到了这一水平,能满足鲈的必需脂肪酸(EFA)需要。Craig和Gatlin^[9]认为,当红鱼的EFA被满足后,可以利用各种脂肪源作为能源。本实验也证实,当鲈的EFA被充分满足后,不同的脂肪源对其生长并无明显差别($P > 0.05$)。

另外,本实验发现,当鲈产生脂肪肝病后,其肌肉和肝脏的脂肪酸组成都出现一些变化,如饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)含量升高,HUFA含量降低等,但是肝脏的变化相对于肌肉而言程度更大,这说明肝脏脂肪酸组成的变化对机体病变的敏感性要高于肌肉。其中,MUFA,尤其是18:1n-9水平的升高与n-3HUFA含量的下降表现得更为明显。作者认为,18:1n-9/n-3HUFA可能是一个机体脂肪病变的敏感指标。

中山大学北校区(原中山医科大学)第一附属医院生化检验室肖绍村、高玲两位老师在血清生化分析方面给予大力协助,本实验室王勇、王骥腾、王胜和肖伟平同学参加了本实验的部分工作,一并致谢。

参考文献:

- [1] Lin L M, Hu J, Hong H X. The most suitable content of protein in the artificial feed to culture *Lateolabrax japonicus* [J]. Journal of Xiamen Fisheries College, 1994, (1): 6- 10. [林利民, 胡家财, 洪惠馨. 鲈鱼人工配合饲料中蛋白质最适含量的研究[J]. 厦门水产学院学报, 1994, (1): 6- 10.]
- [2] Gao C R, Liu Q H, Liang Y Q, et al. The optimum content of protein and fat in the artificial diet fed to cultured juvenile seabass (*Lateolabrax japonicus*) [J]. Marine Fisheries Research, 1998, 19(1): 81- 85. [高淳仁, 刘庆慧, 梁亚全, 等. 鲈鱼幼鱼人工配合饲料中蛋白质脂肪适宜含量的研究[J]. 海洋水产研究, 1998, 19(1): 81- 85.]
- [3] Hong H X, Lin L M, Chen X H, et al. Studies on the optimal content and protein sparing effect of lipid in artificial foodstuff for *Lateolabrax japonicus* [J]. Journal of Jimei university (Nature Science), 1999, 4(2): 41- 44. [洪惠馨, 林利民, 陈学豪, 等. 鲈鱼人工配合饲料中脂肪的适宜含量研究[J]. 集美大学学报(自然科学版), 1999, 4(2): 41- 44.]
- [4] Pan Y, Wang F Q, Liu H L. Optimal proportion of fish meal and soybean cake in formulated diets of juvenile sea perch *Lateolabrax japonicus* [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2000, 15(3): 157- 163. [潘勇, 王福强, 刘焕亮. 花鲈配合饲料中鱼粉与豆粕适宜比例的研究[J]. 大连水产学院学报, 2000, 15(3): 157- 163.]
- [5] Lin D, Mao Y Q. Fish Nutrition and Formulated Diet [M]. Guangzhou: Zhongshan University Press, 1987. 62. [林鼎, 毛永庆. 鱼类营养与配合饲料[M]. 广州: 中山大学出版社, 1987. 62.]
- [6] Mao Y Q, Lin D, Liu Y J. Relationship of diet and growth, biological character and composition of pond fishes [J]. Corpus of 3th Forum of Chinese Foodstuff and Diet Association, Taiyuan, 1990. 117- 123. [毛永庆, 林鼎, 刘永坚. 饲料与塘养鱼类的生长、生物性状和成分关系[J]. 中国粮油学会、饲料专业学会、第三届年会论文集. 太原, 1990, 117- 123.]
- [7] Craig S R, Gatlin D M. Coconut oil and beef tallow, but not tricaprilyn, can replace menhaden oil in the diet of red drum (*Sciaenops ocellatus*) without adversely affecting growth or fatty acid composition [J]. J Nutr, 1995, 125: 3041- 3048.
- [8] Nematipour G R, Gatlin D M. Requirement of hybrid striped bass for dietary (n-3) highly unsaturated fatty acids [J]. J Nutr, 1993, 123: 744- 753.
- [9] Lochmann R T, Gatlin D M. Essential fatty acids requirement of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus* [J]. Fish Physiol Biochem, 1993, 12: 221- 235.
- [10] Hernandez M D, Egea M A, Rueda F M, et al. Effects of commercial diets with different P/E ratios on sharpnose seabream (*Diplodus puntazzo*) growth and nutrient utilization [J]. Aquac, 2001, 195: 321- 329.

- [11] Nankervis L, Matthews S J, Appleford P. Effect of dietary non-protein energy source on growth, nutrient retention and circulating insulin-like growth factor I and triiodothyronine levels in juvenile barramundi, *Lates calcarifer* [J]. *Aquac*, 2000, 191: 323- 335.
- [12] Santulli A, V D Amelio. Effects of supplemental dietary carnitine on growth and lipid metabolism of hatchery-reared sea bass (*Dicentrarchus labrax L.*) [J]. *Aquac*, 1986, 59: 177- 186.
- [13] Gaylord T G, Gatlin D M. Dietary lipid level but not L-carnitine affects growth performance of hybrid striped bass (*Morone chrysops* ♀ × *Morone saxatilis* ♂) [J]. *Aquac*, 2000, 190: 237- 246.
- [14] Cao J M, Lin D, Xue H, et al. The replacing relationship of four anti-fat liver factors to decreasing lipid deposit in grass carp liver. *Acta Hydro Sin*, 1999, 23(2): 102- 110. [曹俊明, 林鼎, 薛华, 等. 四种抗脂肪肝物质降低草鱼肝胰脏脂质积累的替代关系[J]. *水生生物学报*, 1999, 23(2): 102- 110.]
- [15] He Z Q. Human nutrition (second edition) [M]. Beijing: Press of People Medicine, 2000. 95- 123. [何志谦. 人类营养学(第二版) [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2000. 95- 123.]
- [16] Ji W J. The influence of different fat sources in feed on the growth rate of juvenile and fatty acid composition of body fat of black sea bream (*Sparus macrocephalus*) [J]. *Marine Fisheries Research*, 1999, 20(1): 69- 74. [季文娟. 饲料中不同脂肪源对黑鲷幼鱼生长和鱼体脂肪酸组成的影响[J]. *海洋水产研究*, 1999, 20(1): 69- 74.]
- [17] Xu R P, Hung S S O, German J B. White sturgeon tissue fatty acid compositions are affected by dietary lipids [J]. *J Nutr*, 1993, 123: 1685- 1692.
- [18] Sargent J, Bell G, McEvoy L, et al. Recent development in the essential fatty acid nutrition of fish [J]. *Aquac*, 1999, 177: 191- 199.