

## 不同小麦淀粉和脂肪水平对大黄鱼的生长性能、 饲料利用及糖代谢关键酶活力的影响

陆游, 周飘萍, 袁野, 马红娜, 周歧存\*

(宁波大学海洋学院, 鱼类营养研究室, 浙江宁波 315211)

**摘要:** 为探讨饲料中添加不同小麦淀粉和脂肪水平对大黄鱼幼鱼生长、饲料利用以及糖代谢关键酶活力的影响, 进行了为期8周的生长实验。设计了3个小麦淀粉水平(5%、10%和30%)和2个脂肪水平(5%和10%)的3×2的两因子实验, 配制了6种等氮的饲料, 分别喂养平均体质量为(6.75±0.12)g的大黄鱼幼鱼。结果显示, 饲料中小麦淀粉和脂肪水平对大黄鱼增重率(WG)、特定生长率(SGR)、饲料效率(FE)、成活率(SR)、肝体比(HSI)和肥满度(CF)无显著交互作用, 对脏体比(VSI)有显著交互作用。在同一脂肪水平下, 淀粉水平为30%组WG和SGR显著高于10%淀粉组。不同小麦淀粉和脂肪水平对肝糖原含量无显著交互作用, 而对肌糖原含量有显著交互作用, 在饲料脂肪水平为5%时, 30%小麦淀粉水平下的肝糖原含量显著高于10%和20%淀粉水平, 10%淀粉水平下的肌糖原含量显著高于20%和30%淀粉水平; 在脂肪水平为10%时, 10%淀粉水平下的肝糖原含量显著高于20%和30%淀粉水平, 而30%小麦淀粉水平下的肌糖原含量显著高于10%和20%淀粉水平。小麦淀粉和脂肪水平对血清中谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、总胆固醇(TC)和葡萄糖(GLU)含量无显著交互作用, 对总蛋白(TP)和甘油三酯(TG)交互作用显著。不同小麦淀粉和脂肪水平对肝脏脂肪酶活性有显著的交互作用, 对淀粉酶活性无显著交互作用; 同一脂肪水平下, 脂肪酶的活性随着淀粉水平的升高而升高, 同一饲料淀粉水平下, 饲料脂肪水平为10%组的脂肪酶活性显著高于5%组。不同小麦淀粉和脂肪水平对肝脏丙酮酸激酶(PK)的活性有显著的交互作用, 而对葡萄糖激酶(GK)、磷酸果糖激酶(PFK)、磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶(PEPCK)、1,6-二磷酸果糖酶(FBPase)和6-磷酸葡萄糖酶(G6Pase)的活性均无显著交互作用。研究表明, 当饲料脂肪水平为5%时, 大黄鱼能够通过调节糖酵解关键酶活性及肝糖原含量来维持血糖平衡, 改善对小麦淀粉的利用能力; 而当脂肪水平为10%时, 大黄鱼对小麦淀粉的利用能力降低。

**关键词:** 大黄鱼; 小麦淀粉; 脂肪; 生长性能; 饲料利用; 糖代谢; 酶活性

**中图分类号:** S 963.7

**文献标志码:** A

大黄鱼(*Larimichthys crocea*), 属硬骨鱼纲(Osteichthys), 鲈形目(Perciformes), 石首鱼科(Sciaenidae), 黄鱼属(*Pseudosciaena*), 是暖温性近海中下层集群洄游性鱼类, 主要分部于我国南海、东海和黄海南部等海域和朝鲜西海岸,

为我国传统“四大海产”[大黄鱼、小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、带鱼(*Trichiurus lepturus*)、乌贼(*Sepiella maindroni*)]之一, 是我国福建和浙江等沿海地区主要经济种<sup>[1]</sup>, 其肉质细腻, 味道鲜美, 含有丰富的蛋白质和微量元素, 是人类理

收稿日期: 2016-04-28 修回日期: 2016-08-28

资助项目: 国家自然科学基金(31272670); 宁波市农业科技攻关重大项目(2012C10025); 浙江省2011协同创新项目; 浙江省重中之重一级学科建设项目

通信作者: 周歧存, E-mail: zhouqicun@nbu.edu.cn

想的动物性蛋白源<sup>[2]</sup>,自20世纪80年代后期大黄鱼人工育苗获得成功,大黄鱼的养殖规模逐年扩大,产量逐年增加<sup>[3]</sup>。尽管如此,大黄鱼配合饲料的研究依然滞后于生产实际,大黄鱼养殖仍以投喂鲜活小杂鱼为主<sup>[4]</sup>。

糖类作为能源物质,可以为鱼类提供能量,以减少蛋白质作为能量的消耗,从而起到节约蛋白质的作用<sup>[5]</sup>。糖在鱼类配合饲料中最为廉价,但饲料中添加适宜的糖,不仅可以降低成本,还可降低鱼体氨氮的排放量,减少水体污染<sup>[6]</sup>。但当鱼类摄入高糖饲料后,会出现血糖偏高,肝脏受损,免疫力下降等不良反应<sup>[7]</sup>。脂肪是鱼类主要的能源物质,对鱼类生长有着重要的作用,是配合饲料不可缺少的营养成分。鱼类对脂肪需求主要是对必需脂肪酸的需求<sup>[7]</sup>。鱼类无法合成必需脂肪酸,所以必须从食物中获得以满足自身的正常生长发育,如果必需脂肪酸缺乏或者不平衡,会抑制鱼体生长<sup>[8-10]</sup>,降低饲料转化率,甚至诱发疾病。另外,脂肪也是鱼体组织细胞的组成成分,对维持细胞膜的结构和完整性有重要的作用。因此,饲料中添加适宜的糖和脂肪对鱼类的正常生长具有重要的意义。在对瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)<sup>[11]</sup>、暗纹东方鲀(*Takifugu obscurus*)<sup>[12]</sup>、建鲤幼鱼(*Cyprinus carpio* var. *jian*)<sup>[13]</sup>和尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)<sup>[14]</sup>的研究中发现,糖和脂肪维持一定比例,能充分发挥鱼类利用脂肪和糖的协同作用,从而提高鱼类生长和饲料效率。

目前,研究者主要完成了大黄鱼对主要营养素以及饲料原料消化率和蛋白源替代等的研究<sup>[3, 15-22]</sup>,但对糖类和脂肪两种因素同时作用于大黄鱼的研究尚未见报道,本实验在已有研究基础上,设计3个小麦淀粉水平(10%、20%和30%),2个脂肪水平(5%和10%)研究不同小麦淀粉和脂肪水平对大黄鱼生长性能、饲料利用及糖代谢关键酶活性的影响,从而为大黄鱼资源节约型配合饲料的研制提供基础数据和理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验饲料

以鱼粉、小麦蛋白粉为蛋白源,鱼油、豆油和大豆卵磷脂为脂肪源,脂肪水平分别为5%和10%,小麦淀粉为糖源,小麦淀粉添加水平分

别为10%、20%和30%,配制成6组不同小麦淀粉和脂肪水平的等氮饲料(表1)。将表1所有原料粉碎后过80目筛,按配方比例准确称重,并混合均匀,其中维生素和矿物质预混料等微量成分采用逐级扩大法充分混合,之后再加入鱼油、豆油和大豆卵磷脂以及适量的水混合均匀,用双螺杆挤条机[F(II)-26,华南理工大学,广州]加工制成粒径为2和4 mm硬颗粒饲料,在烘箱中90℃熟化30 min,再自然风干至水分为10%左右,用塑封袋密封,保存于-20℃冰箱中备用。

### 1.2 实验管理

实验用大黄鱼幼苗购于象山港湾水产苗种有限公司,并在浙江宁波象山港湾进行养殖。实验前,将鱼苗放于(3.0 m×3.0 m×3.0 m)的大规格网箱中暂养2周,期间用普通商业饲料(福建健马牌大黄鱼饲料)饱食投喂,使其适应饲养环境。暂养结束后,饥饿24 h,挑选体格健壮、规格一致、初重为(6.75±0.12) g的鱼苗,随机分置于18个(1.5 m×1.5 m×2.0 m)小规格浮筏式网箱中,在每个网箱中放养50尾鱼,每组实验饲料随机投喂3个网箱,即每个处理组3个重复,总共6个处理组。每天饱食投喂2次,分别为早上5:00和下午17:00。记录每天投喂量,并及时记录死鱼数量及质量,养殖周期为8周,养殖期间,海水温度为26.5~31.5℃,盐度为32~36,溶解氧含量不低于7.0 mg/L。

### 1.3 样品采集与分析方法

养殖结束后停止投喂,使实验鱼饥饿24 h,然后依次将网箱中的鱼全部捞出,用丁香酚(1:10 000)(上海化学试剂公司,上海)麻醉后,称重计数,用于计算增重率(WG)、特定生长率(SGR)、饲料效率(FE)和成活率(SR)指标。每个网箱随机取3尾鱼称重、量体长,取其肝脏和内脏分别称重,用于计算肥满度(CF)、肝体比(HSI)和脏体比(VSI)指标。然后每个网箱随机选取6尾实验鱼作为全鱼样品,用于鱼体常规成分分析。另取4尾,从尾静脉抽取血液样本,注入1.5 mL离心管,静置于4℃冰箱中过夜,之后3500 r/min离心8 min制得血清,置于-80℃冰箱,用于分析血清指标。剥离已取过血的大黄鱼的肝脏和前肠,置于2 mL离心管中,并迅速放入液氮中保存,用于检测肝脏中葡萄糖激酶(GK)、磷酸果糖激酶(PFK)、丙酮磷酸激酶

表 1 实验饲料配方及常规成分分析(%干物质)

Tab. 1 Formulation and proximate composition of the experimental diets(% dry matter)

	饲料 diet					
	S10L5	S20L5	S30L5	S10L10	S20L10	S30L10
<b>原料组分 ingredients</b>						
秘鲁蒸汽鱼粉 Peruvian fish meal <sup>1</sup>	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00
小麦蛋白粉 wheat gluten	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
小麦淀粉 wheat starch	10.00	20.00	30.00	10.00	20.00	30.00
鱼油 fish oil	0.12	0.12	0.12	2.62	2.62	2.62
豆油 soybean oil	0.12	0.12	0.12	2.62	2.62	2.62
大豆卵磷脂 soy lecithin	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
磷酸二氢钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
氯化胆碱 choline chloride	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
多矿 <sup>2</sup> mineral premix <sup>2</sup>	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
复合维生素 vitamin premix <sup>2</sup>	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
纤维素 cellulose	25.76	15.76	5.76	20.76	10.76	0.76
总量 total	100	100	100	100	100	100
<b>营养成分 proximate composition<sup>3</sup></b>						
干物质/% dry matter	90.84	89.59	90.40	91.42	91.72	89.62
粗蛋白/% crude protein	44.01	45.42	44.27	44.11	46.53	46.21
粗脂肪/% crude lipid	4.38	4.65	4.31	9.64	9.01	8.84
灰分/% ash	10.33	10.78	11.23	10.33	10.78	11.23
总能/(MJ/kg) gross energy <sup>4</sup>	13.12	14.83	16.55	15.10	16.81	18.53

注: 1. 秘鲁蒸汽鱼粉: 粗蛋白含量为660 g/kg, 粗脂肪含量为85.0 g/kg。2. 矿物质预混料和维生素预混料参照Mai等<sup>[23]</sup>配制。3. 营养成分为实测值。4. 饲料总能根据蛋白质、脂肪和碳水化合物的能值(23.6, 39.5和17.2 kJ/g)来计算

Notes: 1. Peruvian fish meal: crude protein 660 g/kg, crude lipid 85.0 g/kg. 2. mineral premix and vitamin premix were prepared according to Mai, *et al.*<sup>[23]</sup>. 3. nutrient composition was measured values. 4. gross energy calculated by using standard physiological fuel values of 23.6, 39.5 and 17.2 kJ/g for protein, lipid and carbohydrate, respectively

(PK)、磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶(PEPCK)、1, 6-二磷酸果糖酶(FBPase)、葡萄糖-6-磷酸酶(G6Pase)和肠道中淀粉酶、脂肪酶的活性以及肝糖原含量; 并取侧线以上的背部肌肉10 g左右, 装于密封袋中, 用于检测肌糖原含量。

饲料和鱼体常规成分的分析参照AOAC的方法<sup>[24]</sup>。其中粗蛋白含量检测采用蛋白测定仪检测(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105 °C烘干恒重法; 灰分检测采用马福炉550 °C焚烧失重法测定。

血清总蛋白(TP)、葡萄糖(GLU)、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)送往宁波大学医学院附属医院利用全自动生化分析仪(日立7600-110, 日本)进行检测。

肝糖原与肌糖原含量的检测参照文献<sup>[25]</sup>中多糖的化学分析法, 使用南京建成试剂盒检测。首先将肝脏和肌肉与强碱以1:3比例, 沸水浴20 min溶解形成溶液, 分别稀释为1%与5%的检测液, 然后将其与浓硫酸反应形成乙醛, 最后加入蒽酮染色剂染色, 在620 nm下测定吸光度。

肠道淀粉酶活性采用南京建成试剂盒检测。肠道脂肪酶以及肝脏中的6种代谢酶活性采用上海乔杜生物科技公司的Elisa试剂盒检测。

#### 1.4 计算公式及统计分析方法

$$\text{增重率(WG, \%)} = 100 \times (W_t - W_0) / W_0$$

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

$$\text{饲料效率(FE)} = (W_t - W_0) / F$$

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

$$\text{肝体比(HSI, \%)} = 100 \times W_h / W$$

$$\text{脏体比(VSI, \%)} = 100 \times W_v / W$$

$$\text{肥满度(CF, g/cm}^3\text{)} = 100 \times W / L^3$$

式中,  $W_0$ 为实验鱼初始重(g),  $W_t$ 为实验鱼末重(g),  $F$ 为饲料摄入量(g),  $t$ 为实验天数(d),  $N_t$ 为实验结束时鱼数量(尾),  $N_0$ 为实验初始鱼数量(尾),  $W$ 为鱼体质量(g),  $L$ 为鱼体长(cm),  $W_h$ 为肝脏重(g),  $W_v$ 为内脏重(g)。

所有数据采用SPSS 16.0软件对数据进行统计学分析, 先对数据作小麦淀粉×脂肪的双因素方差分析(Two-Way ANOVA), 然后同一饲料脂肪水平的数据采用Turkey氏进行多重比较, 最后对同一饲料淀粉水平的实验组数据做 $t$ 检验分析( $t$ -test),  $P < 0.05$ 表示差异显著。数据采用平均值±

标准差(mean±SD,  $n=3$ )表示。

## 2 结果

### 2.1 小麦淀粉和脂肪水平对大黄鱼生长性能、饲料利用以及形态学指标的影响

饲料中小麦淀粉和脂肪水平对WG、SGR、FE、SR、HSI和CF均无显著交互作用( $P > 0.05$ ), 而对VSI有显著交互作用( $P < 0.05$ )(表2)。在5%和10%的饲料脂肪水平下, 大黄鱼的WG随饲料淀粉水平从10%增加到30%而显著上升( $P < 0.05$ ), 最高WG都出现在30%淀粉水平组, 分别为352.44%和375.02%, 显著高于10%小麦淀粉水平组。同一脂肪水平下, 大黄鱼的SGR随淀粉水平的增加而显著升高( $P < 0.05$ ), 30%淀粉水平组的SGR最高, 显著大于10%淀粉水平组, 但和20%淀粉水

表 2 小麦淀粉和脂肪水平对大黄鱼的生长和饲料利用的影响

Tab. 2 Growth performance and feed utilization of the *L. crocea* fed diets with different wheat starch and lipid levels

	脂肪/% lipid	小麦淀粉/% starch level			Pooled SEM	P
		10	20	30		
增重率/% WG	5	293.99±35.71 <sup>a</sup>	328.98±48.55 <sup>ab</sup>	352.44±49.99 <sup>b</sup>	0.112	0.513
	10	284.15±21.26 <sup>a</sup>	335.29±58.38 <sup>ab</sup>	375.02±63.57 <sup>b</sup>	0.175	
特定生长率/(%/d) SGR	5	6.98±0.61 <sup>a</sup>	7.66±0.87 <sup>ab</sup>	8.08±0.89 <sup>b</sup>	0.087	0.573
	10	6.86±0.38 <sup>a</sup>	7.77±1.04 <sup>ab</sup>	8.48±1.14 <sup>b</sup>	0.175	
饲料效率 FE	5	0.57±0.13	0.65±0.26	0.73±0.17	0.354	0.672
	10	0.63±0.07	0.79±0.14	0.79±0.23	0.429	
成活率/% SR	5	82.03±11.24	85.16±20.13	87.35±9.01	0.849	0.613
	10	88.53±7.12	93.32±4.01	86.18±12.07	0.633	
肝体比/% HSI	5	1.50±0.29	1.17±0.31	1.44±0.35	0.193	0.226
	10	1.61±0.33	1.32±0.31	1.29±0.38	0.489	
脏体比/% VSI	5	4.10±0.39 <sup>a, A</sup>	4.02±0.66 <sup>a, A</sup>	4.20±0.37 <sup>b, AB</sup>	0.826	0.016
	10	4.50±0.12 <sup>b, B</sup>	4.35±0.27 <sup>b, B</sup>	3.96±0.36 <sup>a, A</sup>	0.116	
肥满度/(g/cm <sup>3</sup> ) CF	5	1.40±0.04	1.39±0.06	1.37±0.04	0.478	0.429
	10	1.41±0.05	1.42±0.02	1.36±0.03	0.128	

注: 表中数据为平均值±标准差( $n=3$ ), 同行数据肩标不同小写字母表示同一脂肪水平下小麦淀粉水平组间差异显著( $P < 0.05$ ), 无字母或相同小写字母表示同一脂肪水平下小麦淀粉水平组间差异不显著( $P > 0.05$ ); 同列数据肩标不同大写字母表示同一小麦淀粉水平下不同脂肪水平组间差异显著( $P < 0.05$ ), 无字母或相同大写字母表示同一小麦淀粉水平下不同脂肪水平组间差异不显著( $P > 0.05$ )。下同

Notes: values(mean±SD,  $n=3$ ) are means of three replicates per treatment. In the same row, values with different small letter superscripts indicated significant difference among different wheat starch level groups following the same lipid level( $P < 0.05$ ), and values without letter or with the same small letter superscripts indicated non-significant difference among different wheat starch level groups following the same lipid level( $P > 0.05$ ); values in the same column with different capital letter superscripts indicated significant difference among different lipid level groups following the same wheat starch level( $P < 0.05$ ), and values without letter or with the same capital letter superscripts indicated non-significant difference among different lipid level groups following the same wheat starch level( $P > 0.05$ ). The same below

平组无显著差异。在同一淀粉水平下,饲料中不同脂肪水平对WG与SGR无显著性影响( $P>0.05$ )。另外,当饲料脂肪水平在5%时,30%淀粉水平组的VSI显著高于10%和20%淀粉水平组,而在10%的脂肪水平下,VSI随着小麦淀粉水平的增加而显著下降( $P<0.05$ ),10%淀粉水平组的VSI显著高于30%淀粉水平组。但是6组处理组的FE、SR、HSI和CF均没有显著性差异( $P>0.05$ )。

## 2.2 小麦淀粉和脂肪水平对大黄鱼全鱼体组成成分的影响

饲料不同小麦淀粉和脂肪水平对大黄鱼体水分、粗脂肪和肝糖原含量无显著交互作用( $P>0.05$ ),但是对鱼体粗蛋白和肌糖原含量交互作用显著( $P<0.05$ )(表3)。6组处理组中,大黄鱼体的水分和粗蛋白含量不随饲料中淀粉和脂肪水平的变化而产生显著性变化( $P>0.05$ )。在5%脂肪水平下,鱼体粗脂肪含量随饲料淀粉水平从10%升高30%而显著降低( $P<0.05$ ),在10%淀粉水平出现最高值5.26%;而在10%脂肪水平下,粗脂肪含量随着淀粉水平的升高而先降低后升高。在同一小麦淀粉水平(10%、20%和30%)下,饲料脂肪水平为10%组鱼体粗脂肪含量均显著高于5%组( $P<0.05$ )。在饲料脂肪水平为5%时,30%淀粉水平组的肝糖原含量显著高于10%和20%淀粉水平组( $P<0.05$ ),肌糖原含量随淀粉水平的升高

而降低( $P<0.05$ ),肌糖原含量在10%淀粉水平最高,显著高于20%和30%淀粉水平;在脂肪水平为10%时,肝糖原和肌糖原含量随饲料淀粉水平的升高呈现先降低后升高的趋势,肝糖原在10%淀粉水平最高为37.37 mg/g,显著高于20%和30%淀粉水平( $P<0.05$ ),肌糖原含量在30%淀粉水平最高为2.44 mg/g,显著高于10%和20%淀粉水平( $P<0.05$ ),并且在10%和20%淀粉水平下,5%脂肪水平的肌糖原含量显著高于10%脂肪水平( $P<0.05$ ),在30%淀粉水平下,10%脂肪水平的肌糖原含量显著高于5%脂肪水平( $P<0.05$ )。

## 2.3 不同小麦淀粉和脂肪水平对大黄鱼血清生化和酶活性指标的影响

饲料不同小麦淀粉和脂肪水平对TP和TG含量有显著交互作用( $P<0.05$ ),而对ALT、AST、TC和GLU含量交互作用不显著( $P>0.05$ )(表4)。不同饲料淀粉和脂肪水平对ALT、AST和TC含量无显著影响( $P>0.05$ )。在脂肪水平为5%时,TP含量在10%淀粉水平组时最高为23.80g/L,显著高于20%和30%淀粉水平组( $P<0.05$ ),但是当脂肪水平为10%时,TP含量随淀粉水平的升高而显著降低( $P<0.05$ )。在相同饲料脂肪水平时,TG含量随饲料淀粉水平的升高而降低( $P<0.05$ ),5%脂肪水平下,TG从3.26 mmol/L降低至2.22 mmol/L,10%脂肪水平下TG从4.60 mmol/L降低至2.12 mmol/L。

表3 投喂不同小麦淀粉和脂肪水平对大黄鱼全鱼体组成成分的影响

Tab. 3 Proximate composition of whole body of *L. crocea* fed diets with different wheat starch and lipid levels

	脂肪/% lipid	小麦淀粉/% starch level			Pooled SEM	P
		10	20	30		
水分/% moisture	5	77.37±0.85	76.09±0.78	76.97±0.77	0.30	0.253
	10	75.67±1.45	76.21±0.59	76.56±0.86	0.32	
粗脂肪/% crude lipid	5	5.26±0.34 <sup>b,A</sup>	4.85±0.28 <sup>a,A</sup>	4.66±0.34 <sup>a,A</sup>	0.13	0.010
	10	7.37±0.61 <sup>b,B</sup>	6.02±0.36 <sup>a,B</sup>	6.4±0.55 <sup>ab,B</sup>	0.25	
粗蛋白/% crude protein	5	15.17±0.39	15.42±0.28	15.11±0.17	0.10	0.595
	10	15.43±0.28	14.48±0.09	14.57±0.10	0.16	
肝糖原/(mg/g) hepatic glycogen	5	30.82±4.7 <sup>a</sup>	28.41±3.85 <sup>a</sup>	34.21±3.07 <sup>b</sup>	1.53	0.511
	10	37.37±2.24 <sup>b</sup>	30.83±1.32 <sup>a</sup>	33.03±1.8 <sup>a</sup>	1.10	
肌糖原/(mg/g) muscle glycogen	5	2.31±0.68 <sup>b,B</sup>	1.91±0.73 <sup>a,B</sup>	1.28±0.12 <sup>a,A</sup>	0.49	0.005
	10	1.58±0.31 <sup>a,A</sup>	1.48±0.19 <sup>a,A</sup>	2.44±0.40 <sup>b,B</sup>	0.18	

表4 投喂不同小麦淀粉和脂肪水平饲料大黄鱼的血清生化及酶活性指标

Tab. 4 Haematological characteristics of the *L. crocea* fed diets with different wheat starch and lipid levels

	脂肪/% lipid	小麦淀粉/% wheat starch level			Pooled SEM	P
		10	20	30		
总蛋白/(g/L) total protein	5	23.80±4.02 <sup>b, A</sup>	22.50±2.68 <sup>a, A</sup>	22.80±1.29 <sup>a, A</sup>	0.721	0.021
	10	26.43±3.29 <sup>b, B</sup>	24.83±0.70 <sup>b, AB</sup>	22.03±0.21 <sup>a, A</sup>	0.081	
谷丙转氨酶/(U/L) ALT	5	14.17±2.32	11.50±8.92	14.00±3.03	0.660	0.165
	10	13.00±1.00	16.33±1.15	15.00±4.36	0.843	
谷草转氨酶/(U/L) AST	5	103.83±24.16	110.67±26.95	91.00±24.53	0.780	0.057
	10	85.67±11.24	156.67±28.08	101.00±33.61	0.318	
总胆固醇/(mmol/L) TC	5	2.83±0.93	2.49±0.56	2.48±0.58	0.632	0.214
	10	3.58±0.52	2.95±0.52	2.74±0.52	0.170	
甘油三酯/(mmol/L) TG	5	3.26±1.59 <sup>b, B</sup>	2.52±0.97 <sup>a, AB</sup>	2.22±0.56 <sup>a, A</sup>	0.286	0.021
	10	4.60±0.58 <sup>b, C</sup>	2.87±1.40 <sup>ab, B</sup>	2.12±0.03 <sup>a, A</sup>	0.033	
血糖/(mmol/L) GLU	5	6.43±1.88 <sup>b</sup>	3.61±1.44 <sup>a</sup>	4.92±1.61 <sup>ab</sup>	0.032	0.137
	10	7.01±2.55 <sup>b</sup>	4.29±1.64 <sup>ab</sup>	3.85±0.69 <sup>a</sup>	0.144	

在脂肪水平为5%时, GLU随淀粉水平的升高而先降低后升高, 在10%淀粉水平最高为3.61 mmol/L, 显著高于20%淀粉水平( $P<0.05$ ), 与30%淀粉水平无显著差异( $P>0.05$ ); 在脂肪水平为10%时, GLU随淀粉水平的升高而降低, 10%淀粉水平最高, 30%淀粉水平最低。在同一饲料淀粉水平下, 不同饲料脂肪水平对大黄鱼血液指标无显著影响( $P>0.05$ )。

#### 2.4 不同小麦淀粉和脂肪水平对大黄鱼肠道消化酶活性的影响

不同小麦淀粉和脂肪水平饲料对脂肪酶活性有显著交互作用( $P<0.05$ ), 对淀粉酶活性无显著交互作用( $P>0.05$ )(表5)。饲料中不同淀粉和脂

肪水平对淀粉酶活性无显著影响( $P>0.05$ )。在同一脂肪水平下, 脂肪酶的活性随着淀粉水平的升高而升高( $P<0.05$ ), 并且在同一饲料淀粉水平下, 饲料脂肪水平为10%组的脂肪酶活性显著高于5%组( $P<0.05$ )。

#### 2.5 不同小麦淀粉和脂肪水平对大黄鱼肝脏糖代谢酶活性的影响

饲料不同小麦淀粉和脂肪水平只对PK的活性有显著交互作用( $P<0.05$ ), 而对GK、PFK、PEPCK、FBPase和G6Pase的活性均表现为交互作用不显著( $P>0.05$ )(表6)。不同饲料淀粉和脂肪水平对PEPCK、FBPase和G6Pase的活性均无显著影响( $P>0.05$ )。而在饲料脂肪水平为5%时, GK活

表5 投喂不同小麦淀粉和脂肪水平饲料大黄鱼肠道消化酶活性

Tab. 5 The specific activity of digestive enzymes of the *L. crocea* fed diets with different wheat starch and lipid levels

	脂肪/% lipid	小麦淀粉/% wheat starch level			Pooled SEM	P
		10	20	30		
脂肪酶/(U/g) lipase	5	4.13±0.78 <sup>a, A</sup>	5.06±0.40 <sup>ab, A</sup>	5.28±0.39 <sup>b, A</sup>	0.45	0.030
	10	6.03±0.63 <sup>a, B</sup>	7.24±0.11 <sup>b, B</sup>	7.97±0.48 <sup>b, B</sup>	0.25	
淀粉酶/(U/g) amylase	5	1.38±0.29	1.24±0.07	1.28±0.25	0.07	0.458
	10	1.02±0.13	1.14±0.06	1.07±0.06	0.03	

表 6 投喂不同小麦淀粉与脂肪比饲料大黄鱼肝脏代谢酶活性

Tab. 6 The specific activity of metabolic enzymes of the *P. crocea* fed diets with different wheat starch and lipid levels

	脂肪/% lipid	小麦淀粉/% wheat starch level			Pooled SEM	P
		10	20	30		
葡萄糖激酶/(U/g) GK	5	5.22±0.37 <sup>a</sup>	5.36±0.54 <sup>a</sup>	5.60±0.24 <sup>b</sup>	0.21	0.209
	10	5.4±0.42	5.43±0.22	5.79±0.51	0.13	
磷酸果糖激酶/(U/g) PFK	5	401.86±36.67	410.82±58.18	451.57±33.60	14.22	0.300
	10	408.29±19.93 <sup>b</sup>	361.29±31.92 <sup>a</sup>	376.3±11.17 <sup>ab</sup>	9.53	
丙酮酸激酶/(U/g) PK	5	414.56±53.30 <sup>a</sup>	462.29±29.25 <sup>a</sup>	546.44±38.34 <sup>b</sup>	22.69	0.012
	10	465.17±45.89 <sup>b</sup>	468.74±62.38 <sup>b</sup>	411.14±43.39 <sup>a</sup>	17.48	
磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶/(U/g) PEPCK	5	1.33±0.20	1.45±0.23	1.54±0.05	0.06	0.894
	10	1.38±0.12	1.44±0.15	1.5±0.13	0.04	
1, 6-二磷酸果糖酶/(U/g) FBPase	5	7.39±1.11	7.35±1.41	9.13±0.35	0.42	0.260
	10	7.81±1.05	7.46±0.89	7.78±0.27	0.24	
6-磷酸葡萄糖酶/(U/g) G6Pase	5	42.29±2.50	36.92±3.58	45.44±1.77	1.47	0.054
	10	45.12±2.61	41.56±2.26	42.16±2.65	0.91	

性随饲料淀粉水平的升高而升高( $P<0.05$ ), 在淀粉水平为30%时最大(5.60 U/g), 显著高于最低值 5.22 U/g; 在饲料脂肪水平为10%时, PFK活性在10%淀粉水平最高, 为408.26 U/g, 显著高于20%淀粉水平( $P<0.05$ ), 与30%淀粉水平无显著差异( $P>0.05$ )。另外在饲料脂肪水平为5%时, PK活性随着小麦淀粉水平的升高而升高( $P<0.05$ ), 在30%小麦淀粉水平活性最大为546.44 U/g; 但是在脂肪水平为10%时, 30%淀粉水平的PK活性显著低于10%和20%淀粉水平( $P<0.05$ ), 在30%淀粉水平时活性最低为411.14 U/g。

### 3 讨论

#### 3.1 小麦淀粉和脂肪水平对大黄鱼生长性能、饲料利用和形态学指标的影响

糖类和脂肪均是鱼类重要的能源和结构物质, 但鱼体对糖类的消化率通常低于脂肪<sup>[1]</sup>。已有的研究表明, 鱼类对糖类和脂类的利用存在种的特异性, 肉食性鱼类通常利用脂类作为能量来源, 而草食性鱼类利用糖类的能力要高于肉食性鱼类。当饲料中添加适量的糖类时, 可以促进鱼类的生长, 提高饲料效率<sup>[7]</sup>。本研究发现, 饲料小麦淀粉和脂肪水平对大黄鱼增重

率和特定生长率无显著交互作用, 这与陈孟瑶<sup>[14]</sup>对尼罗罗非鱼的研究结果相同。在同一脂肪水平下, 大黄鱼的增重率和特定生长率随饲料淀粉水平升高而升高, 这与毛义波等<sup>[26]</sup>对斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)的研究结果相同, 与奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)<sup>[27]</sup>、吉富罗非鱼(GIFT *O. niloticus*)<sup>[28]</sup>和大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)<sup>[29]</sup>的研究结果不同, 造成这一差异的主要原因, 可能与不同种类的鱼对糖类的利用能力及饲料中添加的糖种类有关<sup>[17]</sup>。一些对糖利用能力较低的鱼, 饲料中过高的糖水平反而会降低鱼的生长速率<sup>[30-32]</sup>。一般认为鱼类摄食高水平糖类饲料后会引引起肝体比的上升<sup>[33-35]</sup>, 谭肖英等<sup>[29]</sup>对大口黑鲈的研究也证实了该结论, 本实验中饲料小麦淀粉水平对肝体比无显著影响, 与上述结果不一致, 说明大黄鱼的耐糖能力较强; 另外当鱼类摄入过多的脂肪, 也会导致肝体比的增加<sup>[35]</sup>, 本实验中饲料脂肪水平对肝体比无显著影响, 这与对大西洋鲑(*Salmo salar*)<sup>[36]</sup>、黑线鳕(*Melanogrammus aeglefinus*)<sup>[37]</sup>及瓦氏黄颡鱼<sup>[38]</sup>等鱼类的研究结果相符, 说明大黄鱼可能将肝脏中过量的脂肪储存在腹腔中<sup>[39]</sup>, 减少肝细胞脂肪的储存量。

### 3.2 不同小麦淀粉和脂肪水平对大黄鱼全鱼组成成分的影响

通过对鱼体成分的分析能很好地反映鱼类对饲料营养物质的沉积情况<sup>[23]</sup>。研究表明,随着饲料中糖类含量的增加,鱼类脂肪含量会显著提高<sup>[40]</sup>,吴凡等<sup>[27]</sup>对奥尼罗非鱼的研究也表明,随着饲料中糖水平的升高,全鱼粗脂肪含量显著升高。但是在本实验中,在5%饲料脂肪水平下,大黄鱼体脂肪含量随着饲料淀粉水平的增加而降低,在10%脂肪水平下,10%小麦淀粉组的粗脂肪含量显著高于20%小麦淀粉组,这与在草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)<sup>[41]</sup>、黄鳍鲷(*Sparus latus*)<sup>[31]</sup>、南亚野鲮(*Labeo rohita*)<sup>[5]</sup>中的研究结果一致,说明高糖含量饲料会促使大黄鱼体脂肪的消耗,其原因有待进一步研究。一般在摄食高脂肪水平饲料后,鱼未消化的剩余脂肪会沉积在鱼体组织中,造成鱼体粗脂肪的含量增加<sup>[6, 35, 42]</sup>,许多研究结果也显示,饲料脂肪的升高能促进鱼体脂肪的沉积<sup>[10, 43-44]</sup>,这与本实验结果相符,在同一小麦淀粉水平下,饲料脂肪水平为10%组的鱼体粗脂肪含量显著高于5%组。另外在本实验中,大黄鱼的体水分和粗蛋白含量不受饲料中淀粉和脂肪水平的影响,说明在饲料营养成分变化不大时,大黄鱼的水分和蛋白含量相对稳定,这与Dosoretz等<sup>[45]</sup>和Ellis等<sup>[46]</sup>的研究相符。

鱼类在摄入饲料糖分后,有一部分会以糖原的形式储存在肝脏和肌肉中<sup>[47]</sup>。在对虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)的研究中发现,肝糖原含量与饲料中的糖水平呈正相关<sup>[48]</sup>,窦兵帅等<sup>[49]</sup>在对鲈(*Lateolabrax japonicus*)的研究中发现,饲料糖能显著增加肝糖原的含量,但随着糖水平的持续升高,肝糖原趋于稳定。本实验中,在5%脂肪水平下,肝糖原含量随小麦淀粉水平的升高而先降低后升高,肌糖原含量随小麦淀粉水平的升高而降低,但在10%脂肪水平下,肝糖原、肌糖原含量均随淀粉水平的升高呈先降低后上升的趋势,这说明饲料脂肪水平较低时,大黄鱼趋于利用糖类转化为肝糖原,并利用肌糖原为机体运动提供能量,而当饲料中脂肪含量升高时,大黄鱼更容易利用脂肪氧化供能,而糖类会以糖原的形式储存于肝脏和肌肉中。

### 3.3 不同小麦淀粉和脂肪水平对大黄鱼血清生化指标和酶活性的影响

动物的血液组成成分的变化在一定程度上

能够反映动物健康状态<sup>[50]</sup>。Li等<sup>[44]</sup>和Regost等<sup>[51]</sup>分别对团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)和大菱鲆(*Psetta maxima*)进行研究,发现随着饲料脂肪水平的升高,血液中甘油三酯含量升高,说明鱼体为了应对高脂饲料,加强了对脂肪的运输,提高了对脂肪的吸收能力。在本实验中,饲料脂肪水平5%时血液甘油三酯的含量略低于脂肪水平10%,同上述结果相符,大黄鱼通过增加甘油三酯的含量来提高脂肪的运输能力。但在脂肪水平相同时,甘油三酯含量随小麦淀粉水平的升高而降低,这表明随着糖水平的升高,鱼体减少了对脂肪的吸收,这可能因为鱼体在高糖水平下,减少了对脂肪的需求,而利用糖来提供能量。在脂肪水平为5%时,血糖水平均随着小麦淀粉水平的升高而先降低后升高,在10%脂肪水平时,血糖水平随着小麦淀粉水平的升高而降低。研究表明,血糖含量随饲料中糖水平的升高而升高<sup>[52-54]</sup>,这与本实验结果不同,可能由于本实验在取样前停止投喂24 h,因此血糖可能已经恢复到平均水平,导致了血糖与饲料糖水平的不一致。血液中总蛋白含量一定程度上代表机体生理和肝脏代谢功能,当肝脏发生病变时,肝细胞合成蛋白质的功能减弱,血液总蛋白含量会减少<sup>[55]</sup>。在本实验中,血液总蛋白含量随淀粉水平的升高有降低的趋势,这与王猛强等<sup>[16]</sup>的研究结果相似,可能原因是过高的淀粉水平造成了肝功能障碍,从而引起血液总蛋白含量降低。另外本实验中,血液的谷丙转氨酶、谷草转氨酶与总胆固醇均无显著差异。

### 3.4 不同小麦淀粉和脂肪水平对大黄鱼消化酶活性的影响

本实验中,在相同小麦淀粉水平下(10%、20%和30%),脂肪水平10%组的脂肪酶活性显著高于5%组。因为饲料中脂肪水平的升高,促进了鱼体对脂肪的消化。有研究认为,鱼类淀粉酶活性主要由遗传因素决定,糖对其活性没有影响<sup>[56-58]</sup>。本实验各处理组的淀粉酶活性均无显著差异,与上述观点一致。

### 3.5 不同小麦淀粉和脂肪水平对大黄鱼糖代谢酶活性的影响

在鱼类糖代谢过程中,有糖酵解、糖异生、三羧酸循环、磷酸戊糖途径、糖原合成和降解等过程,其中糖酵解和糖异生是最主要的



糖类代谢途径<sup>[14]</sup>。已有研究表明, 鱼类肝脏糖酵解酶的活性与饲料糖水平呈正相关<sup>[59-61]</sup>。在饲料脂肪水平为5%时, GK和PK活性随饲料淀粉水平的升高而升高, 这与罗非鱼<sup>[23]</sup>、翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaeformis*)<sup>[62]</sup>的研究结果相符, 而在饲料脂肪水平为10%时, 饲料淀粉水平对GK活性无显著影响, 30%淀粉水平下的PK活性显著低于10%和20%淀粉水平, 说明在饲料脂肪水平较低时, 大黄鱼会消化分解糖类, 以提供能量, 而在饲料脂肪水平较高时, 会优先利用脂肪分解供能。但在相同小麦淀粉水平下, 3种糖酵解酶活性与不同脂肪水平无相关性, 这说明糖酵解酶活性不受饲料中脂肪水平变化的影响。

本实验中FBPase、G6Pase和PEPCK, 在各组的活性均无显著差异。在对大西洋鲑、金头鲷(*Sparus aurata*)、虹鳟中的研究表明, FBPase与G6Pase活性不受饲料中糖与脂肪的影响<sup>[63]</sup>, 与本实验结果一致。但Panserat等<sup>[64]</sup>在对鲤的研究却表明, 高糖能抑制PEPCK的活性, 与本实验结果不一致。从本实验结果看来, 糖异生酶活性稳定性较高, 不受饲料糖与脂肪水平变化的影响。

#### 4 结论

本研究表明, 与饲料脂肪水平在10%时相比, 在饲料脂肪水平为5%时, 大黄鱼能够通过调节肝脏糖酵解关键酶活性及肝糖原含量来维持其血糖含量的平衡, 从而使饲料中的淀粉得到有效利用, 并促进大黄鱼的生长。

#### 参考文献:

- [1] 孙瑞健, 徐玮, 米海峰, 等. 饲料脂肪水平和投喂频率对大黄鱼生长、体组成及脂肪沉积的影响[J]. 水产学报, 2015, 39(3):401-409.  
Sun R J, Xu W, Mi H F, *et al.* Effects of dietary lipid level and feeding frequency on growth, body composition and lipid deposition in juvenile large yellow croaker(*Larimichthys crocea*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(3):401-409(in Chinese).
- [2] 全成干, 王军, 丁少雄, 等. 养殖大黄鱼生化组份的分析[J]. 台湾海峡, 2000, 19(2): 197-200.  
Quan C G, Wang J, Ding S X, *et al.* Biochemical compositions of farmed *Pseudosciaena crocea*[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2000, 19(2): 197-200(in Chinese).
- [3] 林利民, 王秋荣, 王志勇, 等. 不同家系大黄鱼肌肉营养成分的比较[J]. 中国水产科学, 2006, 13(2): 286-291.  
Lin L M, Wang Q R, Wang Z Y, *et al.* Comparison of biochemical compositions of muscle among three stocks and wild-caught large yellow croaker *Pseudosciaena crocea*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(2): 286-291(in Chinese).
- [4] 何志刚, 艾庆辉, 麦康森. 大黄鱼营养需求研究进展[J]. 饲料工业, 2010, 31(24): 56-59.  
He Z G, Ai Q H, Mai K S. Advances in nutrition and feed for large yellow croaker[J]. Feed Industry, 2010, 31(24): 56-59(in Chinese).
- [5] Erfanullah, Jafri A K. Protein-sparing effect of dietary carbohydrate in diets for fingerling *Labeo rohita*[J]. Aquaculture, 1995, 136(3-4): 331-339.
- [6] 罗毅平, 谢小军. 鱼类利用碳水化合物研究进展[J]. 中国水产科学, 2010, 17(2): 381-390.  
Luo Y P, Xie X J. Progress of carbohydrate utilization in fish[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(2): 381-390(in Chinese).
- [7] 蒋阳阳. 不同蛋白质、脂肪和糖水平对团头鲂幼鱼生长性能、体组成和生理生化指标的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.  
Jiang Y Y. Growth performance, body composition and metabolic responses of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) yearlings fed practical diets differing in protein, lipid and carbohydrate levels[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012(in Chinese).
- [8] Erfanullah, Jafri A K. Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratio on growth and body composition of walking catfish (*Clarias batrachus*)[J]. Aquaculture, 1998, 161(1): 159-168.
- [9] Tan Q, Xie S, Zhu X, *et al.* Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth and feed utilization in Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther)[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2007, 23(5): 605-610.
- [10] Chou B S, Shiau S Y. Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus*×*Oreochromis aureus*[J]. Aquaculture, 1996, 143(2): 185-195.
- [11] 张世亮, 艾庆辉, 徐玮, 等. 饲料中糖/脂肪比例对瓦氏黄颡鱼生长、饲料利用、血糖水平和肝脏糖酵解酶活力的影响[J]. 水生生物学报, 2012, 36(3):466-473.  
Zhang S L, Ai Q H, Xu W, *et al.* Effects of dietary carbohydrate to lipid ratio on growth, feed utilization, plasma glucose and glycolytic enzyme activities of juvenile darkbarbel catfish, *Pelteobagrus vachelli*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2012, 36(3):466-473(in Chinese).

- [12] 刘襄河, 叶超霞, 沈碧端, 等. 饲料中糖/脂肪比对暗纹东方鲀幼鱼生长、血液指标、肝代谢酶活性及PEPCK基因表达的影响[J]. 水产学报, 2014, 38(8):1149-1158.  
Liu X H, Ye C X, Shen B D, *et al.* Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratio on growth, blood biochemical indices, hepatic metabolic enzymes and PEPCK gene expression of juvenile obscure puffer (*Takifugu obscurus*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(8):1149-1158(in Chinese).
- [13] 王菲, 李向飞, 李贵锋, 等. 不同糖脂比对建鲤幼鱼生长、体组成、消化及糖酵解能力的影响[J]. 水产学报, 2015, 39(9):1386-1394.  
Wang F, Li X F, Li G F, *et al.* Effects of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth, body composition, digestion and glycolysis of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *jian*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(9):1386-1394(in Chinese).
- [14] 陈孟瑶. 饲料中不同淀粉, 蛋白质和脂肪水平对罗非鱼生长及生理生化指标的影响[D]. 厦门: 集美大学, 2014.  
Chen M Y. Effects of different dietary starch, protein and lipid levels on the growth and physiological and biochemical responses of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[D]. Xiamen: Jimei University, 2014(in Chinese).
- [15] 李会涛, 麦康森, 艾庆辉, 等. 大黄鱼对几种饲料蛋白原料消化率的研究[J]. 水生生物学报, 2007, 31(3): 370-376.  
Li H T, Mai K S, Ai Q H, *et al.* Apparent digestibility of selected protein ingredients for larger yellow croaker *Pseudosciaena crocea*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2007, 31(3): 370-376(in Chinese).
- [16] 王猛强, 周飘苹, 黄文文, 等. 不同蛋白质水平下葡萄糖添加水平对大黄鱼生长性能、糖酵解和糖异生关键酶活性的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(8): 2431-2442.  
Wang M Q, Zhou P P, Huang W W, *et al.* Effects of glucose supplemental level at different protein levels on growth performance, hepatic glycolysis and gluconeogenic key enzyme activities of large yellow croaker (*Larimichthys crocea* Richardson)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(8): 2431-2442(in Chinese).
- [17] 王猛强, 黄文文, 周飘苹, 等. 不同蛋白质和小麦淀粉水平对大黄鱼生长性能、糖酵解和糖异生关键酶活性的影响[J]. 水产学报, 2015, 39(11): 1690-1701.  
Wang M Q, Huang W W, Zhou P P, *et al.* Effects of dietary protein and wheat starch levels on growth performance, hepatic glycolysis and gluconeogenic key enzymes activities in large yellow croaker (*Larimichthys crocea* Richardson)[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(11): 1690-1701(in Chinese).
- [18] 张帆. 大黄鱼(*Pseudosciaena crocea* R.)脂类营养生理和饲料替代蛋白源的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.  
Zhang F. Lipid requirement and fishmeal replacement in diets of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R.[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012(in Chinese).
- [19] 林淑琴. 不同生长阶段大黄鱼的蛋白质和蛋/能比营养研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.  
Lin S Q. Effects of dietary protein levels and its ratio to energy on growth performances and metabolic responses of large yellow croaker at different stages[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013(in Chinese).
- [20] 何志刚. 大黄鱼(*Pseudosciaena crocea* R.)和鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)苏氨酸和苯丙氨酸营养生理研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.  
He Z G. Studies on nutritional physiology of threonine and phenylalanine for the large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R. and Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008(in Chinese).
- [21] 申屠基康. 大黄鱼对21种饲料原料表观消化率及色氨酸营养需要研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.  
Shentu J K. Apparent digestibility coefficient of 21 feed ingredients and dietary tryptophan requirement for the large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010(in Chinese).
- [22] 周飘苹, 金敏, 吴文俊, 等. 不同养殖模式、投喂不同饵料及不同品系大黄鱼营养成分比较[J]. 动物营养学报, 2014, 26(4): 969-980.  
Zhou P P, Jin M, Wu W J, *et al.* Comparison of nutrient components of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea* Richardson) cultured in different models, fed different feeds and from different strains[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(4): 969-980(in Chinese).
- [23] Mai K S, Wan J L, Ai Q H, *et al.* Dietary methionine

- requirement of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R[J]. *Aquaculture*, 2006, 253(1-4): 564-572.
- [24] Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of AOAC international[M]. 16th ed. Arlington: AOAC International, 1995.
- [25] Hassid W Z, Abraham S. Chemical procedures for analysis of polysaccharides[J]. *Methods in Enzymology*, 1957, 3: 34-50.
- [26] 毛义波, 刘泓宇, 谭北平, 等. 饲料碳水化合物水平及饥饿处理对斜带石斑鱼生长及葡萄糖耐受能力的影响[J]. *水产学报*, 2014, 38(4): 550-559.  
Mao Y B, Liu H Y, Tan B P, *et al.* Effects of different dietary carbohydrate levels and starvation on growth and glucose tolerance ability in grouper (*Epinephelus coioides*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(4): 550-559(in Chinese).
- [27] 吴凡, 文华, 蒋明, 等. 饲料碳水化合物水平对奥尼罗非鱼幼鱼生长、体成分和血清生化指标的影响[J]. *华南农业大学学报*, 2011, 32(4): 91-95.  
Wu F, Wen H, Jiang M, *et al.* Effects of different dietary carbohydrate levels on growth performance, body composition and serum biochemical indices of juvenile hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus*♀×*O. aureus*♂)[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2011, 32(4): 91-95(in Chinese).
- [28] 吴凡, 文华, 蒋明, 等. 饲料碳水化合物水平对吉富罗非鱼幼鱼生长性能和血液主要生化指标的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2012, 40(12): 8-14.  
Wu F, Wen H, Jiang M, *et al.* Effects of different dietary carbohydrate levels on growth performance and blood biochemical parameters of juvenile GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2012, 40(12): 8-14(in Chinese).
- [29] 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(S1): 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 (Natural Science Edition)*, 2005, 44(S1): 258-263(in Chinese).
- [30] Hilton J W, Atkinson J L. Response of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) to increased levels of available carbohydrate in practical trout diets[J]. *British Journal of Nutrition*, 1982, 47(3): 597-607.
- [31] Hu Y H, Liu Y J, Tian L X, *et al.* Optimal dietary carbohydrate to lipid ratio for juvenile yellowfin seabream (*Sparus latus*)[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2007, 13(4): 291-297.
- [32] Ren M C, Ai Q H, Mai K S, *et al.* Effect of dietary carbohydrate level on growth performance, body composition, apparent digestibility coefficient and digestive enzyme activities of juvenile cobia, *Rachycentron canadum* L. [J]. *Aquaculture Research*, 2011, 42(10): 1467-1475.
- [33] 蔡春芳, 陈立侨, 叶元土, 等. 日粮糖种类和水平对青鱼生长性能和生理指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2009, 21(2): 212-218.  
Cai C F, Chen L Q, Ye Y T, *et al.* Effects of kind and level of dietary carbohydrate on growth performance and physiological indices of juvenile black carp (*Mylopharyngodon piceus* Richardson)[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2009, 21(2): 212-218(in Chinese).
- [34] Deng D F, Refstie S, Hung S S O. Glycemic and glycosuric responses in white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) after oral administration of simple and complex carbohydrates[J]. *Aquaculture*, 2001, 199(1-2): 107-117.
- [35] Wang J T, Liu Y J, Tian L X, *et al.* Effect of dietary lipid level on growth performance, lipid deposition, hepatic lipogenesis in juvenile cobia (*Rachycentron canadum*)[J]. *Aquaculture*, 2005, 249(1-4): 439-447.
- [36] Helland S J, Grisdale-Helland B. The influence of replacing fish meal in the diet with fish oil on growth, feed utilization and body composition of Atlantic salmon (*Salmo salar*) during the smoltification period[J]. *Aquaculture*, 1998, 162(1-2): 1-10.
- [37] Nanton D A, Lall S P, McNiven M A. Effects of dietary lipid level on liver and muscle lipid deposition in juvenile haddock, *Melanogrammus aeglefinus* L.[J]. *Aquaculture Research*, 2001, 32(S1): 225-234.
- [38] 袁立强, 马旭洲, 王武, 等. 饲料脂肪水平对瓦氏黄颡鱼生长和鱼体色的影响[J]. *上海水产大学学报*, 2008, 17(5): 577-584.  
Yuan L Q, Ma X Z, Wang W, *et al.* Effects of dietary lipid levels on growth and body pigmentation of

- darkbarbel catfish (*Pelteobagrus vachelli* Richardson)[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2008, 17(5): 577-584(in Chinese).
- [39] 覃川杰, 陈立桥, 李二超, 等. 饲料脂肪水平对鱼类生长及脂肪代谢的影响[J]. 水产科学, 2013, 32(8): 485-491.
- Qin C J, Chen L Q, Li E C, *et al.* Effects of dietary lipid levels on growth and lipid metabolism in fish[J]. Fisheries Science, 2013, 32(8): 485-491(in Chinese).
- [40] Ai Q H, Xie X J. Effects of dietary soybean protein levels on metabolic response of the southern catfish, *Silurus meridionalis*[J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2006, 144(1): 41-47.
- [41] Gao W, Liu Y J, Tian L X, *et al.* Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth performance, body composition, nutrient utilization and hepatic enzymes activities of herbivorous grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)[J]. Aquaculture Nutrition, 2010, 16(3): 327-333.
- [42] Peres H, Oliva-Teles A. Effect of dietary lipid level on growth performance and feed utilization by European sea bass juveniles (*Dicentrarchus labrax*)[J]. Aquaculture, 1999, 179(1-4): 325-334.
- [43] Martino R C, Cyrino J E P, Portz L, *et al.* Effect of dietary lipid level on nutritional performance of the surubim, *Pseudoplatystoma coruscans*[J]. Aquaculture, 2002, 209(1-4): 209-218.
- [44] 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.
- [45] Dosoretz C, Degani G. Effect of fat rich diet and temperature on growth and body composition of European eels (*Anguilla anguilla*)[J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Physiology, 1987, 87(3): 733-736.
- [46] Ellis S C, Reigh R C. Effects of dietary lipid and carbohydrate levels on growth and body composition of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*[J]. Aquaculture, 1991, 97(4): 383-394.
- [47] 蔡春芳, 陈立桥. 鱼类对糖的代谢[J]. 水生生物学报, 2008, 32(4): 592-597.
- Cai C F, Chen L Q. The metabolism of dietary carbohydrate by fish[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2008, 32(4): 592-597(in Chinese).
- [48] Kim J D, Kaushik S J. Contribution of digestible energy from carbohydrates and estimation of protein/energy requirements for growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Aquaculture, 1992, 106(2): 161-169.
- [49] 窦兵帅, 梁萌青, 郑珂珂, 等. 饲料中碳水化合物水平对鲈鱼生长、生理状态参数及体组成的影响[J]. 渔业科学进展, 2014, 35(1): 46-54.
- Dou B S, Liang M Q, Zheng K K, *et al.* Effects of dietary carbohydrate level on growth, physiology and body composition of Japanese seabass *Lateolabrax japonicus*[J]. Progress in Fishery Sciences, 2014, 35(1): 46-54(in Chinese).
- [50] Djangmah J S. The effects of feeding and starvation on copper in the blood and hepatopancreas, and on blood proteins of *Crangon vulgaris* (fabricius)[J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Physiology, 1970, 32(4): 709-IN5-731-IN8.
- [51] Regost C, Arzel J, Cardinal M, *et al.* Dietary lipid level, hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot (*Psetta maxima*)[J]. Aquaculture, 2001, 193(3-4): 291-309.
- [52] Bergot F. Effects of dietary carbohydrates and of their mode of distribution on glycaemia in rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson)[J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Physiology, 1979, 64(4): 543-547.
- [53] Brauge C, Corraze G, Médale F. Effects of dietary levels of carbohydrate and lipid on glucose oxidation and lipogenesis from glucose in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, reared in freshwater or in seawater[J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Physiology, 1995, 111(1): 117-124.
- [54] Stone D A J. Dietary carbohydrate utilization by fish[J]. Reviews in Fisheries Science, 2003, 11(4): 337-369.
- [55] 缪凌鸿, 刘波, 戈贤平, 等. 高碳水化合物水平日粮对异育银鲫生长、生理、免疫和肝脏超微结构的影响[J]. 水产学报, 2011, 35(2): 221-230.
- Miao L H, Liu B, Ge X P, *et al.* Effect of high carbohydrate levels in the dietary on growth performance, immunity and transmission electron microscopy (TEM) on hepatic cell of allogynogenetic crucian carp (*Carassius auratus gibelio*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(2): 221-230(in Chinese).
- [56] Moyano F J, Díaz M, Alarcón F J, *et al.* Characterization

- of digestive enzyme activity during larval development of gilthead seabream (*Sparus aurata*)[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 1996, 15(2): 121-130.
- [57] German D P, Horn M H, Gawlicka A. Digestive enzyme activities in herbivorous and carnivorous prickleback fishes (Teleostei: Stichaeidae): ontogenetic, dietary, and phylogenetic effects[J]. *Physiological and Biochemical Zoology*, 2004, 77(5): 789-804.
- [58] Drewe K E, Horn M H, Dickson K A, *et al.* Insectivore to frugivore: ontogenetic changes in gut morphology and digestive enzyme activity in the characid fish *Brycon guatemalensis* from Costa Rican rain forest streams[J]. *Journal of Fish Biology*, 2004, 64(4): 890-902.
- [59] Panserat S, Blin C, Médale F, *et al.* Molecular cloning, tissue distribution and sequence analysis of complete glucokinase cDNAs from gilthead seabream (*Sparus aurata*), rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and common carp (*Cyprinus carpio*)[J]. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 2000, 1474(1): 61-69.
- [60] Shimeno S, Takeda M, Takayama S, *et al.* Adaptation of hepatopancreatic enzymes to dietary carbohydrate in carp[J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1981, 47(1): 71-77.
- [61] Suárez M D, Sanz A, Bazoco J, *et al.* Metabolic effects of changes in the dietary protein: carbohydrate ratio in eel (*Angilla anguilla*) and trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. *Aquaculture International*, 2002, 10(2): 143-156.
- [62] 戈贤平, 刘波, 谢骏, 等. 饲料中不同碳水化合物水平对翘嘴红鲌生长及血液指标和糖代谢酶的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2007, 30(3): 88-93.
- Ge X P, Liu B, Xie J, *et al.* Effect of different carbohydrate levels of dietary on growth, plasma biochemical indices and hepaticpancreas carbohydrate metabolic enzymes in topmouth culter (*Erythroculter ilishaeformis* Bleeker)[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2007, 30(3): 88-93(in Chinese).
- [63] Caseras A, Metón I, Vives C, *et al.* Nutritional regulation of glucose-6-phosphatase gene expression in liver of the gilthead sea bream (*Sparus aurata*)[J]. *British Journal of Nutrition*, 2002, 88(6): 607-614.
- [64] Panserat S, Plagnes-Juan E, Kaushik S. Gluconeogenic enzyme gene expression is decreased by dietary carbohydrates in common carp (*Cyprinus carpio*) and gilthead seabream (*Sparus aurata*)[J]. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Gene Structure and Expression*, 2002, 1579(1): 35-42.

## Effects of different wheat starch and lipid levels on growth performance, feed utilization and hepatic carbohydrate metabolism key enzymes activities in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)

LU You, ZHOU Piaoping, YUAN Ye, MA Hongna, ZHOU Qicun\*

(Laboratory of Fish Nutrition, School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

**Abstract:** An 8-week feeding trial was conducted to evaluate the effects of different dietary wheat starch and lipid levels on growth performance, feed utilization and hepatic glycolysis and gluconeogenic key enzyme activities of large yellow croaker. Six isonitrogenous diets were formulated to contain three wheat starch levels (5%, 10% and 30%) and two lipid levels (5% and 10%), respectively. Each diet was randomly assigned to feed three replicate groups of juvenile large yellow croakers with the initial weight of  $6.75 \pm 0.12$  g and fed twice daily to apparent satiation. The results indicated that dietary wheat starch and lipid levels didn't have significant influence on weight gain (WG), specific growth rate (SGR), feed efficiency (FE), survival rate (SR), hepatosomatic index (HSI) and condition factor (CF), however, viscerosomatic index (VSI) were significantly influenced by the dietary wheat starch and lipid levels. When the dietary lipid level was the same, fish fed the diet containing 30% wheat starch level had higher WG and SGR than those fed the diet containing 10% wheat starch. Glycogen content in muscle was significantly affected by dietary wheat starch and lipid levels, but hepatic glycogen content wasn't significantly influenced by dietary different wheat starch and lipid levels. When dietary lipid level was 5%, fish fed the diet containing 30% wheat starch level had significantly higher hepatic glycogen content than those fed the 10% and 20% wheat starch diets; while, fish fed the diet containing 10% wheat starch had higher glycogen content in muscle than those fed the diets containing 20% and 30% wheat starch levels. When the dietary lipid level was 10%, fish fed 10% wheat starch level had significantly higher hepatic glycogen content than those fed 20% and 30% wheat starch diets; fish fed 30% wheat starch level had significantly higher glycogen content in muscle than those fed 10% and 20% wheat starch diets. Glutamic-pyruvic transaminase (ALT), glutamic-oxalacetic transaminase (AST), total cholesterol (TC) and glucose (GLU) were not significantly influenced by dietary wheat starch and lipid levels. However, total protein (TP) and triglyceride (TG) were significantly influenced by different dietary wheat starch and lipid levels. Lipase activity was significantly influenced by dietary wheat starch and lipid levels, when the dietary lipid level was the same, the lipase activity increased significantly with the increase of wheat starch level; fish fed the diet containing 10% lipid level had higher lipase activity than fish fed the 5% lipid level diet. The interaction of dietary wheat starch and lipid levels had significant effects on pyruvate kinase (PK), while there were no significant effects on activities of glucokinase (GK), phosphofructokinase (PFK), phosphoenolpyruvate carboxykinase (PEPCK), fructose-1,6-bisphosphatase (FBPase) and glucose-6-phosphatase (G6Pase). The results showed that when the dietary lipid level was 5%, large yellow croaker had the ability to maintain blood glucose content by adjusting the hepatic glycolysis key enzymes activities with increase of wheat starch supplemental level.

**Key words:** *Larimichthys crocea*; wheat starch; lipid; growth performance; feed utilization; glucose metabolism; enzymes activities

**Corresponding author:** ZHOU Qicun. E-mail: zhouqicun@nbu.edu.cn

**Funding projects:** National Natural Science Foundation of China (31272670); Major Agricultural Scientific and Technological Special Project of Ningbo, China (2012C10025); Collaborative and Innovation Projects of Zhejiang in 2011; First Level Discipline Construction Projects of Zhejiang