

文章编号 :1000 - 0615( 2006 )04 - 0502 - 07

## 鱼肉水解蛋白对大黄鱼稚鱼存活、生长以及体组成的影响

刘 峰, 麦康森, 艾庆辉, 段青源, 徐 玮,  
谭北平, 张文兵, 马洪明, 刘付志国

( 中国海洋大学教育部海水养殖重点实验室, 山东 青岛 266003 )

**摘要** 以初始体重(  $1.6 \pm 0.18$  ) mg 的大黄鱼( *Pseudosciaena crocea* Richardson )稚鱼( 12 日龄 )为实验对象, 在室内水族箱中进行为期 30 d 的摄食生长实验。以白鱼粉为主要蛋白源, 通过双酶水解制得鱼肉水解蛋白( FPH, 粗蛋白 72% ), 分别以鱼肉水解蛋白替代 0%、25%、50% 和 75% 的鱼粉蛋白配制出 4 种等氮等能的实验微颗粒饲料, 同时, 以生物饵料( 冷藏桡足类 )为对照组, 研究饲料中不同鱼肉水解蛋白对大黄鱼存活、生长以及体组成的影响。实验结果表明, 当以 FPH 替代 25% 的鱼粉蛋白时, 其存活率( 32.6% )显著高于其余的各替代水平(  $P < 0.05$  ), 但与生物饵料组( 33.2% )之间差异不显著(  $P > 0.05$  )。随着饲料中 FPH 替代水平的升高, 实验鱼的特定增长率( SGR )逐渐下降, 但当替代水平为 25% 时, 其 SGR(  $10.5\% \text{ day}^{-1}$  )与全鱼粉组(  $10.4\% \text{ day}^{-1}$  )和生物饵料组(  $10.3\% \text{ day}^{-1}$  )之间没有出现显著差异(  $P > 0.05$  )。体成分分析结果表明随着饲料中 FPH 替代水平的升高, 鱼体干物质、粗蛋白和粗脂肪含量均有显著降低(  $P < 0.05$  )的趋势。脂肪酸的分析结果也表明随着饲料中 FPH 升高, 鱼体的二十碳五烯酸( EPA )、二十二碳六烯酸( DHA )含量均有显著降低的趋势(  $P < 0.05$  )。本研究结果表明以适宜水平的鱼肉水解蛋白替代鱼粉蛋白, 将显著提高大黄鱼稚鱼存活率, 可能有利于其生长, 而过高的替代水平则起到阻碍作用。在大黄鱼微颗粒饲料中 FPH 替代鱼粉蛋白在 0% ~ 25% 之间是否能更有利于大黄鱼稚鱼的存活、生长和发育尚有待于进一步研究。

**关键词** 大黄鱼 稚鱼 鱼肉水解蛋白( FPH ) 微粘合饲料 生长 营养与饲料

中图分类号 S 963 文献标识码 A

## Effects of dietary fish protein hydrolysate levels on growth , survival and body composition of larvae in *Pseudosciaena crocea*

LIU Feng , MAI Kang-sen , AI Qing-hui , DUAN Qing-yuan , XU Wei ,  
TAN Bei-ping , ZHANG Wen-bing , MA Hong-ming , LIUFU Zhi-guo

( Key Laboratory of Mariculture , Education Ministry of China , Ocean University of China , Qingdao 266003 , China )

**Abstract** A 30-day feeding experiment was conducted in tanks to investigate the effects of dietary fish protein hydrolysate ( FPH ) levels on the growth , survival and body composition of large yellow croaker ( *Pseudosciaena crocea* Richardson ) larvae [ 12 days after hatchery , with initial average weight (  $1.6 \pm 0.18$  ) mg ]. FPH was produced by hydrolyzing fish with two protease. Five practical diets were used in the present study. Four microdiets ( MD ), with FPH replacing 0% , 25% , 50% and 75% of fish meal protein , were formulated. The frozen copepods were used as a control diet. The results showed that dietary FPH levels significantly influenced the growth , survival and body composition of large yellow croaker larvae. With increasing dietary FPH , the specific growth rates ( SGRs ) and survival of large yellow croaker significantly decreased (  $P < 0.05$  ). While the survival ( 32.6% ) in fish fed the diet

收稿日期 2005-10-20

资助项目 国家自然科学基金( 30400335 )和 863 计划( 2004AA603610 )资助项目

作者简介 刘 峰( 1977 - )男, 辽宁沈阳人, 博士研究生, 主要从事鱼类营养生理方面研究。TEL 0532 - 82031950 ,E-mail : liufeng511

@126.com

通讯作者 麦康森, E-mail : kmai@ouc.edu.cn , Tel 0532 - 82032038

with 25% FPH replacing fish meal protein was significantly higher than other groups ( $P < 0.05$ ), but was not significantly different from that of the control diet group ( $P > 0.05$ ). The SGR ( $9.0\% \text{ day}^{-1}$ ) in fish fed the diet with 25% FPH replacing fish meal protein was not significantly different from the 0% FPH group. The body composition analysis showed that with increasing FPH, the whole body dry matter, crude protein and crude lipid significantly decreased ( $P < 0.05$ ). Analysis of whole body fatty acid showed that with increasing dietary FPH, DHA and EPA in fish body significantly decreased ( $P < 0.05$ ). Results from this study indicated that a proper replacement of fish meal with FPH in the microdiet of large yellow croaker larvae will improve survival, and excessive FPH will result in poor growth and low survival of the larvae.

**Key words:** *Pseudosciaena crocea*; larvae; fish protein hydrolysate; microbound diets; growth; nutrition and feed

水解蛋白作为一种新型蛋白源已在仔稚鱼微颗粒饲料中应用<sup>[1-3]</sup>。这些学者认为蛋白水解物有助于仔稚鱼消化系统对微颗粒饲料的消化和吸收,因此可以促进其生长,提高成活率。Zambonino 等<sup>[1]</sup>在舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)仔稚鱼饲料中添加 2~3 个氨基酸片段的小肽替代 20% 和 40% 的鱼粉蛋白,结果都显著促进了仔稚鱼的生长,提高了仔稚鱼存活率。Cahu 等<sup>[2]</sup>也在舌齿鲈仔稚鱼的研究中指出 25% 的鱼肉水解蛋白替代鱼粉蛋白促进了仔稚鱼的生长。Carvalho 等<sup>[3]</sup>的研究发现以鱼肉水解蛋白和酪蛋白(1:1)作为蛋白源时,鲤仔鱼得到最佳的生长结果。

大黄鱼(*Pseudosciaena crocea* Richardson)是我国主要的海水经济鱼类之一<sup>[4]</sup>。随着大黄鱼人工繁殖的成功,大黄鱼的养殖业已得到了大规模推广。目前,大黄鱼的育苗过程主要依靠生物饵料,而生物饵料存在供应不稳定、有时携带病原微生物以及营养不平衡等缺点<sup>[5]</sup>。因此,以人工微颗粒饲料替代生物饵料已势在必行。

围绕着大黄鱼人工微颗粒饲料的开发,有关大黄鱼仔稚鱼形态和营养生理的研究,已有了相关的报道。目前已展开的研究主要包括人工育苗条件下大黄鱼仔、稚和幼鱼的摄食与生长<sup>[6]</sup>;大黄鱼仔稚鱼阶段消化酶活性的研究<sup>[5]</sup>;大黄鱼稚鱼期微颗粒饲料配方的筛选;大黄鱼稚鱼蛋白质需求量的研究等。本研究是在已有研究的基础上,在大黄鱼稚鱼阶段人工微颗粒饲料中使用自制鱼肉水解蛋白,探讨不同比例 FPH 替代饲料中鱼粉蛋白饲喂大黄鱼稚鱼对其生长、存活及鱼体组成的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验用鱼及养殖系统

大黄鱼稚鱼购于福建省宁德市梅盛育苗场。实验在浙江宁波西泽育苗场实验基地进行。实验

稚鱼(12 日龄)平均体重( $1.6 \pm 0.18$ ) mg,体长( $7.10 \pm 0.31$ ) mm,畸形率 2.8%。分别放养在 15 只橙色塑料方桶(80 cm × 60 cm × 60 cm,体积 288 L)中,每桶放苗 4 000 尾。所有桶都悬挂于一水泥池(800 cm × 400 cm × 160 cm)中,养殖用水及池中水都是经双层沙滤的新鲜海水。水温在 21~24 °C,盐度为 25~28, pH 维持在 7.8~8.2 之间。白天水面光强控制在 1 000 lx 以下。

### 1.2 实验饲料

以低温白鱼粉、低温贻贝粉、低温虾粉为主要蛋白源,鱼油为脂肪源, $\alpha$  淀粉为主要糖源,并补充酵母粉、无机盐、维生素等配制出基础饲料。分别以鱼肉水解蛋白替代 0%、25%、50% 和 75% 的鱼粉蛋白配制成 4 种等氮等能的微颗粒饲料,分别称为饲料 1、饲料 2、饲料 3 和饲料 4(表 1)。微颗粒饲料水中溶失小,入水后 12 h 不溃散。稚鱼 12~25 日龄,应用实验饲料粒径范围为 150~250  $\mu\text{m}$ ,25 日龄以后应用粒径范围为 250~425  $\mu\text{m}$ 。实验饲料的制作采用微包膜工艺,饲料制作方法正在申请国家专利。以生物饵料(冷藏桡足类)作为实验对照饵料(饲料 5)。

### 1.3 鱼肉水解蛋白的制备

水解蛋白的制备参考 Buchmann 等<sup>[7]</sup>和 Mohr<sup>[8]</sup>的方法,采用双酶(胰蛋白酶和木瓜蛋白酶)水解法,以鳕鱼肉及鱼皮、鱼骨、鱼内脏等为原料,经多步处理后,冷冻干燥得淡黄色水解蛋白粉末。通过测定  $\alpha$ -氨基氮含量(甲醛滴定法),最终计算得鱼肉蛋白水解度在 60%。鱼肉水解蛋白粗蛋白含量为 72.0%(占干物质),粗脂肪的含量为 5.2%(占干物质)。

### 1.4 实验操作程序

仔鱼从 3 日龄开口到 10 日龄投喂轮虫,8 日龄到 11 日龄投喂卤虫无节幼体,实验用稚鱼从 9 日龄开始使用生物饵料与“日清”牌商业饲料联合投喂。4 组实验处理从 12 日龄起全部投喂实验配

表1 实验饲料配方及营养组成

Tab.1 Formulation and proximate chemical composition of experimental diets % 干物质 dry weight

原料% 干重 ingredient% dry weight	饲料编号(鱼肉水解蛋白水平) diet no.(FPH level)			
	饲料1 (0%)	饲料2 (25%)	饲料3 (50%)	饲料4 (75%)
低温白鱼粉 LT-white fish meal <sup>1</sup>	60.0	45.0	30.0	15.0
鱼肉水解蛋白 FPH <sup>2</sup>	0.0	15.0	30.0	45.0
低温虾粉 LT-shrimp meal	6.2	6.2	6.2	6.2
低温贻贝粉 LT-mussel meal	5.0	5.0	5.0	5.0
低温鱿鱼粉 LT-squid meal	8.5	8.5	8.5	8.5
酵母 yeast	2.0	2.0	2.0	2.0
明胶 gelatin	0.5	0.3	0.15	0
$\alpha$ -淀粉 $\alpha$ -starch	6.05	5.95	5.9	5.75
褐藻酸钠 sodium alginate	1.0	1.0	1.0	1.0
大豆磷脂 soybean lecithin	6.0	6.0	6.0	6.0
精制鱼油 fish oil	2.0	2.3	2.5	2.8
维生素混合物 vitaminm premix <sup>3</sup>	1.0	1.0	1.0	1.0
无机盐混合物 mineral premix <sup>4</sup>	1.0	1.0	1.0	1.0
胆碱 choline	0.2	0.2	0.2	0.2
甜菜碱 betaine	0.5	0.5	0.5	0.5
甘氨酸 glycine	0.05	0.05	0.05	0.05
营养组成% proximate composition				
粗蛋白质 crude protein	54.3	54.6	54.7	55.1
粗脂肪 crude lipid	12.7	13.2	12.8	12.9
灰分 ash	11.3	11.6	11.7	11.1
能量(KJ·g <sup>-1</sup> ) energy	16.5	16.6	16.6	16.7

注:1.低温白鱼粉 粗蛋白 70.9% 粗脂肪 6.9% (商业购买 俄罗斯);2.鱼肉水解蛋白 粗蛋白 72.0% 粗脂肪 5.2% (原料来自宁波海洋渔业公司);3.维生素混合物 (IU or g·kg<sup>-1</sup>预混物) 维生素A 3000 000 IU 维生素D<sub>3</sub> 1200 000 IU 维生素E 40.0 g 维生素K 8.0 g 维生素B<sub>1</sub> 5.0 g 核黄素 5.0 g 维生素B<sub>3</sub>(泛酸) 16.0 g 维生素B<sub>6</sub>(盐酸吡哆醇) 4.0 g 肌醇 200.0 g 生物素 8.0 g 叶酸 1.5 g 对氨基苯甲酸 5.0 g 烟酸 200 g 维生素B<sub>12</sub> 0.01 g; 维生素C 酯(25% Vc) 100.0 g;4.无机盐混合物(g·kg<sup>-1</sup>预混物) 磷酸二氢钙 675.0 g 硫酸钴 0.15 g 硫酸铜 5.0 g 硫酸铁 50.0 g 氯化钾 50.0 g 碘化钾 0.1 g 硫酸镁 101.7 g 硫酸锰 18.0 g 氯化钠 80.0 g 亚硒酸钠 0.05 g 硫酸锌 20.0 g

Notes:1. Low temperature-White fish meal: Contained 70.9% crude protein and 6.9% crude lipid (Commercially available from Russia);2. Fish protein hydrolysate: Contained 72.0% crude protein and 5.2% crude lipid (Raw material from Ningbo Ocean Fishery Ltd. Co.);3. Composition of Vitamin premix (IU or g·kg<sup>-1</sup>): retinal palmitate, 3000 000 IU; cholecalciferol, 1200 000 IU; DL- $\alpha$ -tocopherol acetate, 40.0 g; menadione, 8.0 g; thiamin-HCl, 5.0 g; riboflavin, 5.0 g; D-calcium pantothenate, 16.0 g; pyridoxine-HCl, 4.0 g; meso-inositol, 200.0 g; D-biotin, 8.0 g; folic acid, 1.5 g; para-aminobenzoic acid, 5.0 g; niacin, 20.0 g; cyanocobalamin, 0.01 g; ascorbyl polyphosphate (contained 25% ascorbic acid), 100.0 g;4. Composition of Mineral premix (g·kg<sup>-1</sup> premix): Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O, 675.0; CoSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O, 0.15; CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 5.0; FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 50.0; KCl, 50.0; KI, 0.1; MgSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, 101.7; MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O, 18.0; NaCl, 80.0; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O, 0.05; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 20.0

合饲料。以1组生物饵料处理进行对照,对照组从12日龄开始投喂桡足类。每组处理设3个重复。养殖实验全过程均采用饱食投喂。同时,另设1组大黄鱼稚鱼不予投喂,每日观察死亡情况。每天换水量随日龄增长递增,大约在50%~200%。充气以保持溶氧量在6 mg·L<sup>-1</sup>以上。每天用虹吸管吸底以去除粪便和残饵,并清除实验水体表面杂物各2次。

随机抽取300尾左右大黄鱼仔稚鱼(12日龄),用吸水纸吸去体表水分,以电子天平(AB104-S-A,瑞士)对鱼体进行湿重测量,精确至0.1 mg,

取平均值为初始体重。分别在第20日龄、30日龄和42日龄,对每实验桶随机取样30尾以测量鱼体湿重。42日龄实验结束,每桶通过点数计算出成活率,并且将鱼体保存在-20℃待分析。

### 1.5 分析方法

饲料及鱼体样品均在105℃烘干至恒重后,求得干物质含量,然后进行生化测定。采用凯氏定氮法测定样品总氮含量,将测定结果乘以6.25得粗蛋白含量;采用索氏抽提法,以乙醚为抽提剂测定粗脂肪含量;将样品在电炉上炭化后,在马福炉中灼烧(550℃)8h后测得样品灰分含量<sup>[9]</sup>。

将各组饲料及实验结束后鱼体进行脂肪酸的分析,脂肪酸的分析参考 Metcalfe 等<sup>[10]</sup>的方法。样品的脂肪酸甲酯混合物用气相色谱法进行分析,所用气相色谱仪为 HP6890 型 GC(美国惠普公司),配以毛细管柱(007-CW)及火焰离子化检测器。柱温设置以每分钟 15 °C 的速度从 150 °C 升至 200 °C,再以每分钟 2 °C 的速度从 200 °C 升至 250 °C,进样和检测温度为 250 °C。各种脂肪酸的定性采用与标准样保留时间比较的方法,主要脂肪酸组成的相对含量用面积归一化法计算。

### 1.6 计算及统计方法

特定生长率(SGR) =  $100(\ln W_t - \ln W_0)/t$ ,其中  $W_t$ (mg) 为大黄鱼终末体重,  $W_0$ (mg) 为大黄鱼初始体重,  $t$ (d) 为实验时间。

结果用“平均值 ± 标准差”表示。采用 SPSS 10.0 for Windows 对所得数据进行单因素方差分

析,若差异达到显著则进行 Tukey 多重比较。

## 2 结果

光学显微镜下观察发现,在摄食生长的开始阶段,投喂人工微颗粒饲料的 4 组实验鱼均能有效地摄入实验饲料。12 日龄稚鱼停止投喂组,到 19 日龄死亡一半以上,到 21 日龄则全部死亡。

### 2.1 饲料中不同 FPH 替代鱼粉蛋白对大黄鱼稚鱼存活的影响

实验结果表明,随着微颗粒饲料中鱼肉水解蛋白(FPH)替代水平升高,实验鱼的存活率呈显著下降的趋势(32.6% ~ 11.6%)。当 FPH 替代鱼粉蛋白比例为 25% 时,其存活率(32.6%)显著高于全鱼粉组(28.9%)和替代水平为 50% 和 75% 组(24.2% 和 11.6%),但与生物饵料组(33.2%)之间差异不显著( $P > 0.05$ ) (表 2)。

表 2 饲料中鱼肉水解蛋白水平对大黄鱼稚鱼生长存活的影响

Tab.2 The effects of dietary FPH levels on growth and survival of the large yellow croaker larvae

指标 index	饲料 1(0%) diet 1	饲料 2(25%) diet 2	饲料 3(50%) diet 3	饲料 4(75%) diet 4	饲料 5(对照 <sup>2</sup> ) diet5 (control <sup>2</sup> )
初始尾数 initial number	4000	4000	4000	4000	4000
存活尾数 survival number	1157 ± 14	1305 ± 21	969 ± 39	465 ± 71	1328 ± 18
存活率(%) survival rate	28.9 ± 0.32 <sup>b</sup>	32.6 ± 0.66 <sup>a</sup>	24.2 ± 1.22 <sup>c</sup>	11.6 ± 2.13 <sup>d</sup>	33.2 ± 0.48 <sup>a</sup>
12 日龄体重(mg) 12-day weight	1.6 ± 0.18	1.6 ± 0.18	1.6 ± 0.18	1.6 ± 0.18	1.6 ± 0.18
20 日龄体重(mg) 20-day weight	4.8 ± 0.45 <sup>b</sup>	4.6 ± 0.68 <sup>b</sup>	4.6 ± 0.52 <sup>b</sup>	4.6 ± 0.62 <sup>b</sup>	5.3 ± 1.13 <sup>a</sup>
30 日龄体重(mg) 30-day weight	22.5 ± 1.02 <sup>a</sup>	23.8 ± 0.83 <sup>a</sup>	19.2 ± 2.54 <sup>b</sup>	18.4 ± 1.53 <sup>b</sup>	22.6 ± 0.65 <sup>a</sup>
42 日龄体重(mg) 42-day weight	36.2 ± 2.22 <sup>a</sup>	37.4 ± 2.13 <sup>a</sup>	28.6 ± 3.52 <sup>b</sup>	22.4 ± 5.31 <sup>c</sup>	35.8 ± 3.82 <sup>a</sup>
特定生长率(%/day) SGR	10.4 ± 0.45 <sup>a</sup>	10.5 ± 0.09 <sup>a</sup>	9.6 ± 0.13 <sup>b</sup>	8.8 ± 0.23 <sup>c</sup>	10.3 ± 0.08 <sup>a</sup>

注:1. 数据为 3 个重复的平均值 ± 标准差(n=3),同一数据行中具有相同上标的平均值之间差异不显著,数据采用 Tukey 多重比较( $P > 0.05$ )。2. 冷藏桡足类(来自福建,以中华哲水蚤为主要种类)

Notes: 1. Means ± S. D. (n = 3) with the same superscript letter in the same row are not significantly different determined by Tukey's test ( $P > 0.05$ )。2. Frozen copepods (come from Fujian Province, major species is *Calanus sinicus* Brodsky)

### 2.2 饲料中不同比例 FPH 替代鱼粉蛋白对大黄鱼稚鱼生长的影响

随饲料中 FPH 替代水平的升高,实验鱼特定生长率(SGR)与存活率的变化呈相似趋势(从 10.5% · d<sup>-1</sup> 降至 8.8% · d<sup>-1</sup>),但当替代水平为 25% 时,其 SGR(10.5% · d<sup>-1</sup>)与全鱼粉组

(10.4% · d<sup>-1</sup>)和生物饵料组(10.3% · d<sup>-1</sup>)间均未出现显著差异( $P > 0.05$ )。在整个实验过程中,当 FPH 替代鱼粉蛋白水平为 50% 和 75% 时,鱼生长显著低于较低替代水平组(表 2)。实验鱼在实验结束时的体重结果与 SGR 变化规律相似。

### 2.3 饲料中不同比例 FPH 替代鱼粉蛋白对大黄鱼稚鱼体组成的影响

当替代水平高于 25% 时,鱼体干物质含量(15.3%~12.6%)粗蛋白含量(9.4%~8.2%)和粗脂肪含量(2.0%~1.0%)随着 FPH 替代鱼粉蛋白水平的升高有显著降低的趋势( $P < 0.05$ )。当替代水平为 25% 时,鱼体干物质含量(15.3%)和

粗蛋白含量(9.4%)与全鱼粉组(15.4%, 9.4%)和生物饵料组(15.5%, 9.4%)之间无显著差异( $P > 0.05$ );鱼体粗脂肪含量(2.0%)则高于全鱼粉组(1.8%)和生物饵料组(1.8%)。鱼体灰分含量也随着饲料 FPH 含量的升高呈逐渐降低的趋势,但各组之间无显著差异(表 3)。

表 3 饲料不同含量的鱼肉水解蛋白对大黄鱼稚鱼(42 日龄)鱼体组成的影响

Tab.3 Effects of dietary FPH levels on body composition of large yellow croaker larvae(42 DAH)

成分(%) composition	饲料 1(0%) diet 1	饲料 2(25%) diet 2	饲料 3(50%) diet 3	饲料 4(75%) diet 4	饲料 5(对照) diet 5(control)
干物质 dry matter	15.4±0.08 <sup>a</sup>	15.3±0.38 <sup>a</sup>	14.1±0.45 <sup>b</sup>	12.6±0.26 <sup>c</sup>	15.5±0.23 <sup>a</sup>
粗蛋白 crude protein	9.4±0.17 <sup>a</sup>	9.4±0.19 <sup>a</sup>	9.0±0.09 <sup>b</sup>	8.2±0.38 <sup>c</sup>	9.4±0.37 <sup>a</sup>
粗脂肪 crude fat	1.8±0.06 <sup>ab</sup>	2.0±0.14 <sup>a</sup>	1.6±0.56 <sup>b</sup>	1.0±0.49 <sup>c</sup>	1.8±0.13 <sup>ab</sup>
灰分 crude ash	3.0±0.04	2.9±0.18	2.8±0.04	2.7±0.30	3.0±0.57

注:1. 数据为三个重复的平均值±标准差,同一数据行中具有相同上标的平均值之间差异不显著,数据采用 Tukey 多重比较( $P > 0.05$ )2. 冷藏桡足类(来自福建,以中华哲水蚤为主要种类)

Notes: 1. Means ± S. D( n = 3 ) with the same superscript letter in the same row are not significantly different determined by Tukey's test(  $P > 0.05$  ) 2. Frozen copepods( come from Fujian Province , major species is *Calanus sinicus* Brodsky )

随 FPH 替代水平的升高,鱼体二十碳五烯酸 EPA(6.2%~3.0%)和二十二碳六烯酸 DHA(10.9%~6.7%)百分含量有显著降低的趋势。当替代水平为 25% 时,鱼体 EPA 的百分含量(6.2%)显著高于全鱼粉(5.0%)和生物饵料组(4.6%)( $P < 0.05$ ),而当替代水平为 25% 时,鱼体 DHA 的百分含量(10.9%)与全鱼粉(11.3%)和生物饵料组(11.4%)间差异不显著( $P > 0.05$ ) (表 4)。

## 3 讨论

### 3.1 饲料中不同比例 FPH 对大黄鱼稚鱼存活和生长的影响

本研究的结果表明,当鱼肉水解蛋白(FPH)替代 25% 鱼粉时,大黄鱼稚鱼的存活率得到显著提高,且与全鱼粉组相比生长没有出现显著差异( $P > 0.05$ )。但随着 FPH 替代水平的升高,大黄鱼稚鱼生长和存活率都显著低于全鱼粉组,这说明饲料中适宜的肉水水解蛋白水平能够提高大黄鱼稚鱼的存活率,过高地添加鱼肉水水解蛋白将显著阻碍其生长,降低存活率。这与以前的一些研究结果相类似。Cahu 等<sup>[11]</sup>的研究发现,使用中等长短肽段的水解酪蛋白显著提高了舌齿鲈稚鱼的存活

率,Cahu 等<sup>[2]</sup>在微颗粒饲料中使用鱼肉水解蛋白替代鱼粉蛋白,饲喂舌齿鲈稚鱼研究也证明 50% 替代水平的饲料,阻碍了稚鱼的生长,降低了存活率。然而,有关水解蛋白对仔稚鱼生长状态参数的影响也存在不同结果,Savoie 等<sup>[12]</sup>在对花狼鲷(*Anarhichas minor*)仔稚鱼的研究中发现添加水解蛋白对其生长和存活并无促进作用。

FPH 的适量添加有益于大黄鱼稚鱼生长和存活的原因可能是促进了仔稚鱼消化系统在发育过程中向成熟模式转化<sup>[2]</sup>;Zambonino 等<sup>[1]</sup>认为,蛋白水解产物可能起到帮助仔稚鱼消化系统更好地消化和吸收微颗粒饲料的作用。另外,水解蛋白的加入带来的好处也可能是多方面的综合效应。首先它能够提高饲料的适口性,并且有一定的诱食作用<sup>[13]</sup>。其次,它能够提高鱼体免疫力<sup>[14]</sup>,从而使仔稚鱼在饲料转换过程中能够更好地适应人工微颗粒饲料,进而能够提高存活率。过高比例的水解蛋白不利于生长发育的生理机制,可能是水解蛋白所占饲料中蛋白源比例过高会影响鱼体对蛋白质的消化吸收率;Kolkovski 和 Tandler<sup>[15]</sup>认为,游离氨基酸和短肽能够迅速通过肠壁,这种流动是仔稚鱼难以控制的,使仔稚鱼无法完全利用

之 [Cahu 等<sup>16</sup>] 的研究也发现, 当以较高水平水解蛋白饲料投喂舌齿鲈稚鱼(42 日龄)时, 其体内缩胆囊素和胰蛋白酶活性远低于生长较好的低水解蛋白水平组, 这说明饲料中的水解蛋白通过某些

机制调节着缩胆囊素的分泌, 而缩胆囊素调节和控制着胰酶的分泌。因此, 高水平水解蛋白通过降低舌齿鲈的胰酶活性, 从而降低对微颗粒饲料的消化吸收, 阻碍其生长发育。

表 4 饲料不同含量的鱼肉水解蛋白对大黄鱼稚鱼(42 日龄)鱼体脂肪酸组成影响

Tab.4 Effects of dietary FPH levels on body fatty acid composition of large yellow croaker larva(42 DAH)

脂肪酸 fatty acid	% 面积 area					
	饲料 1(0%) diet 1	饲料 2(25%) diet 2	饲料 3(50%) diet 3	饲料 4(75%) diet 4	饲料 5(对照 <sup>2</sup> ) diet 5(control <sup>2</sup> )	
16:0	22.1 ± 0.11 <sup>c</sup>	22.4 ± 0.23 <sup>c</sup>	23.4 ± 0.61 <sup>c</sup>	26.6 ± 0.14 <sup>b</sup>	32.5 ± 0.50 <sup>a</sup>	
18:1n-9	9.7 ± 0.28 <sup>c</sup>	11.3 ± 0.06 <sup>b</sup>	10.3 ± 0.08 <sup>bc</sup>	9.6 ± 0.78 <sup>c</sup>	13.7 ± 0.77 <sup>a</sup>	
18:2n-6	14.4 ± 0.43 <sup>b</sup>	16.2 ± 0.40 <sup>a</sup>	16.4 ± 0.81 <sup>a</sup>	10.7 ± 1.12 <sup>c</sup>	/ <sup>3</sup>	
20:5n-3	5.0 ± 0.19 <sup>b</sup>	6.2 ± 0.47 <sup>a</sup>	5.2 ± 0.37 <sup>b</sup>	3.0 ± 0.47 <sup>c</sup>	4.6 ± 0.09 <sup>b</sup>	
22:6n-3	11.3 ± 0.20 <sup>a</sup>	10.9 ± 0.37 <sup>a</sup>	9.6 ± 0.34 <sup>b</sup>	6.7 ± 0.34 <sup>c</sup>	11.4 ± 0.52 <sup>a</sup>	

注: 1. 数据为三个重复的平均值 ± 标准差, 同一数据行中具有相同上标的平均值之间差异不显著, 数据采用 Tukey 多重比较 ( $P > 0.05$ ) 2. 冷藏桡足类(来自福建, 以中华哲水蚤为主要种类) 3. 结果未检测到

Notes: 1. Means ± S. D. (n = 3) with the same superscript letter in the same row are not significantly different determined by Tukey's test ( $P > 0.05$ ) 2. Frozen copepods (come from Fujian Province, major species is *Calanus sinicus* Brodsky) 3. Undetectable

### 3.2 饲料中不同比例 FPH 对大黄鱼稚鱼体组成的影响

本研究结果表明, 水解蛋白添加较高组, 鱼体干物质、粗蛋白和粗脂肪含量较低。一方面, 高水平水解蛋白添加组由于鱼体生长发育受阻, 使体组成产生了相应的变化, 这种变化与宋兵等<sup>17</sup>对杂交鲟仔鱼延迟投饵后鱼体成分变化趋势的研究一致。另一方面, 鱼体在早期生长发育过程中随着变态和生长其干物质、体蛋白和体脂肪的含量有逐渐升高的趋势<sup>18</sup>。在本研究中, 高含量的水解蛋白处理组由于生长受阻鱼体偏小, 因此其干物质、体蛋白和脂肪组成更接近于发育阶段较早的仔稚鱼。当 FPH 替代鱼粉蛋白水平为 25% 时, 鱼体干物质含量和蛋白含量与全鱼粉组并无显著差异, 而鱼体脂肪含量显著高于全鱼粉组。

对脂肪酸的研究结果表明, 当 FPH 替代水平从 25% 继续升高时, 鱼体二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)百分含量有着显著降低的趋势。由于海水鱼类自身不能合成、转化这两种高度不饱和脂肪酸, 主要依靠外源营养提供<sup>19</sup>, 因此这种差异主要是由于饲料造成。饲料的脂肪酸含量分析(表 5)表明, 随着 FPH 替代鱼粉蛋白水平的升高, DHA(12.2% ~ 9.4%) 在饲料脂肪酸中的百分含量有着显著降低的趋势 ( $P < 0.05$ ), 而当替代水平为 25% 时, 其 DHA 含量(12.2%) 与全

鱼粉组(12.4%) 没有显著差异 ( $P > 0.05$ ), 这与 DHA 在鱼体脂肪酸组成的百分含量变化相一致。虽然饲料的 EPA 含量在各处理组间没有显著差异, 但鱼体的 EPA 含量却随着饲料中 FPH 水平的升高而显著下降。这表明鱼体 EPA 与 DHA 含量受饲料中各自含量的影响存在一定差异。这可能是由于 DHA 和 EPA 在海水鱼发育早期阶段显示了明显不同的生理功能<sup>20</sup>, 以及仔稚鱼对这两种高度不饱和脂肪酸的代谢途径存在差异所致。虽然在鱼类中尚缺乏有关多不饱和脂肪酸营养调控的系统资料, 但有关报道表明, 鱼类对不同蛋白源比例的不适应会影响到其他营养素的消化率<sup>21</sup>。蛋白源的不同比例可能也会影响到高度不饱和脂肪酸的代谢。高水平的 FPH 替代鱼粉的实验饲料不利于大黄鱼稚鱼的生长发育, 其对大黄鱼稚鱼体脂肪酸代谢的不利影响可能是过高含量的水解蛋白降低成活率和阻碍生长的原因之一。

本研究证明, 当鱼肉水解蛋白替代鱼粉蛋白超过 25% 时, 大黄鱼稚鱼存活和生长受到明显抑制, 而 25% 的替代水平虽然显著提高了其存活率, 但却没有显著促进其生长。因此, 在大黄鱼微颗粒饲料中 FPH 替代鱼粉蛋白在 0 ~ 25% 之间是否更有利于大黄鱼稚鱼的存活、生长和发育, 尚待于进一步研究。

表5 饲料部分脂肪酸组成

Tab.5 Selected fatty acid composition of experimental diets

% 面积 area

脂肪酸 fatty acid	饲料1(0%) diet 1	饲料2(25%) diet 2	饲料3(50%) diet 3	饲料4(75%) diet 4	饲料5(对照2) diet 5(control <sup>2</sup> )
16:0	18.3 ± 0.29 <sup>b</sup>	18.0 ± 0.51 <sup>b</sup>	17.6 ± 0.14 <sup>b</sup>	17.5 ± 0.17 <sup>b</sup>	34.5 ± 0.30 <sup>a</sup>
18:1n-9	8.3 ± 0.17 <sup>b</sup>	9.6 ± 0.18 <sup>b</sup>	8.6 ± 0.21 <sup>b</sup>	8.6 ± 0.28 <sup>b</sup>	11.4 ± 0.72 <sup>a</sup>
18:2n-6	9.4 ± 0.31	9.8 ± 0.08	8.9 ± 0.37	9.0 ± 0.56	<sup>β</sup>
20:5n-3	8.3 ± 0.26	8.6 ± 0.72	8.0 ± 0.33	8.2 ± 0.22	8.9 ± 0.32
22:6n-3	12.4 ± 0.46 <sup>b</sup>	12.2 ± 0.12 <sup>b</sup>	11.3 ± 0.31 <sup>c</sup>	9.4 ± 0.21 <sup>d</sup>	14.4 ± 0.52 <sup>a</sup>

注:1.数据为三个重复的平均值 ± 标准差(n=3)。同一数据行中具有相同上标的平均值之间差异不显著,数据采用 Tukey 多重比较(P>0.05);2.冷藏桡足类(来自福建,以中华哲水蚤为主要种类);3.结果未检测到

Notes:1.Means ± S.D(n=3) with the same superscript letter in the same row are not significantly different determined by Tukey's test(P>0.05);2.Frozen copepods( come from Fujian Province, major species is *Calanus sinicus* Brodsky);3.Undetectable

## 参考文献:

- [1] Zambonino J L, Cahu C L, Peres A. Partial substitution of di- and tripeptides for native proteins in sea bass diet improves *Dicentrarchus labrax* larval development[J]. J Nutrition, 1997, 127: 608-614.
- [2] Cahu C L, Zambonino J L, Quazuguel P, et al. Protein hydrolysate vs. fish meal in compound diets for 10-day old sea bass *Dicentrarchus labrax* larvae[J]. Aquaculture, 1999, 171: 109-119.
- [3] Carvalho A P, Escaffre A M, Oliva Teles, et al. First feeding of common carp larvae on diets with high levels of protein hydrolysates[J]. Aquacult Int, 1997, 5: 361-367.
- [4] Zhang Q Y, Hong W S, Chen P X. Status and prospects of artificial propagation and breeding technique of marine fish in Fujian[J]. Oceanogr Taiwan Strait, 2001, 20: 266-273.
- [5] Ma H M, Cahu C L, Zambonino J L, et al. Activities of selected digestive enzymes during larval development of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. Aquaculture, 2005, 245: 239-248.
- [6] 于海瑞, 麦康森, 段青源, 等. 人工育苗条件下大黄鱼仔、稚、幼鱼的摄食与生长[J]. 中国水产科学, 2003, 10(6): 495-501.
- [7] Buchmann N B, Boza J. Protein enzymic protein hydrolysates: nitrogen utilization in starved rat[J]. J Agric Food Chem, 1979, 30: 583-589.
- [8] Mohr V. Enzymes technology in the meat and fish industries[J]. Proc Biochem, 1980, 6: 31-32.
- [9] AOAC. In: Official methods of analysis of the association of official analytical chemists[M]. 15th edn. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, 1990, 1298.
- [10] Metcalfe L D, Schmitz A A, Pelka J R. Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis[J]. Analytical Chemistry, 1966, 38: 514-515.
- [11] Cahu C L, Zambonino J L. Maturation of the pancreatic and intestinal digestive functions in sea bass (*Dicentrarchus labrax*): effect of weaning with different protein sources[J]. Fish Physiol Biochem, 1995, 14: 431-437.
- [12] Savoie A, Le François N R, Cahu C L, et al. Do protein hydrolysates improve survival and growth of newly hatched spotted wolffish, a nonmetamorphic species? [C]. European Aquac Society, Special Publication, 2005, 460-463.
- [13] Hardy R W. Fish hydrolysates: production and use in aquaculture feeds[A]. In: Akiyama D M, Tan R K H (Eds.). Proc Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop [C]. Singapore: American Soybean Association, 1991. 109-115.
- [14] Anthony L M, Ronald J P, Stewart W A, et al. Effects of various feed supplements containing fish protein hydrolysate or fish processing by-products on the innate immune functions of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) [J]. Aquaculture, 2003, 220: 643-653.
- [15] Kolkovski S, Tandler A. The use of squid protein hydrolysate as a protein source in microdiets for gilthead seabream *Sparus aurata* larvae[J]. Aquacult Nutr, 2000, 6: 11-17.
- [16] Cahu C L, Ronnestad I, Grangier V, et al. Expression and activities of pancreatic enzymes in developing sea bass larvae (*Dicentrarchus labrax*) in relation to intact and hydrolyzed dietary protein; involvement of cholecystokinin[J]. Aquaculture, 2004, 238: 295-308.
- [17] 宋兵, 陈立侨, 高露姣, 等. 延迟投饵对杂交鲟仔鱼生长、存活和体成分的影响[J]. 中国水产科学, 2003, 10(3): 222-226.
- [18] Berge G M, Storebakken T. Fish protein hydrolyzate in starter diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry[J]. Aquaculture, 1996, 145: 205-212.
- [19] Kanazawa A. Essential fatty acid and lipid requirement of fish [A]. In: C B Cowey, A M Mackie and J G Bell (Editors). Nutrition and feeding in fish[M]. London: Academic Press, 1985. 281-298.
- [20] Jose R R, Kjell I R, Yngvar O. The significance of lipids at early stages of marine fish: a review[J]. Aquaculture, 1997, 155: 103-115.
- [21] Shearer K D. Factors affecting the proximate composition of cultured fish with emphasis on salmonid[J]. Aquaculture, 1994, 119: 63-88.