# 不同人工饲料对刀鲚幼鱼生长、血清生化指标及脂质代谢酶活性的影响*

魏广莲[1] 徐钢春[2] 顾若波[1,2] 徐 跑[1,2]**

([1]南京农业大学无锡渔业学院, 江苏无锡 214081; [2]中国水产科学研究院淡水渔业研究中心/农业部淡水渔业和种质资源利用重点实验室, 江苏无锡 214081)

**摘 要** 试验选择体长、体质量基本一致的6月龄刀鲚,分别投喂日粮1(人工配合软颗粒饲料)、日粮2(人工配合饲料与鱼油混合的软颗粒饲料)及日粮3(人工配合缓沉硬颗粒料)3种配合饲料60 d,探讨不同人工饲料对刀鲚幼鱼生长性能、血清生化指标及脂质代谢酶活性的影响.结果表明:日粮2组和日粮3组的幼鱼体质量、体质量增长率、特定生长率和肥满度显著高于日粮1组;日粮3组的饵料系数显著低于日粮1组和日粮2组;各组间体长、体长/体高、体长/体厚、肝体比及脏体比等生长指标及总蛋白、白蛋白、血糖、胆固醇和甘油三酯等血清生化指标均无显著差异;日粮1组的肉碱软脂酰基转移酶-Ⅰ(CPT-Ⅰ)含量显著高于日粮2组和日粮3组;日粮2组的肉碱软脂酰基转移酶-Ⅱ(CPT-Ⅱ)含量显著低于日粮1组和日粮3组;各组间淀粉酶、胃蛋白酶、脂肪酶活性及脂蛋白脂酶(LPL)和乙酰辅酶A羧化酶(ACC)含量均值无显著差异.表明日粮中添加多不饱和脂肪酸有利于刀鲚幼鱼的生长,缓沉饲料的利用效率最高,适合于刀鲚幼鱼驯养阶段使用.

**关键词** 刀鲚幼鱼 人工饲料 消化酶 脂肪代谢 生长

**文章编号** 1001-9332(2013)12-3567-07 **中图分类号** S963.7 **文献标识码** A

**Effects of diets on growth, serum biochemical indices and lipid metabolism in *Coilia nasus* fingerlings.** WEI Guang-lian[1], XU Gang-chun[2], GU Ruo-bo[1,2], XU Pao[1,2] ([1]*Wuxi College of Fisheries, Nanjing Agricultural University, Wuxi* 214081, *Jiangsu, China*; [2]*Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences/Ministry of Agriculture Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Wuxi* 214081, *Jiangsu, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2013, **24**(12): 3567-3573.

**Abstract**: Effects of diets on growth, serum biochemical indices, and enzyme activities related to lipid metabolism in fingerlings *Coilia nasus* at age of 6 months were investigated during 60-day experiment in this study. Fingerlings with similar body length and mass were fed with one of 3 types of diets (diet 1: soft pellet; diet 2: soft pellet mixed with fish oil; diet 3: slow-sinking hard pellet). Fish fed with diets 2 or 3 had significantly higher total body mass, rate of mass gain, specific growth rate, and fullness coefficient than those fed with diet 1. Fish fed with diet 3 exhibited the lower food coefficient compared to those fed with diets 1 or 2. Growth traits (length, length to mass ratio, length to width ratio, hepatopancreas somatic indices and viscera somatic index) and serum biochemical indices (total protein, albumin, blood glucose, cholesterol and triglycerides) in all three treatments were not significantly different. Fish fed with diet 1 exhibited significantly higher carnitine palmitoyltransferase-I than those fed with diets 2 or 3, while fish fed with diet 2 exhibited significantly lower carnitine palmitoyltransferase-II. However, amylase, pepsin, lipase activity, lipoprotein lipase and acetyl-coa carboxylase had no significant difference in fish body among all groups. Results suggested that fish oil as a diet supplement highly facilitated fish growing. The slow-sinking pellet had the highest utilization efficiency and was suitable to feed fish fingerlings of *C. nasus*.

**Key words**: *Coilia nasus*; artificial diet; digestive enzymes; lipid metabolism; growth.

* 中央级公益性科研院所基本科研业务费院级专项(2013A0903)、"十二五"国家科技支撑计划项目(2012BAD26B05,2012BAD25B07)、公益性行业(农业)科研专项(201203065)和江苏省水产三新工程重大专项(DZ2012-1)资助.

** 通讯作者. E-mail: xup@ffrc.cn

2013-03-03 收稿,2013-10-12 接受.

近年来,随着水产养殖名优特色种类的规模化、产业化发展,以鲜活饵料为主的养殖模式凸显了诸多弊端,因而人工配合饲料的研制与开发成了科研关注的焦点. 不同饲料对鱼类的机体成分、机体免疫、生物酶活性及脂类代谢等方面会产生不同的影响. 研究表明,随着饲料中的淀粉含量增加,鱼类的淀粉酶活性也随之升高;投喂脂肪含量高的饲料时,鱼类的脂肪酶活性亦随着增高[1-3]. 此外,饲料中的蛋白质水平对鱼类的消化酶也有重要影响,尤其是蛋白酶,其活性在一段时期内与饲料的蛋白质含量成正比,其他种类的消化酶则因鱼的种类不同而异[4]. 韩涛等[5]发现不同的蛋白源对军曹鱼(*Rachycentron canadum*)稚鱼的生长有显著影响;Grisdale-Helland 等[6]发现不同脂肪酸比例对鱼类生长影响显著,当饲料中亚油酸/亚麻酸比值为 7~8 时,鱼类生长最快,饲料利用率最高;张媛媛等[7]对异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)研究发现,机体脂肪代谢酶与鱼体肥满度密切相关.

刀鲚(*Coilia nasus* Temminck et schlegel)属鲱形目鳀科鲚属,又名长颌鲚,属于肉食性动物. 其丰腴肥满、肉鲜味美,是享有“长江三鲜”美誉之一的名贵洄游性鱼类. 近年来,受水域污染、水利工程建设和捕捞过度等多种因素影响,刀鲚的种群数量急剧下降,目前已不能形成渔汛[8-11]. 而随着灌江纳苗养殖[12]、野生刀鲚鱼种的采捕运输[13]、人工繁殖及苗种培育技术和池塘养殖技术[14-15]的突破,刀鲚正逐渐成为一种目前市场紧俏、前景广阔的优质淡水增养殖品种.

在刀鲚的苗种培育中,适宜饵料的筛选是一项重要的工作. 在鱼类个体发育的不同时期,饵料种类亦在不断变化,投喂适宜的饵料可以使鱼类苗种成活率提高、生长速度加快[16-17]. 刀鲚幼鱼早期以枝角类、桡足类等为主;随着体长增长到 70~80 mm 时,除食浮游动物外,还开始摄食昆虫幼虫、小虾、糠虾、鱼苗等;当体长在 120 mm 以上,吃小型鱼虾的比例越来越大,成鱼则完全以小鱼、虾等为食. 所以,其饵料选择范围较小[18-21].

随着人们对刀鲚的关注度逐渐提高,刀鲚研究领域逐步扩大,主要集中在生物学特征、资源状况、不同地理群体的遗传结构和进化关系、性腺发育、刀鲚整个胚胎发育过程等方面的研究[22-26],而对刀鲚饵料的研究甚少. 徐钢春等[15,27]对池养刀鲚鱼种的摄食与生长的研究发现,枝角类、桡足类、日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)和鰕虎鱼(*Gobies*)是培育刀鲚鱼种较为适宜的饵料生物;其他相关研究也多是以天然饵料为主,相应人工配合饲料研究涉及较少. 随着刀鲚人工养殖的开展,饵料若仍然以天然饵料为主,会严重制约刀鲚的规模化养殖. 所以,对刀鲚进行人工驯化并开发适口的人工饲料不仅可大幅度降低养殖成本、提高养殖效益,也可以扩大养殖规模,增强刀鲚养殖产业化的可行性. 因此,本文针对刀鲚幼鱼阶段投喂不同种类的人工饲料,研究其生长性能、血清生化指标及脂质代谢的变化,旨在阐明不同人工饲料对刀鲚幼鱼生长的影响,从而选择适宜刀鲚幼鱼养殖的人工饲料,为我国长江刀鲚养殖产业化发展提供参考资料.

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

**1.1.1 试验用鱼及养殖管理** 试验用鱼为采捕于长江靖江段的 6 月龄刀鲚幼鱼,运输并暂养在淡水渔业研究中心宜兴屺亭基地 700 cm×435 cm×120 cm 的室内水泥池内. 通过人工驯化使其摄食人工饲料,驯养 20 d 后,刀鲚幼鱼处于健康无伤病状态,体质量范围 2.02~3.81 g,平均 2.8 g,体长范围 8.5~10.9 cm,平均 9.5 cm,随机分配到 9 个水泥池,每个水泥池 500 尾,然后随机分为 3 组,每组设 3 个重复. 3 组分别投喂不同类型的人工饲料,采用饱食法投喂,每天投喂 2 次(7:00—8:00,14:00—15:00). 试验期间平均水温(22.5±1.5) ℃,溶氧≥6.0 $mg\cdot L^{-1}$,铵态氮≤0.02 $mg\cdot L^{-1}$,亚硝酸盐≤0.2 $mg\cdot L^{-1}$,pH=8.0~8.4,盐度 0.45~0.60. 饲养 60 d 后,称体质量,量体长,采集血液、肝胰脏和肌肉样品.

**1.1.2 试验用日粮** 试验使用的日粮 1 为按粉状人工配合饲料:水分质量比为 3:2 均匀混合,并经 16 目筛网过滤自制的软颗粒饲料;日粮 2 为按粉状人工配合饲料:水分:鱼油质量比为 60:40:3 均匀混合,并经 16 目筛网过滤自制的软颗粒饲料;日粮 3 是人工配合饲料缓沉硬颗粒料. 在实验室测得饲料基础营养组成成分(表 1)和脂肪酸组成(表 2).

**表 1 基础饲料营养水平(以风干样为基础)**
**Table 1 Basic feed nutrition level (air-dry basis, $mg\cdot g^{-1}$)**

| 营养水平 Nutrition levels | 日粮 1 Diet 1 | 日粮 2 Diet 2 | 日粮 3 Diet 3 |
|---|---|---|---|
| 水分 Moisture | 473.04 | 456.64 | 56.62 |
| 干物质 Dry matter | 526.95 | 544.36 | 943.38 |
| 粗灰分 Crude ash | 120.42 | 112.10 | 138.45 |
| 粗蛋白 Crude protein | 249.66 | 235.89 | 597.78 |
| 粗脂肪 Crude fat | 78.60 | 113.20 | 233.80 |
| 钙 Ca | 20.10 | 21.40 | 34.20 |
| 磷 P | 0.91 | 0.65 | 1.03 |

**表 2　试验饲料脂肪酸组成**

**Table 2　Fatty acid compositions of experiment diets (%)**

| 脂肪酸 Fatty acid | 日粮 1 Diet 1 | 日粮 2 Diet 2 | 日粮 3 Diet 3 | 鱼油 Fish oil |
|---|---|---|---|---|
| C14:0 | 4.6 | 1.9 | 2.9 | 0.1 |
| C15:0 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | |
| C16:0 | 22.6 | 10.8 | 21.1 | 2.2 |
| C18:0 | 5.2 | 4.1 | 6.0 | 3.0 |
| C20:0 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.2 |
| C21:0 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |
| C22:0 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.1 |
| ∑SFA | 33.6 | 17.4 | 31.0 | 5.5 |
| C16:1 | 5.9 | 3.0 | 3.6 | 0.8 |
| C18:*n*-9 | 18.4 | 18.4 | 15.3 | 14.2 |
| C20:1 | 1.5 | 1.9 | 0.6 | 1.6 |
| C22:1 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.2 |
| ∑MUFA | 26.1 | 23.4 | 19.6 | 16.7 |
| C18:2 | 8.8 | 5.0 | 26.8 | 1.6 |
| C18:3*n*-6 | 1.6 | 2.7 | 0.9 | 3.8 |
| C18:3*n*-3 | 1.8 | 0.9 | 2.9 | 0.8 |
| C20:2 | | 0.4 | 0.2 | 0.4 |
| C20:3*n*-6 | | 0.2 | | 0.3 |
| C20:3*n*-3 | | | 0.5 | 1.9 |
| C20:4*n*-6 | | 1.7 | | 0.1 |
| C20:4*n*-3 | 0.5 | 1.1 | 0.3 | 1.4 |
| C20:5*n*-3 | 11.5 | 25.0 | 7.1 | 35.4 |
| C22:6*n*-3 | 9.8 | 15.8 | 5.9 | 25.2 |
| ∑PUFA | 33.9 | 52.9 | 44.6 | 70.9 |
| ∑*n*-3 | 23.6 | 42.8 | 16.7 | 64.7 |
| ∑*n*-6 | 1.6 | 4.6 | 0.9 | 4.2 |
| ∑*n*-6/*n*-3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| EPA+DHA | 21.3 | 40.9 | 12.9 | 60.6 |

EPA:二十碳五烯酸 Eicosapentaenoic acid; DHA:二十二碳六烯酸 Docosahexaenoic acid.

### 1.2　测定指标及方法

**1.2.1** 生物学指标　饲养试验 60 d 后,每池随机抽取 9 尾鱼,测定体质量、体长、体高、体厚、内脏质量、肝脏质量,用于肥满度、脏体比、肝体比的测定. 对照日常管理记录本,统计试验期间死亡数量,计算每个池的总尾数,以计算特定生长率、体质量增长率、饲料系数.

**1.2.2** 血清生化指标　分别从每个池中随机取刀鲚幼鱼 9 尾,立即用纱布擦干尾部,用一次性注射器尾静脉采血,于 4 ℃ 的冰箱中静置 3 h 后,在 4000 $r \cdot min^{-1}$转速下 4 ℃离心 10 min,提取血清,-20 ℃冰箱中保存,用于各血清生化指标的测定. 测定总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、血糖(GLU)、甘油三酯(TG)、胆固醇(TCH)等的含量,总蛋白含量测定用双缩脲比色法;白蛋白含量测定用溴甲酚绿比色法;甘油三酯和胆固醇含量测定采用酶法;血糖含量用葡萄糖氧化酶法测定,试剂盒购自上海名典生物工程公司.

**1.2.3** 相关酶活性及含量　将胃和肝脏等样本解冻后,加 10 倍的 4 ℃缓冲液冰浴匀浆,制成 10% 匀浆液,4 ℃ 2000 $r \cdot min^{-1}$离心 10 min,上清液保存于 -20 ℃冰箱. 组织上清液蛋白质含量采用考马斯亮蓝法测定;测定胃组织中蛋白酶和淀粉酶活性;测定肝脏中脂肪酶和总酯酶活性以及脂质过氧化物含量;测定试剂盒购自南京建成生物有限公司. 肝脏组织中肉碱软脂酰基转移酶-Ⅰ(carnitine palmitoyltransferase-Ⅰ,CPT-Ⅰ)含量用 CPT-I 定量检测试剂盒(ELISA)测定;肉碱软脂酰基转移酶-Ⅱ(carnitine palmitoyltransferase-Ⅱ,CPT-Ⅱ)含量用 CPT-Ⅱ定量检测试剂盒(ELISA)测定;乙酰 CoA 羧化酶(acetyl-coa carboxylase,ACC)含量用 ACC 定量检测试剂盒(ELISA)测定,以上试剂盒均购自上海江莱生物技术有限公司.

### 1.3　计算方法

特定生长率($\% \cdot d^{-1}$)=(ln 期末平均体质量-ln 期初平均体质量)/饲养天数×100

体质量增长率=(期末平均体质量-期初平均体质量)/期初平均体质量×100%

饲料系数=每个池投喂饲料总量/每个池鱼体质量总增量

肝体比=期末鱼体肝质量/期末鱼体质量×100%

肥满度=期末鱼体质量/期末鱼体长度×100%

脏体比=期末鱼内脏质量/期末鱼体质量×100%

### 1.4　数据处理

试验结果采用平均值±标准误(mean±SE)表示,统计分析采用 SPSS 11.7 软件,用 LSD 多重比较分析试验结果的差异显著性,并进行双变量的相关性分析,显著性水平设定为 $\alpha=0.05$.

## 2　结果与分析

### 2.1　不同饲料对刀鲚幼鱼生长及形体指标的影响

由表 3 可知,3 组刀鲚幼鱼在试验期内存活率都在 96% 以上. 日粮 2 组和日粮 3 组幼鱼的体质量、体质量增长率、特定生长率、肥满度显著高于日粮 1 组;日粮 1 组的饵料系数显著高于日粮 2 组及日粮 3 组,各组之间特定生长率的变化趋势与体质量增长率相同;各组间期初平均体质量、体长、体长/体高、体长/体厚、肝/体及脏/体均无显著差异($P>0.05$).

表 3 不同饲料对刀鲚幼鱼生长指数及形体指标的影响
**Table 3 Effect of different diets on growth performance in fingerlings of *Coilia nasus* (mean±SE, $n$=9)**

| 指标 Index | 日粮 1 Diet 1 | 日粮 2 Diet 2 | 日粮 3 Diet 3 |
|---|---|---|---|
| 期初平均体质量 Initial mass (g) | 2.78±0.09 | 2.78±0.09 | 2.78±0.09 |
| 期末平均体质量 Final mass (g) | 4.91±0.32a | 5.06±0.3ab | 5.68±0.32b |
| 体质量增长率 WGR (%) | 76.6±11.7a | 81.9±10.6ab | 104.2±11.4b |
| 体长 BL (cm) | 10.58±0.28a | 10.59±0.21a | 11.05±0.19a |
| 体长/体高 BL/BH | 5.6±0.07a | 5.44±0.09a | 5.44±0.12a |
| 体长/体厚 BL/BT | 13.76±0.57a | 14.57±0.73a | 14.61±0.72a |
| 肝体比 Hepatosomatic index (%) | 1.6±0.2a | 1.4±0.1a | 1.4±0.1a |
| 脏体比 Viserosomatic index (%) | 7.3±0.6a | 8.9±1.1a | 9.6±0.9a |
| 肥满度 Fulless coefficient (%) | 0.39±0.01a | 0.42±0.01b | 0.42±0.01b |
| 特定生长率 SGR ($\% \cdot d^{-1}$) | 0.91±0.12a | 0.97±0.09ab | 1.17±0.09b |
| 饵料系数 FCR | 11.64±0.22a | 8.03±0.31b | 3.52±0.63c |
| 存活率 Survival rate (%) | 96.7±1.4a | 97.5±1.0a | 97.7±1.2a |

同行不同小写字母表示组间差异显著($P$<0.05) Different lowercase letters in the same row showed significant difference among different groups at 0.05 level. 下同 The same below. WGR: Mass gain rate; BL: Body length; BH: Body height; BT: Body thickness; SGR: Specific growth rate; FCR: Feed conversion ratio.

### 2.2 不同饲料对刀鲚幼鱼血清生理生化指标的影响

由表 4 可知,各组刀鲚幼鱼的总蛋白、白蛋白、血糖、胆固醇及甘油三酯含量均无显著差异($P$>0.05). 但是,日粮 1 组幼鱼的甘油三酯含量均值明显比日粮 2 组和日粮 3 组高,而血糖含量均值略低.

### 2.3 不同饲料对刀鲚幼鱼的消化酶和脂肪代谢酶含量和活性的影响

由表5可知,日粮1组刀鲚幼鱼的肉碱软脂酰基转移酶-Ⅰ(CPT-Ⅰ)含量显著高于日粮 2 组和日粮 3 组;日粮 2 组幼鱼的肉碱软脂酰基转移酶-Ⅱ(CPT-Ⅱ)含量显著低于日粮 1 组和日粮 3 组;各组间幼鱼的淀粉酶、胃蛋白酶和脂肪酶活性以及乙酰辅酶 A 羧化酶(ACC)和脂质过氧化物(LPO)含量均无显著差异. 从均值来看,日粮 2 组幼鱼的淀粉酶和胃蛋白酶的活性以及脂质过氧化物含量明显高于日粮 1 组和日粮 3 组;日粮 3 组的脂肪酶活性高于日粮 1 组和日粮 2 组;日粮 1 组的总脂酶活性高于日粮 2 组和日粮 3 组.

表 4 不同饲料对刀鲚幼鱼血清生化指标的影响
**Table 4 Effect of different diets on the serum biochemical indices in fingerlings of *Coilia nasus***

| 指标 Index | 日粮 1 Diet 1 | 日粮 2 Diet 2 | 日粮 3 Diet 3 |
|---|---|---|---|
| 总蛋白 Total protein ($g \cdot L^{-1}$) | 52.61±4.91 | 58.25±5.4 | 56.42±0.75 |
| 白蛋白 Albumin ($g \cdot L^{-1}$) | 12.75±9.65 | 10.95±6.7 | 12.46±6.65 |
| 总胆固醇 Cholesterol ($mmol \cdot L^{-1}$) | 6.67±0.61 | 10.39±2.07 | 6.72±0.75 |
| 甘油三酯 Triglyceride ($mmol \cdot L^{-1}$) | 7.39±3.79 | 6.14±0.05 | 6.45±0.01 |
| 血糖 Glucose ($mmol \cdot L^{-1}$) | 2.95±0.11 | 4.82±0.64 | 3.81±0.37 |

表 5 不同饲料对刀鲚幼鱼消化酶和脂肪代谢酶的影响
**Table 5 Effect of different diets on the digestive enzymes and fat metabolism enzymes in fingerlings of *Coilia nasus***

| 指标 Index | 日粮 1 Diet 1 | 日粮 2 Diet 2 | 日粮 3 Diet 3 |
|---|---|---|---|
| 淀粉酶 Amylase ($U \cdot mg^{-1}$ pro) | 0.09±0.02a | 0.1±0.02a | 0.06±0.01a |
| 胃蛋白酶 Pepsin ($U \cdot mg^{-1}$ pro) | 3.76±0.40a | 4.12±0.9a | 2.44±0.86a |
| 脂肪酶 Lipase ($U \cdot g^{-1}$ pro) | 14.84±3.46a | 17.35±3.05a | 31.06±13.16a |
| 脂质过氧化物 Lipid peroxides ($\mu mol \cdot g^{-1}$ pro) | 3.8±1.13a | 9.4±2.65a | 5.61±2.48a |
| 总脂酶 Total lipase ($U \cdot mg^{-1}$ pro) | 19.46±7.44a | 18.17±7.53a | 15.01±5.19a |
| CPT-Ⅰ ($pg \cdot mL^{-1}$) | 96.34±1.78a | 93.1±1.98b | 90.01±2.19b |
| CPT-Ⅱ ($pg \cdot mL^{-1}$) | 145.71±1.23a | 140±2.29b | 145.2±1.51a |
| ACC ($U \cdot mL^{-1}$) | 18.59±0.60a | 19.06±0.14a | 18.69±0.31a |

CPT-Ⅰ:肉碱软脂酰基转移酶-Ⅰ Carnitine palmitoyltransferase-Ⅰ; CPT-Ⅱ:肉碱软脂酰基转移酶-Ⅱ Carnitine palmitoyltransferase-Ⅱ; ACC:乙酰辅酶 A 羧化酶 Acetyl-coa carboxylase.

## 3 讨 论

### 3.1 不同饲料对刀鲚幼鱼生长性能的影响

目前,刀鲚的人工养殖尚处于起步阶段,一般采用仿生态培养生物饵料进行粗放养殖的方式,对养殖中使用人工饲料的筛选则是处于摸索尝试阶段;因此,关于人工养殖条件下刀鲚营养需求方面的研究报道尚属空白. 本试验根据刀鲚摄食的行为设计了 3 种人工饲料. 从饲料的物理性状来看,本试验所用缓沉颗粒饲料具有良好的稳定性、缓沉性,沉降速度<10 $mm \cdot s^{-1}$;从其基础成分和脂肪酸含量测定可以看出,日粮 3 的干物质、粗蛋白、粗脂肪含量高于另外两种. 日粮 2 按比例添加了精制鱼油. 鱼油富含不饱和脂肪酸,特别是多不饱和脂肪酸(包括二十碳五烯酸 EPA 和二十二碳六烯酸 DHA)含量较高,一直以来被作为优质的脂肪源. 所以,日粮 2 的多不饱和脂肪酸含量及 EPA+DHA 含量均高于日粮 1 组和日粮 3 组. 有研究表明,不同品种的鱼类 DHA/EPA 比率最适比不同[28-30],而刀鲚的最适 DHA/

EPA 比率有待进一步研究.

本试验中,3 种饲料对刀鲚幼鱼的生长、饲料利用等均产生了不同程度的影响. 日粮 3 组的幼鱼体质量和特定生长率显著高于其他试验组,饲料系数也显著低于其他试验组,说明该试验组刀鲚幼鱼的生长及饲料利用效果较好,刀鲚幼鱼对日粮 3 的摄食和消化吸收较好. 究其原因,可能与其饲料的成分及水中稳定性、适口性有关. 日粮 2 的刀鲚幼鱼特定生长率高于日粮 1 组,饲料系数也低于日粮 1 组,说明添加鱼油之后,改善了饲料的适口性和饲料利用率,与宋益贞[31]的研究结果相一致. 这为后期刀鲚人工饲料中添加鱼油提供了基础性资料. 肥满度大、脏体比和肝体比小,表明鱼体肥度较好,而内脏质量小,表明鱼体可食用部分的比例高. 3 组刀鲚幼鱼的肥满度存在显著差异,肝体比和脏体比均值也存在差异. 其中,日粮 2 组的肥满度大,脏体比和肝体比相对较小,说明摄食日粮 2 组的刀鲚品质较佳,可能与饲料中添加富含 DHA 与 EPA 的精制鱼油有关. 宋益贞[31]的研究也反映了类似的结果.

**3.2**　不同饲料对刀鲚幼鱼血清生理生化指标的影响

研究表明,鱼类在生长的不同阶段中对营养水平有着特定的需求,其血清生化指标可反映鱼类的代谢、营养状况及免疫水平[32]. 当投喂不同饲料时,鱼类血清中的总蛋白、白蛋白浓度能准确地反映机体蛋白质的吸收与代谢状况. 血脂中的主要成分是 TG 和 TCH,其含量可以反映体内脂类代谢的情况. 血糖是血液中的 GLU,主要来源于肠道食物的吸收和肝脏肝糖原分解,进入血液循环后被运送到各组织细胞供全身利用. 一般来说,鱼类血糖正常含量范围为 2.8 ~ 12.8 $\mathrm{mmol \cdot L^{-1}}$,如果在此范围内血糖升高表示鱼体消化吸收作用加强[33]. 试验结果显示,各试验组刀鲚幼鱼的 TP、ALB、TCH、TG 和 GLU 等的含量均无显著性差异,但是存在一定的规律. ALB 与 TG 含量的变化趋势相同,都是日粮 2 组含量低于其他两组;TP、TCH 和 GLU 含量变化趋势相同,均为日粮 2 组含量高于其他两组. 这说明不同饲料虽然没有引起刀鲚幼鱼机体功能指标的显著差异,但刀鲚幼鱼对不同饲料的消化吸收及利用还是存在一定的差异.

**3.3**　不同饲料对刀鲚幼鱼脂肪代谢相关酶的影响

鱼类淀粉酶是碳水化合物水解酶类的一种,其活性强弱直接影响鱼类对食物的消化能力. 沈文英等[34]对不同生长阶段银鲫(*Carassius auratus*)的淀粉酶活性研究表明,在鱼类从鱼苗生长到成鱼的 4 个阶段,淀粉酶活性不断提高. 这说明鱼类在个体发育过程中,不同时期存在着相应的消化生理特点,要根据各生长阶段消化生理的特点,研制鱼类人工配合饲料. 本试验中 3 种饲料投喂后刀鲚幼鱼的淀粉酶存在一定差异,这与杨代勤等[35]和乔慧等[36]的研究结果一致.

在肉食性鱼类中,作用最强的消化酶是胃蛋白酶,其活性随鱼类的食物成分不同而变动. 研究发现,南方鲇(*Silurus meridionalis*)[37]和翘嘴鲌(*Culter alburnus*)[38]随着饲料中蛋白质水平的提高,胃中蛋白酶的活性显著升高;另有研究发现,用不同的蛋白质饲料饲喂罗非鱼(*Tilapia*),鱼体内的胃蛋白酶活性及脂肪酶活性不受饲料成分的影响[36]. 本试验中 3 组试验鱼的消化酶虽然无显著性差异,但是存在一定的规律性. 乔慧等[36]认为,含量不同的食物成分刺激了消化道分泌相应量的酶来消化食物. 日粮 2 组的淀粉酶和胃蛋白酶活性明显高于日粮 1 组和日粮 3 组. 日粮 2 是在日粮 1 的基础上添加了精制鱼油且日粮 3 的粗蛋白含量明显高于日粮 1 和日粮 2. 据此可推测,饲料中添加不饱和脂肪酸可促进刀鲚幼鱼淀粉酶与蛋白酶活性的升高,从而提高营养转化效率. 相关研究有待进一步深入.

不饱和脂肪酸的化学性质很不稳定,容易氧化产生有细胞毒性的脂质过氧化物(LPO),所以 LPO 被作为细胞和组织中氧化应激的一个指标. 日粮 2 组刀鲚幼鱼体内脂质过氧化物含量高于其他两组,可能与其饲料中添加了精制鱼油有关. 总脂酶包括脂蛋白脂酶(LPL)和肝脂酶(HL),主要催化甘油三酯水解,在脂质代谢和转运过程中起重要作用. 其中,脂蛋白脂酶主要催化血浆中乳糜微粒(CM)和低密度脂蛋白(VLDL)中的甘油三脂(TG)水解;肝脂酶主要分解中密度脂蛋白(LDL)和高密度脂蛋白(HDL)[39]. 本试验中,幼鱼体内的脂肪酶活性与总脂酶活性变化趋势相反,日粮 3 组脂肪酶活性最高而总脂酶活性最低. 这可能是造成日粮 3 组生长优势明显的主要因素,而在饲料配方的研制中应该重点关注最适脂肪使用量.

CPT-Ⅰ、CPT-Ⅱ是刀鲚幼鱼体内肉碱转运系统的重要组成酶,在脂肪代谢过程中作为脂肪分解酶的限速酶[7]. CPT-I 的活性受丙二酰辅酶 A 调控,是脂肪酸吸收的限制因素;ACC 可以催化乙酰辅酶 A 生成丙二酸单酰辅酶 A 的羧化作用,丙二酸单酰辅酶 A 作为长链脂肪酸合成的前体,在脂肪酸的合成

中作为 $C_2$ 单位的供体,在酯解作用中也是必不可少的. 本试验中,日粮 2 的多不饱和脂肪酸含量及 EPA+DHA 含量比日粮 1 组和日粮 3 组高,有利于刀鲚幼鱼体内脂肪酸的合成,这与日粮 2 组刀鲚幼鱼体内 ACC 含量高于其他组相符. 刀鲚幼鱼机体脂肪代谢酶与鱼体肥满度、脏体比、特定生长率、饵料系数密切相关,其中日粮 1 组脂肪的合成限速酶 ACC 含量低于其他两组,脂肪分解的限速酶 CPT-Ⅰ、CPT-Ⅱ含量均高于其他组,说明刀鲚幼鱼脂肪分解速度快. 这与日粮 1 组脂肪含量低于其他组相符. 所以,日粮 1 组鱼体内没有过多的脂肪沉积,肥满度和特定生长率显著低于其他组,其饲料利用率较低. 日粮 3 组脂肪合成限速酶 ACC 含量高于其他组,而脂肪分解的限速酶 CPT-Ⅰ低于其他组,其脂肪酶含量显著高于其他组,说明刀鲚幼鱼能有效地利用日粮 3,脂肪的合成大于分解,体内有脂肪沉积,肥满度、脏体比、特定生长率显著高于其他组.

综上所述,从刀鲚幼鱼的生长性能、血清生化指标及脂质代谢等数据来看,缓沉颗粒料日粮 3 有利于刀鲚幼鱼的生长,比日粮 1 和日粮 2 容易消化吸收. 日粮 2 在添加富含高不饱和脂肪酸的精制鱼油之后,能显著提高刀鲚幼鱼生长性能. 这些均为刀鲚人工饲料配方的研制与开发提供了重要参考资料.

## 参考文献


[1] Hidalgo MC, Urea E, Sanz A. Comparative study of digestive enzymes in fish with different nutritional habits. Proteolytic and amylase activities. *Aquaculture*, 1999, **170**: 267-283

[2] Ribeiro L, Zambonino-Infante JL, Cahu C, *et al*. Development of digestive enzymes in larvae of *Solea senegalensis*. *Aquaculture*, 1999, **179**: 465-473

[3] Lee SM, Lee JH, Kim KD. Effect of dietary essential fatty acids on growth, body composition and blood chemistry of juvenile starry flounder ( *Platichthys stellatus*). *Aquaculture*, 2003, **225**: 269-281

[4] Tang B-G (汤保贵), Chen G (陈 刚), Zhang J-D (张健东), *et al*. Effect of diets erieson growth, activity of digestive enzymes and body composition of larval cobia *Rachycentron canadum*. *Acta Hydrobiologica Sinica* (水生生物学报), 2007, **31**(4): 610-614 (in Chinese)

[5] Han T (韩 涛), Wang J-T (王骥腾), Wang Y (王勇), *et al*. Effect of different fish protein hydrolysate (FPH) level of dierary supplements on growth and body composition of larvae of *cobia* (*Rachycentron canadum*). *Acta Hydrobiologica Sinica* (水生生物学报), 2010, **34** (1): 94-99 (in Chinese)

[6] Grisdale-Helland B, Ruyter B, Rosenlund G, *et al*. Influence of high contents of dietary soybean oil on growth, feed utilization, tissue fatty acid composition, heart histology and standard oxygen consumption of Atlantic salmon (*Salmo salar*) raised at two temperatures. *Aquaculture*, 2002, **207**: 311-329

[7] Zhang Y-Y (张媛媛), Liu B (刘 波), Ge X-P (戈贤平), *et al*. Effect of dietary oil sources on growth performance, body composition, the serum biochemical indices, fatty acids composition and lipid metabolism of *Carassius auratus* Gibelio. *Journal of Fisheries of China* (水产学报), 2012, **36**(7): 1111-1118 (in Chinese)

[8] Whitehead PJP. FAO Species Catalogue. Rome: United Nations Development Programme, 1985: 470-471

[9] Haacke C, Hess M, Melzer RR, *et al*. Fine structure and development of the retina of the grenadier anchovy *Coilia nasus* (Engraulididae, Clupeiformes). *Journal of Morphology*, 2001, **248**: 41-55

[10] Li YX, Xie SG, Li ZJ, *et al*. Gonad development of an anadromous fish *Coilia ectenes* (Engraulidae) in lower reach of Yangtze River, China. *Fisheries Science*, 2007, **73**: 1224-1230

[11] Shi D, Gong D. Strategies of resource conservation for *Coilia ectenes* in the Yangtze Estuary. *Marine Science*, 2003, **25**: 96-97

[12] Wei G-L (魏广莲), Xu G-C (徐钢春), Gu R-B (顾若波), *et al*. Review of *Coilia nasus* and its artificial cultural techniques. *Journal of Yangtze University* (长江大学学报), 2012, **9**(7): 31-35 (in Chinese)

[13] Shen L-H (沈林宏), Dai Y-H (戴玉红), Gu S-X (顾树信), *et al*. The study of collection and transportation technology of juvenile *Coilia ectenes* in Changjiang River. *Aquaculture* (水产养殖), 2011(5): 4-6 (in Chinese)

[14] Wei G-L (魏广莲), Xu G-C (徐钢春), Gu R-B (顾若波), *et al*. Studies on the genetic diversity between farmed and wild populations of *Coilia nasus* by analyzing mitochondrial DNA *Cyt b* genes. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis* (江西农业大学学报), 2012, **34** (6): 1216-1221 (in Chinese)

[15] Xu G-C (徐钢春), Xu P (徐 跑), Gu R-B (顾若波), *et al*. Feeding habits and growth characteristics of pond-cultured *Coilia nasus* fingerlings. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2011, **30** (9): 2014-2018 (in Chinese)

[16] Ma J (马 境), Zhang L-Z (章龙珍), Zhuang P (庄平), *et al*. Development and allometric growth patterns of larval *Acipenser schrenckii*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18** (12): 2875-2882 (in Chinese)

[17] Zhang T (张 涛), Zhuang P (庄 平), Zhang L-Z (章龙珍), *et al*. Effects of initial feeding on the growth, survival, and body biochemical composition of *Siberian sturgeon* (Acipenser baerii) larvae. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20** (2): 358-362 (in Chinese)

[18] Yang J, Arai T, Liu H, *et al*. Reconstruction habitat use of *Coilia mystus* and *Coilia ectenes* of the Yangtze River estuary, and of *Coilia ectenes* of Taihu Lake,

based on otolith strontium and calcium. *Journal of Fish Biology*, 2006, **69**: 1120–1135

[19] Ge K-K (葛珂珂), Zhong J-S (钟俊生), Wu M-Q (吴美琴), *et al*. Distribution and abundance of larval Japanese grenadier anchovy *Coilia nasus* in the surf zone of the Yangtze River estuary. *Journal of Fishery Sciences of China* (中国水产科学), 2009, **16**(4): 923–930 (in Chinese)

[20] Zhong J-S (钟俊生), Fu C-C (傅萃长), Yu W-W (郁蔚文), *et al*. Occurrence and stay period of the juvenile *Liza haematocheila* in the surf zone of Yangtze estuary. *Journal of Shanghai Fisheries University* (上海水产大学学报), 2006, **15**(3): 281–285 (in Chinese )

[21] Jiang R-J (蒋日进), Zhong J-S (钟俊生), Zhang D-L (张冬良), *et al*. Species composition and diversity of fish larvae and juveniles in the surf zone of the Yangtze River estuary. *Zoological Research* (动物学研究), 2008, **29**(3): 297–304 (in Chinese)

[22] Zhu D-L (朱栋良). Observations and Studies on embryonic development and natural reproduction of *Coilia nasus* in Yangtze River estuary. *Fisheries Science & Technology Information* (水产科技情报), 1992, **19**(2): 49–51 (in Chinese)

[23] Yang J, Arai T, Liu H, *et al*. Reconstructing habitat use of *Coilia mystus* and Coilia ectenes of the Yangtze River estuary, and of *Coilia ectenes* of Taihu Lake, based on otolith strontium and calcium. *Journal of Fish Biology*, 2006, **69**: 1120–1135

[24] Zhong L, Guo H, Shen H, *et al*. Preliminary results of Sr:Ca ratios of *Coilia nasus* in otoliths by micro-PIXE. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 2007, **260**: 349–352

[25] Xu G-C (徐钢春), Wan J-J (万金娟), Gu R-B (顾若波), *et al*. Morphological and histological studies on ovary development of *Coilia nasus* under artificial farming conditions. *Journal of Fishery Sciences of China* (中国水产科学), 2011, **18**(3): 537–546 (in Chinese)

[26] Wen H-B (闻海波), Zhang C-X (张呈祥), Xu G-C (徐钢春), *et al*. Development of gonads in *Coilia nasus* from the Yangtze River and artificial pond. *Chinese Journal of Zoology* (动物学杂志), 2009, **44**(4): 111–117 (in Chinese)

[27] Xu GC, Tang X, Zhang CX, *et al*. First studies of embryonic and larval development of *Coilia nasus* (Engraulidae) under controlled conditions. *Aquaculture Research*, 2011, **42**: 593–601

[28] Zheng L-Y (郑乐云). Effects of different diets on growth and survival of young fish of *Epinephelus coioides*. *Journal of Oceanography in Talwan Strait* (台湾海峡), 2004, **23**(3): 341–346 (in Chinese)

[29] Ji H (吉　红), Li J (李　杰), Cheng X-F (程小飞), *et al*. Dietary effects of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid on growth, lipid accumulation and antioxidation system in juvenile grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*. *Journal of Northwest A&F University* (Natural Science) (西北农林科技大学学报·自然科学版), 2011, **39**(8): 56–62 (in Chinese)

[30] Ding Z, Xu Y, Zhang H, *et al*. No significant effect of additive ratios of docosahex aenoic acid to eicosapent aenoic acid on the survival and growth of cobia (*Rachy centron canadum*) juvenile. *Aquaculture Nutrition*, 2009, **15**: 254–261

[31] Song Y-Z (宋益贞). Effects of Different Lipid Sources on Growth and Muscle Qualities of Tilapia. Master Thesis. Wuxi: Jiangnan University, 2012 (in Chinese)

[32] Gao L-J (高露姣), Shi Z-H (施兆鸿), Ai C-X (艾春香). Effect of dietary lipid sources on the serum biochemical indices of *Acipenser schrenckii* juvenile. *Marine Fisheries* (海洋渔业), 2005, **27**(4): 319–323 (in Chinese)

[33] Nie G-X (聂国兴), Ming H (明　红), Zheng J-L (郑俊林), *et al*. Effects of xylanase on blood physiological-biochemical parameters of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Journal of Dalian Fisheries University* (大连水产学院学报), 2007, **22**(5): 361–365 (in Chinese)

[34] Shen W-Y (沈文英), Shou J-X (寿建昕), Jin Y-F (金叶飞), *et al*. Study on digestive enzymes of *Carassius auratus* Glibelio. *Journal of Shanghai Fisheries University* (上海水产大学学报), 2002, **11**(3): 194–197 (in Chinese)

[35] Yang D-Q (杨代勤), Yan A-S (严安生), Chen F (陈　芳), *et al*. Effects of different diets on activities of digestive enzymes of *Monopterus albus*. *Journal of Fisheries of China* (水产学报), 2003, **27**(2): 558–563 (in Chinese)

[36] Qiao H (乔　慧), Huang C (黄　成), Wang Z (王喆), *et al*. An investigation on the variation of digestive enzyme activities induced by different feedstuff in *Pseudobagrus fulvidraco*. *Freshwater Fisheries* (淡水渔业), 2007, **37**(1): 58–61 (in Chinese)

[37] Huang F (黄　峰), Yan A-S (严安生), Zhang G-R (张桂蓉), *et al*. Effect of different dietary protein content on activities of pepsin and amylase of *Silurus meridionalis* Chen. *Acta Hydrobiologica Sinica* (水生生物学报), 2003, **27**(5): 451–456 (in Chinese)

[38] Song L (宋　林), Fan Q-X (樊启学), Hu P-P (胡培培), *et al*. Effects of dietary protein to energy ratio on growth performance and digestive enzyme activities of juvenile topmouth culter, *Culter alburnus*. *Chinese Journal of Animal Nutrition* (动物营养学报), 2013, **27**(5): 1–8 (in Chinese)

[39] Cao Y-Z (曹艳姿). Preliminary Study on the Effect of HUFA on the Lipid Metabolism in Grass Carp *Ctenopharyngodon idella*. Master Thesis. Yangling: Northwest A&F University, 2010 (in Chinese)

**作者简介**　魏广莲,女,1987 年生,硕士研究生. 主要从事鱼类繁殖营养和生态养殖技术研究. E-mail: w593501773@163. com

**责任编辑**　肖　红