

doi: 10.3969/j. issn. 1673 - 2227. 2010. 02. 011

用 IGF- I mRNA 表达量评价鲮饲料配方效果的研究

姜巨峰^{1,2}, 张殿昌², 邱丽华², 林黑着², 江世贵²

(1. 天津市水产研究所, 天津 300221; 2. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300)

摘要: 试验以秘鲁鱼粉为饲料蛋白源, 研究 4 种蛋白水平 (21.5%、32.2%、42.5% 和 51.6%) 的饲料对鲮 (*Cirrhinus molitorella*) 生长、消化酶活性及类胰岛素生长因子 (IGF- I) mRNA 表达水平的影响。经过 8 周的养殖试验, 不同饲料蛋白水平下, 蛋白酶活性与特定生长率 (SGR) 成极显著的正相关性 ($P < 0.01$) ; 鲮肝组织中 IGF- I mRNA 的表达量与特定生长率成极显著正相关性 ($P < 0.01$) ; 鲮肝组织 IGF- I mRNA 的表达量与蛋白酶活性也成极显著正相关性 ($P < 0.01$) 。结果表明, 用鲮肝组织 IGF- I mRNA 的表达量可以快速鉴定饲料的质量。

关键词: 鲮; 蛋白水平; 消化酶活性; 生长因子的表达水平; 相关性

中图分类号: S 963.16

文献标志码: A

文章编号: 1673 - 2227 - (2010) 02 - 0066 - 07

Research on assessing effects of diets of mud carp (*Cirrhinus molitorella*) using IGF- I mRNA expression level

JIANG Jufeng^{1,2}, ZHANG Dianchang², QIU Lihua², LIN Heizhao², JIANG Shigui²

(1. Tianjin Fisheries Research Institute, Tianjin 300221, China;

2. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

Abstract: Using Peru fishmeal as the only dietary protein source, the effects of dietary protein level (21.5%, 32.2%, 42.5% and 51.6%) on the growth, digestive enzyme activity and insulin-like growth factors- I as well as IGF- I mRNA expression level of mud carp (*Cirrhinus molitorella*) were investigated by using 4 formulations. After an 8-week growth trial under different dietary protein levels, the protease activity showed a very significant correlation to specific growth rate ($P < 0.01$) ; the quantity of GH and IGF- I mRNA in liver of mud carp showed a very significant correlation to specific growth rate ($P < 0.01$) ; the quantity of IGF- I mRNA expression in liver of mud carp showed a very significant correlation to the protease activity ($P < 0.01$) . The results indicated that IGF- I mRNA expression level in liver was a suitable index for assessing the potential of new diets quickly.

Key words: mud carp (*Cirrhinus molitorella*); dietary protein level; digestive enzyme activity; growth factors expression level; correlation

饲料的营养效果评价长期以来依靠传统的方法, 饲养周期长, 养殖过程受到许多不可预知因素的影响, 试验偏差大, 成本高。因此, 探索快速有效评价饲料营养效果的新方法是目前鱼类营养学研

究的热点之一。

鱼类的生长速度与其体内分泌的生长因子和所摄食饲料的营养有密切的关系。邵庆均等^[1]研究表明, 随着饲料蛋白水平的上升, 宝石鲈

收稿日期: 2009-12-30; 修回日期: 2010-02-01

资助项目: 广东省自然科学基金项目 (033102); 国家科技基础平台建设项目 (2005DKA21103)

作者简介: 姜巨峰 (1981-), 男, 硕士, 从事水产动物种质资源与种苗工程研究。E-mail: jufengjiang@163.com

通讯作者: 江世贵, E-mail: jiangsg@21cn.com

(*Scortum bacoo*) 的胃蛋白酶和肠消化酶的活性增加。赵东海^[2]的研究也认为鱊鱼 (*Siniperca chuatsi*) 饲料中适当的蛋白质水平有利于其体内消化酶活性的增加, 促进生长和繁殖。对于银大麻哈鱼 (*Oncorhynchus kisutch*), 禁食将导致其肝脏中类胰岛素生长因子 (insulin-like growth factors- I, IGF- I) mRNA 水平下降, 重新投喂后肝脏中 IGF- I mRNA 水平又将上升^[3]。正因为鱼类的生长速度与所摄食的饲料营养水平有密切关系, 饲料营养本身的利用水平与鱼体所分泌的消化酶活性也密切相关, 同时, 鱼体本身所分泌的生长因子直接影响了鱼类的生长速度。因此, 探讨鱼类的生长速度与鱼体消化酶活性、生长因子相对表达量之间的关系是建立饲料配方效果快速评价新方法的有益尝试。该研究以中国华南地区的大宗淡水养殖种类鱊 (*Cirrhinus molitorella*) 为对象, 进行了饲料蛋白水平对鱊生长速度、生长因子的表达和消化酶活性的影响研究, 并作了相关性分析, 提出了用生长因子表达量快速评价鱼类饲料配方效果的新方法。

1 材料与方法

1.1 试验鱼与饲养条件

试验鱼由广州市白云区水产研究所提供, 选用相同种质来源、大小均匀、健康无病、平均体质量

为 (8.9 ± 0.02) g 的鱊质量 600 尾, 随机分为 4 组, 每组 3 个重复, 分别饲喂 4 组不同蛋白水平的人工饲料; 在大小为 $3.3\text{ m} \times 2.5\text{ m} \times 1.2\text{ m}$ 的 12 口水泥池中, 养殖 8 周。试验过程连续充气, 每天换 $1/2$ 的水量以保持水质良好。试验期间每天约按体质量的 3% (略为过量) 分别于上午 9:00 和下午 3:00 各投喂 1 次。

1.2 试验饲料

试验中采用的鱊饲料配方参照毛永庆等^[4]对鱊营养基本需求的研究进行配制, 以鱊营养基本需求为依据研究新的饲料评价方法。试验饲料的蛋白源为优质的秘鲁鱼粉, 4 组饲料按蛋白水平分别按 21.5%、32.2%、42.5% 和 51.6% 进行配制, 饲料原料粉混匀后加入 40% 自来水搅拌均匀, 分别制成粒径 2.0 和 3.0 mm 的颗粒, 晾干后置于 -20°C 冰柜中保存备用。饲料配方见表 1。

1.3 样本处理

饲养试验过程中, 每周取样 1 次, 用滤纸轻轻吸干表面水分, 称池中 $1/3$ 鱼数量的体质量后, 立即解剖 4 条鱊鱼, 取肝胰腺、大脑和全肠, 并清洗肠道的内含物后称质量, 于液氮中快速冷冻后带回实验室, 置于 -80°C 冰箱中保存。

1.4 鳊生长速度的测定

鱊生长速度采用特定生长率 (special growth rate, SGR) 的计算方法。公式如下:

表 1 试验饲料配方及营养成分

Tab. 1 Formulation and proximate analysis of experimental diets

组别 group		1	2	3	4	%
玉米 corn		51.05	34.32	17.58	0.84	
麦麸 wheat gluten		22.38	15.21	8.03	0.86	
秘鲁鱼粉 peruvian fish meal		9.63	19.19	28.75	38.32	
豆粕 extracted soybean meal		14.44	28.79	43.13	57.48	
鱼油 fish oil		3.60	2.40	1.20	0	
矿物盐 mineral premix		1.50	1.50	1.50	1.50	
复合维生素 vitamin premix		0.50	0.50	0.50	0.50	
黏合剂 adhesive		0.50	0.50	0.50	0.50	
营养成分 proximate analysis	粗蛋白 crude protein	21.50	32.20	42.50	51.60	
	粗脂肪 ether extract	9.70	9.51	9.64	9.58	
	粗灰分 crude ash	7.20	7.50	9.30	13.70	
	水分 moisture	8.60	10.00	7.80	8.80	

$SGR (\% \cdot d^{-1}) = 100 \times (\ln \text{终末体质量} - \ln \text{初始体质量}) / \text{试验天数}$
 \ln 为自然对数。

1.5 酶活性和生长因子相对表达量的测定

淀粉酶的测定采用碘-淀粉比色法^[5]；蛋白酶的测定采用 Folin-酚试剂法^[6]；脂肪酶活力测定采用脂肪酶活力测定试剂盒（南京建成生物工程研究所出品）；IGF-I mRNA 相对表达量采用半定量 RT-PCR 法^[7]。

1.6 数据分析

用 SPSS 13.0 统计分析系统软件进行数据分析；用 Duncan 氏多重比较方法进行组间差异显著性分析；数据均以（平均值 ± 标准差）形式表示。

2 结果

2.1 饲料蛋白水平对鲮的 SGR 和肝组织 IGF-I mRNA 表达量的影响

从表 2 可知，随着蛋白水平的增加，鲮 SGR

显著升高，饲料蛋白水平 51.6% 时 SGR 达到最高值，与饲料蛋白水平 21.5% 组、32.2% 组和 42.5% 组之间差异极显著 ($P < 0.01$)；42.5% 组与 21.5% 组差异显著 ($P < 0.05$)；其他组间差异不显著 ($P > 0.05$)。

随着饲料蛋白水平的增高，鲮肝组织 IGF-I mRNA 的表达量有所增加，其中 51.6% 组与其他 3 组具有极显著差异 ($P < 0.01$)，42.5% 组与 21.5% 和 32.2% 组之间差异显著 ($P < 0.05$)；肠和肝胰腺的蛋白酶比活性有所增加，其中 51.6% 组与 21.5% 组差异极显著 ($P < 0.01$)，42.5% 组与 21.5% 组差异显著 ($P < 0.05$)；肠和肝胰腺的淀粉酶比活性随饲料蛋白水平的增加略有下降，51.6% 组与 21.5% 和 32.2% 组有显著差异 ($P < 0.05$)；脂肪酶比活性随饲料蛋白水平的增加也有所下降，21.5% 组与 32.2%、42.5% 和 51.6% 组差异极显著 ($P < 0.01$)，其他组间差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 2 饲料蛋白水平对鲮增重、生长因子相对表达量和消化酶活性的影响

Tab. 2 Effects of dietary protein level on weight gain, growth factors relative expression level and digestive enzyme activity of mud carp

试验饲料的粗蛋白质量分数 crude protein content of experimental diets	初始体质量/g initial body weight	第 8 周体质量/g body weight at 8 th week	特定生长率 %/d ⁻¹ SGR	肝组织 IGF-I mRNA 的表达量 quantity of IGF-I mRNA in liver	肠蛋白酶/u·g ⁻¹ intestine protease activity
21.5% 蛋白	21.5% protein	8.90 ± 0.02 ^a	11.21 ± 0.51 ^{Aa}	0.41 ± 0.08 ^{AA}	0.46 ± 0.09 ^{AA}
32.2% 蛋白	32.2% protein	9.00 ± 0.03 ^a	11.87 ± 0.88 ^{Ab}	0.49 ± 0.13 ^{Ab}	0.51 ± 0.07 ^{AB}
42.5% 蛋白	42.5% protein	8.80 ± 0.02 ^a	12.55 ± 0.10 ^{Ab}	0.63 ± 0.01 ^{Ab}	0.62 ± 0.15 ^{AaBb}
51.6% 蛋白	51.6% protein	9.00 ± 0.02 ^a	15.44 ± 0.43 ^B	0.96 ± 0.05 ^{Bc}	0.76 ± 0.03 ^{Bb}
试验饲料的粗蛋白质量分数 crude protein content of experimental diets	肝胰腺蛋白酶/u·g ⁻¹ hepatopancreas protease activity	肠淀粉酶/u·g ⁻¹ intestine amylase activity	肝胰腺淀粉酶/u·g ⁻¹ hepatopancreas amylase activity	肠脂肪酶/u·g ⁻¹ intestine lipase activity	肝胰腺脂肪酶/u·g ⁻¹ hepatopancreas lipase activity
21.5% 蛋白	21.5% protein	0.12 ± 0.02 ^{Aa}	1.90 ± 0.07 ^{Bb}	1.20 ± 0.02 ^{Cc}	1.24 ± 0.08 ^{Bb}
32.2% 蛋白	32.2% protein	0.12 ± 0.03 ^{Ab}	1.83 ± 0.08 ^{Bb}	1.16 ± 0.02 ^{BCc}	0.67 ± 0.03 ^{Aa}
42.5% 蛋白	42.5% protein	0.16 ± 0.02 ^{Ab}	1.27 ± 0.15 ^{Aa}	0.87 ± 0.01 ^{AA}	0.70 ± 0.02 ^{Aa}
51.6% 蛋白	51.6% protein	0.25 ± 0.02 ^{Bc}	1.45 ± 0.06 ^{Aa}	1.05 ± 0.08 ^{Bb}	0.70 ± 0.02 ^{Aa}

注：同列中标注大写字母不同者表示差异极显著 ($P < 0.01$)，小写字母不同者表示差异显著 ($P < 0.05$)；特定生长率 ($\% \cdot d^{-1}$) = $100 \times (\ln \text{终末体质量} - \ln \text{初始体质量}) / \text{试验天数}$ ， \ln 为自然对数

Note: In the same row, values with different superscripts in capital letters are very significantly different ($P < 0.01$)；values with different superscripts in lower case letters are significantly different ($P < 0.05$)；specific growth rate = $100 \times [(\ln (\text{final body weight}) - \ln (\text{initial body weight})) / \text{days}]$, \ln was natural logarithm.

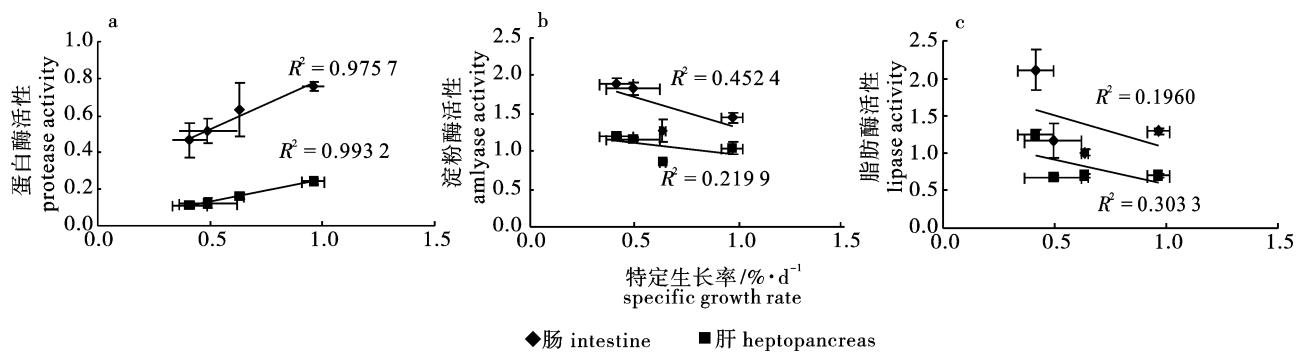


图 1 鲈 SGR 与消化酶活性相关性分析

Fig. 1 Correlation analysis between specific growth rate and digestive enzyme activities

2.2 SGR 与消化酶活性的相关性分析

2.2.1 鲈 SGR 与蛋白酶活性的相关性分析

别投喂 21.5%、32.2%、42.5% 和 51.6% 蛋白水平的饲料，鳔肠和肝的蛋白酶比活力与 SGR 均有极显著的正相关性 (Pearson 系数分别为 0.878 **、0.905 **, $P < 0.01$) (图 1-a)。

2.2.2 鲈 SGR 与淀粉酶活性的相关性分析

肠淀粉酶活性与 SGR 有显著负相关性 (Pearson 系数为 -0.591^* , $P < 0.1$), 但肝淀粉酶活性与 SGR 无相关性 (Pearson 系数为 -0.417 , $P < 0.1$) (图 1-b)。

2.2.3 鲣 SGR 与脂肪酶活性的相关性分析

肠脂肪酶活性与 SGR 没有相关性 (Pearson 系数为 -0.471 , $P < 0.1$), 但肝脂肪酶活性与 SGR 有负相关性 (Pearson 系数为 -0.535 , $P < 0.1$) (图 1-c)。

2.3 SGR 与生长因子相对表达量的相关性分析

鮰肝组织 IGF-I mRNA 的表达量与 SGR 的 Pearson 系数为 0.896 **，两者具有极显著的正相关性 ($P < 0.1$) (图 2)。

2.4 肝组织 IGF-I mRNA 的表达量与消化酶活性的相关性分析

2.4.1 鳞肝组织 IGF-I mRNA 的表达量与蛋白酶

活性的相关性分析 肝组织 IGF- I mRNA 的表达量与肠蛋白酶和肝蛋白酶的 Pearson 系数分别为 0.726 ** 和 0.892 **，均具有极显著的正相关性 ($P < 0.1$) (图 3-a)。

2.4.2 鲣肝组织 IGF-I mRNA 的表达量与脂肪酶

活性的相关性分析 肝组织 IGF- I mRNA 的表达量与肠脂肪酶和肝脂肪酶的 Pearson 系数分别为

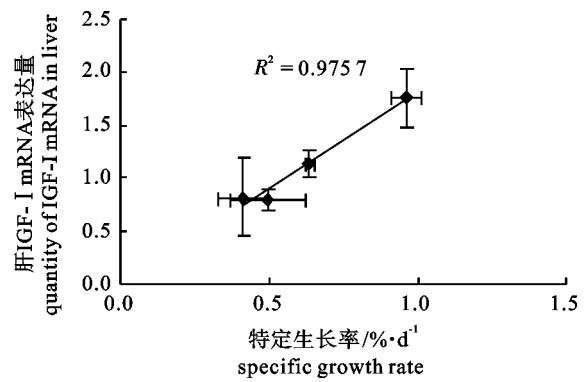


图 2 肝组织 IGF- I mRNA 的表达量与鱊 SGR 相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis between quantity of IGF-I mRNA in liver and specific growth rate

-0.297和-0.380，均无相关性($P < 0.1$) (图3-b)。

2.4.3 鲫肝组织 IGF-I mRNA 的表达量与淀粉酶

活性的相关性分析 肝组织 IGF- I mRNA 的表达量与肠淀粉酶的 Pearson 系数为 -0.548 ，具有负相关性 ($P < 0.1$)。肝组织 IGF- I mRNA 的表达量与和肝淀粉酶的 Pearson 系数为 -0.437 ，无相关性 ($P < 0.1$) (图 3-c)。

3 讨论

3.1 饲料蛋白质量分数对鲮 SGR 及 IGF-I 的影响分析

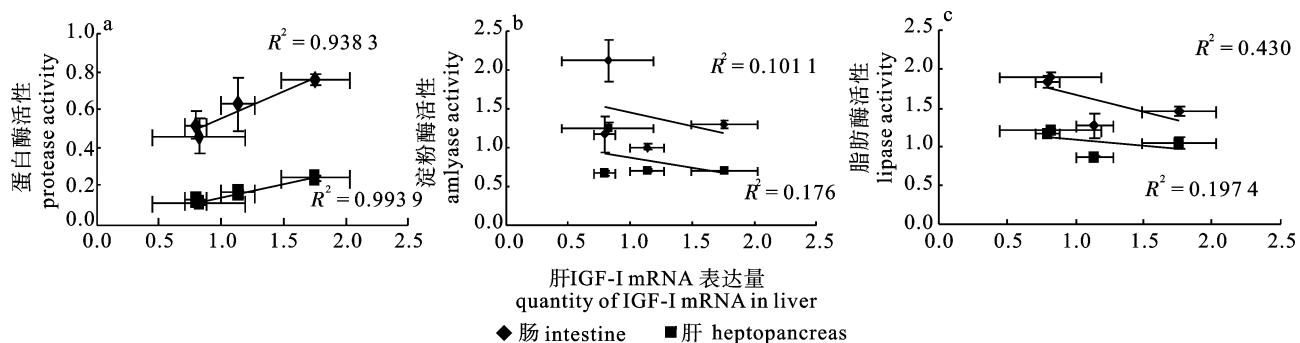


图3 消化酶活性与鲮肝组织 IGF- I mRNA 的表达量的相关性分析

Fig. 3 Correlation analysis between amylase activities and quantity of IGF- I mRNA in liver

nus carpio)^[9]、鲻 (*Mugil cephalus*)^[10] 和四须鲃 (*Barbodes altus*)^[11] 等杂食性鱼类研究报道基本一致。虽然同是杂食性鱼类，蛋白质的最佳需要量也有很大差异。这种差异主要与鱼的种类、生长阶段或个体大小、水质条件及配制饲料原料的质量等对蛋白质需要量的影响有关。

该研究表明，随着蛋白水平的增加，鲮 SGR 显著升高，饲料蛋白水平为 51.6% 时 SGR 达到最高值，与饲料蛋白水平 21.5% 组、32.2% 组和 42.5% 组之间差异极显著 ($P < 0.01$)；42.5% 组与 21.5% 组差异显著 ($P < 0.05$)；其他组间差异不显著 ($P > 0.05$)。但考虑到饲料成本，宜选择饲料蛋白水平为 42.5% 的饲料。这与陈万清等^[12]对华鲮 (*Sinilabeo rendahli*) 幼鱼的蛋白质需求量进行的研究结果相似，其认为饲料蛋白质量分数为 37.6% 时最适合华鲮鱼幼鱼的生长。王桂芹等^[13]研究饲料蛋白水平对翘嘴鮊 (*Culter alburnus*) 的 SGR 具有显著影响 ($P < 0.05$)，40.89% 饲料蛋白组的 SGR 显著高于 31.04%、35.53% 饲料蛋白组 ($P < 0.05$)，但与 46.62% 和 50.33% 饲料蛋白组没有显著差异 ($P > 0.05$)。刘永坚等^[14]报道了投喂蛋白质水平 46% 饲料（该试验饲料的最高蛋白水平）的眼斑拟石首鱼 (*Sciaenops ocellatus*) 幼鱼的 SGR 最高。姜才根等^[15]研究在眼斑拟石首鱼养殖幼鱼阶段，饲料蛋白质量分数为 48.7% 组的净增重率和 SGR 均最高。赵吉伟等^[16]的研究表明，随着饲料蛋白质量分数的提高，翘嘴红鮊 (*Erythroculter ilishaformis*) 的生长速度加快，蛋白质量分数为 54% 组的生长比速最高，达到 0.87%。这说明投喂较高蛋白质量分数的饲料有

利于加快翘嘴红鮊的生长，缩短养殖周期。然而，蛋白质量分数为 54% 组的生长速度较 48% 组没有明显提高，只提高了 3.5%。这表明当饲料蛋白质量分数提高到一定程度时，再增加蛋白质的质量分数无助于提高翘嘴红鮊的生长速度。这与该试验结果相似。

营养对 IGF- I mRNA 表达水平的调节已有详细的研究，禁食或喂养能量不足将导致肝和血清中 IGF- I 水平下降^[17-21]。LINDSEY 等^[17]研究虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 表明，禁食导致肝中 IGF- I mRNA 水平下降；IGF- I mRNA 水平在禁食 2 周后减少了 57%，在禁食 6 周后降低了 86%；肝 IGF- I 表达量在重新投喂后有所上升，与连续投喂的肝 IGF- I 表达量相似，禁食 6 周后，鳃中 IGF- I 的表达量也降低了 83%，脂肪组织则降低了 91%。BRIAN 等^[18]研究了禁食对斑点叉尾鮰 (*Ictalurus punctatus*) 血清中 IGF- I 和生长激素 (growth hormone, GH) 水平及其 mRNA 表达的影响。研究表明禁食 3 周后鮰血清中 GH 无明显变化，而血清中 IGF- I 和其他一些类固醇质量分数降低。UCHIDA 等^[20]研究了禁食对罗非鱼 (*Oreochromis mossambicus*) GH/IGF- I 的影响，结果表明，与对照相比，2 周禁食对罗非鱼血清 GH、泌乳激素 (prolactin, PRL) 水平以及 GH mRNA 表达影响不显著 ($P > 0.05$)，而 4 周后血浆中 GH 质量分数和脑垂体中 GH mRNA 水平显著升高 ($P < 0.05$)；禁食 2 周和 4 周后血浆中 IGF- I 质量分数和肝脏中 IGF- I mRNA 水平都显著降低 ($P < 0.05$)。在大西洋鲑 (*Salmo salar*) 幼鱼禁食 22 d 后再投喂的 IGF- I 表达量有所下降^[20]。该试验结果同样也说明了在蛋

白营养低的情况下，其 IGF- I 相对表达量也低。

3.2 SGR 与消化酶活性的相关性分析

分别投喂 21.5%、32.2%、42.5% 和 51.6% 蛋白水平的饲料，鲮 SGR 与蛋白酶活性均有极显著的正相关性 ($P < 0.01$)，即蛋白酶活性随着饲料中蛋白水平的增加而提高。这说明蛋白质营养需要量对鲮生长具有很重要的作用，此结果与牙鲆^[22] (*Paralichthys olivaceus*)、宝石鲈^[1]、斑节对虾^[23] (*Penaeus monodon*) 和罗氏沼虾^[24] (*Macrobrachium rosenbergii*) 的研究结果相似。因此，可以通过检测养殖对象的蛋白酶活性来初步推测出养殖对象的生长和营养状况。随饲料蛋白水平的增加，鱼体能够通过提高体内蛋白酶的活性，以提高对饲料蛋白的消化与吸收，从而促进其快速增长。鲮肠淀粉酶活性与 SGR 有负相关性 ($P < 0.1$, Pearson 系数为 -0.59)，但肝脂肪酶活性与 SGR 无相关性 ($P < 0.1$, Pearson 系数为 -0.417)。鲮肠脂肪酶活性与 SGR 没有相关性 ($P < 0.1$, Pearson 系数为 -0.417)，但肝脂肪酶活性与 SGR 有负相关性 ($P < 0.1$, Pearson 系数为 -0.535)。这说明投喂蛋白水平较低的饲料时，鱼类通过消化吸收脂肪和糖类来补充生长能量的消耗，但是其促生长的效果低于蛋白质，从而生长缓慢。

3.3 肝组织 IGF- I mRNA 的表达量与 SGR 的相关性分析

分别投喂 21.5%、32.2%、42.5% 和 51.6% 蛋白水平的饲料，鲮日增重与肝组织 IGF- I mRNA 的表达量均有极显著的正相关性 ($P < 0.01$)。这说明鲮肝组织分泌 IGF- I mRNA 的量对其生长具有很重要的调控作用，从而可以通过检测养殖对象分泌 IGF- I mRNA 的量来初步推测出养殖对象的生长和营养状况。此结果与 ANTHONY^[25] 研究的尖吻鲈 (*Lates calcarifer*) 所得出的结果一致，IGF- I mRNA 的表达量与日增重成正相关。研究银大麻哈鱼 (*Oncorhynchus kisutch*)^[26] 时也发现 IGF- I mRNA 的表达量与日增重成正相关；BECKMAN 等^[27] 研究银大麻哈鱼表明肝 IGF- I mRNA 的表达量与日增重成正相关；PICHA 等^[28] 研究杂交斑纹鲈 (*Morone chrysops × M. saxatilis*) 也表明肝 IGF- I mRNA 的表达量与日增重成正相关；LI 等^[29] 研究斑点叉尾鮰也表明 IGF- I 的表达量与 SGR 成正相关；TAYLOR 等^[30] 研究虹鳟也表明了 IGF- I 水平

与生长成正相关；CRUZ 等^[31] 研究尼罗罗非鱼 (*O. niloticus*) 也发现这个规律。

3.4 肝组织 IGF- I mRNA 的表达量与消化酶活性的相关性分析

水产动物的营养状态、发育水平、年龄和激素水平等均能影响生长激素 (growth hormone, GH) 和 IGF- I 的表达、合成及其生理作用，其中营养因素是 GH 和 IGF- I mRNA 表达的重要调节因子。营养物质可以通过调节 GH 和 IGF- I 的表达量继而影响水产动物的生长，这在动物界具有一定的普遍性。

鲮肝组织 IGF- I mRNA 的表达量与蛋白酶活性有极显著的正相关性；鲮肝组织 IGF- I mRNA 的表达量与脂肪酶活性没有相关性；鲮肝组织 IGF- I mRNA 的表达量与肠淀粉酶有负相关性，但与肝淀粉酶无相关性。这进一步说明饲料蛋白是鱼类营养的主要来源，直接影响其生长。

该研究表明，饲料蛋白水平显著影响鲮肝组织 IGF- I mRNA 的表达量。当饲料蛋白水平低，养殖对象所消化吸收的能量相对来说较低，其鲮肝组织 IGF- I mRNA 的表达量和所分泌的蛋白酶活性就低，且它们之间具有正相关性。这为通过检测养殖对象所分泌的鲮肝组织 IGF- I mRNA 的表达量来鉴定饲料质量奠定了基础。

参考文献：

- [1] 邵庆均, 苏小凤, 许梓荣. 饲料蛋白水平对宝石鲈增重和胃肠道消化酶活性影响 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2004, 30 (5): 553–556.
- [2] 赵东海. 饲料蛋白水平对鲮鱼实验种群胃肠道消化酶活性的影响 [J]. 河北渔业, 2004 (2): 10–11.
- [3] DUAN C, DUGUAY S J, SWANSON P, et al. Tissue-specific expression of insulin-like growth factor- I mRNAs in salmonids: developmental, hormonal, and nutritional regulation [M] // DAVEY K G, TOBE S S, PETER D E. Perspective in Comparative Endocrinology National Research Council of Canada. Toronto, Canada: [s. n.], 1994: 365–372.
- [4] 毛永庆, 蔡发盛, 林鼎. 鲮鱼最适生长的营养素需要量研究 [J]. 水生生物学报, 1985, 9 (3): 213–223.
- [5] 周景祥. 蛋白酶和淀粉酶活性检测方法探讨 [J]. 中国饲料, 2001 (11): 23–24.
- [6] 中山大学生物系微生物教研室. 生化技术导论 [M]. 北京: 科学出版社, 1979: 52–54.
- [7] 张殿昌, 黄燕琴, 苏天凤, 等. 重组鲮 GH 对鲮 IGF- I 表达的影响 [J]. 南方水产, 2008, 4 (2): 50–55.

- [8] CORAZON B S, OFELIA S R. Optimum dietary protein level for growth of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fry in a static water system [J]. Aquac, 1991, 93 (2): 155–165.
- [9] NRC. Nutrient requirements of warmwater fishes and shellfishes [M]. Washington DC: National Academy Press, 1993: 102.
- [10] SHYONG W J, HUANG C H, CHEN H C. Effects of dietary protein concentration on growth and muscle composition of juvenile *Zacco barbata* [J]. Aquac, 1998, 167 (1/2): 35–42.
- [11] ADRIAN E, SHIM K F. Growth response of juvenile *Barbodes alatus* fed isocaloric diets with variable protein levels [J]. Aquac, 1997, 158 (3/4): 321–329.
- [12] 陈万清, 李凤岐, 叶树成. 不同饲料蛋白质水平对华鲮幼鱼生长的影响 [J]. 内陆水产, 2007, 32 (11): 15–17.
- [13] 王桂芹, 周洪琪, 陈建明, 等. 饲料蛋白对翘嘴鲌生长和内分泌激素的影响 [J]. 水生生物学报, 2008, 32 (4): 544–550.
- [14] 刘永坚, 刘栎辉, 田丽篮, 等. 饲料蛋白质和能量水平对红姑鱼生长和鱼体组成的影响 [J]. 水产学报, 2002, 26 (3): 242–246.
- [15] 姜才根, 王玮玮, 谢夏全, 等. 眼斑拟石首鱼养殖全程的饲料蛋白质最适含量 [J]. 福建农业学报, 2005, 20 (增刊): 7–12.
- [16] 赵吉伟, 叶继丹. 饲料蛋白质含量对翘嘴红鲌生长影响的初步研究 [J]. 水产学杂志, 2001, 14 (2): 21–23.
- [17] LINDSEY A N, JEREY D K, MARK A S. Resolving the growth-promoting and metabolic effects of growth hormone: differential regulation of GH – IGF- I system components [J]. Gen Comp Endocrinol, 2007, 151 (3): 332–341.
- [18] BRIAN C S, BRIAN C P. Establishment of a time-resolved fluorimmunoassay for measuring plasma insulin-like growth factor I (IGF- I) in fish: effect of fasting on plasma concentrations and tissue mRNA expression of IGF- I and growth hormone (GH) in channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. Domest Anim Endocrinol, 2005, 28 (2): 202–215.
- [19] BIGA P R, PETERSON B C, SCHELLING G T, et al. Bovine growth hormone treatment increased IGF- I in circulation and induced the production of a specific immune response in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquac, 2005, 246 (1/4): 437–445.
- [20] UCHIDA K, KAJIMURA S, RILEY L G, et al. Effects of fasting on growth hormone/insulin-like growth factor I axis in tilapia, *Oreochromis mossambicus* [J]. Comp Biochem Physiol, 2003, 134 (2): 429–439.
- [21] WILKINSON R J, PORTER M, WOOLCOTT H, et al. Effects of aquaculture related stressors and nutritional restriction on circulating growth factors (GH, IGF- I and IGF-II) in Atlantic salmon and rainbow trout [J]. Comp Biochem Physiol Part A: Mol Integr Physiol, 2006, 145 (2): 214–224.
- [22] 金秋, 林建斌, 朱庆国, 等. 不同能量蛋白比饲料对牙鲆体内消化酶活性的影响 [J]. 集美大学学报, 2005, 10 (4): 296–299.
- [23] SHIAU S Y, HSU T S. Effects of dietary protein and energy on growth performance of tiger shrimp *Penaeus japonicus* reared in seawater [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1991, 57, 2271–2276.
- [24] 董云伟, 牛翠娟, 杜丽. 饲料蛋白水平对罗氏沼虾生长和消化酶活性的影响 [J]. 北京师范大学学报, 2001, 37 (1): 96–99.
- [25] ANTHONY R D, CHRISTOPHER G B, MATTHEW P B, et al. Correlation of plasma IGF- I concentrations and growth rate in aquacultured finfish: a tool for assessing the potential of new diets [J]. Aquac, 2004, 236 (1/4): 583–592.
- [26] PIERCE A L, BECKMAN B R, SHEARER K D, et al. Effects of ration on somatotropic hormones and growth in coho salmon [J]. Comp Biochem Physiol, 2001, 128B (2): 255–264.
- [27] BECKMAN B R, SHIMIZU M, GADBERRY B A, et al. Response of the somatotropic axis of juvenile coho salmon to alterations in the plane of nutrition with an analysis of the relationships among growth rate and circulating IGF- I and 41 kDa IGFBP [J]. Gen Comp Endocrinol, 2004, 135 (3): 334–344.
- [28] PICHA M, SILVERSTEIN J T, BORSKI R J. Discordant regulation of hepatic IGF- I mRNA and circulating IGF- I during compensatory growth in a teleost, the hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *Morone saxatilis*) [J]. Gen Comp Endocrinol, 2006, 147 (2): 196–205.
- [29] LI M H, PETERSON B C, JANESA C L, et al. Comparison of diets containing various fish meal levels on growth performance, body composition, and insulin-like growth factor- I of juvenile channel catfish *Ictalurus punctatus* of different strains [J]. Aquac, 2006, 253 (1/4): 628–635.
- [30] TAYLOR J F, PORTER M J R, BROMAGE N R, et al. Relationships between environmental changes, maturity, growth rate and plasma insulin-like growth factor- I (IGF- I) in female rainbow trout [J]. Gen Comp Endocrinol, 2008, 155 (2): 257–270.
- [31] CRUZ E M V, BROWN C L, LUENENBACK J A, et al. Insulin-like growth factor- I cDNA cloning, gene expression, and potential use as a growth rate indicator in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* [J]. Aquac, 2006, 251 (2/4): 585–595.