

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20170111002

http://www.yykxjz.cn/

公绪鹏, 李宝山, 张利民, 张燕, 王际英. 饲料蛋白质和能量含量对云纹龙胆石斑鱼幼鱼生长、体组成及消化酶活力的影响. 渔业科学进展, 2018, 39(2): 85-95

Gong XP, Li BS, Zhang LM, Zhang Y, Wang JY. Effects of dietary protein and energy levels on growth, body composition and digestive enzymes activities of juvenile hybrid grouper, *Epinephelus lanceolatus* ♂ × *E. moara* ♀. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(2): 85-95

## 饲料蛋白质和能量含量对云纹龙胆石斑鱼幼鱼生长、体组成及消化酶活力的影响\*

公绪鹏<sup>1,2</sup> 李宝山<sup>2</sup> 张利民<sup>2</sup> 张 燕<sup>1,2</sup> 王际英<sup>2①</sup>

(1. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306;

2. 山东省海洋资源与环境研究院 山东省海洋生态修复重点实验室 烟台 264006)

**摘要** 为探求云纹龙胆石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus* ♂ × *E. moara* ♀)幼鱼饲料的最适蛋白质和能量含量,以鱼粉和大豆浓缩蛋白为蛋白源、添加鱼油构建能量梯度,配制粗蛋白含量为 46%、50% 和 54%,能量含量为 20.00、20.50 和 21.00 kJ/g,蛋能比为 22.04~26.87 mg/kJ 的 9 组饲料,编号为 D1~D9 组,投喂初始体重为(46.23±0.51) g 的云纹龙胆石斑鱼幼鱼 56 d。结果显示,蛋白质和能量的交互作用对云纹龙胆石斑鱼幼鱼增重率影响显著( $P<0.05$ ),蛋白质和能量升高显著提高增重率和特定生长率( $P<0.05$ )。蛋白质和能量的交互作用对蛋白质沉积率和肝体比影响显著( $P<0.05$ ),蛋白质升高显著提高能量保留率和肥满度( $P<0.05$ ),蛋白质效率先升后降( $P<0.05$ );能量升高显著提高蛋白质效率和能量保留率( $P<0.05$ );D6 组蛋白质沉积率和蛋白质效率显著高于其他组( $P<0.05$ )。蛋白质和能量的交互作用对全鱼及肌肉水分、粗蛋白、粗灰分均无显著影响( $P>0.05$ ),全鱼及肌肉粗蛋白随饲料粗蛋白升高而升高( $P<0.05$ ),水分随能量升高而降低( $P<0.05$ ),全鱼粗脂肪随蛋能比降低而升高( $P<0.05$ )。蛋白质和能量的交互作用对胰蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活力影响显著( $P<0.05$ ),胃蛋白酶活力随蛋白质含量升高而升高( $P<0.05$ ),能量对其无显著影响( $P>0.05$ );D6 组胰蛋白酶活力最高,其随饲料蛋能比降低呈先升后降的趋势( $P<0.05$ ),能量为 21.00 kJ/g 时,脂肪酶活力显著高于其他组( $P<0.05$ )。综上,在设定的蛋白质和能量范围内云纹龙胆石斑鱼幼鱼饲料以 50%粗蛋白,21.00 kJ/g 能量为宜。

**关键词** 云纹龙胆石斑鱼;蛋白质;能量;蛋能比;体组成;消化酶

**中图分类号** S965.334 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2018)02-0085-11

鱼类通过调整摄食满足其能量需求(Jobling, 1994),能量含量的适宜与否是评价饲料的重要标准之一。饲料能量是由蛋白质、脂肪、碳水化合物共同

提供的。鱼类对碳水化合物的利用能力有限,机体所需能量主要由蛋白质与脂肪提供(Lee *et al*, 2005)。蛋白质是饲料最重要的组分,但由于资源缺乏及代谢后

\* 国家海洋生物产业水生动物营养与饲料研发创新示范平台(201701001)、山东省重点研发计划(2016GSF115005)和山东省自然科学基金(ZR2015CQ023)共同资助 [This work was supported by Marine Bio-Industry Innovation and Development Regional Demonstration Service Platform (201701001), Shandong Province Key Research and Development Program (2016GSF115005), and Shandong Provincial Natural Science Foundation (ZR2015CQ023)]. 公绪鹏, E-mail: sdlygxp@163.com

① 通讯作者: 王际英, 研究员, E-mail: ytwjy@126.com

收稿日期: 2017-01-11, 收修改稿日期: 2017-03-06

对水环境的污染等问题,可通过提高脂肪供能的比例,以达到脂类对蛋白质的节约作用。饲料中适宜的蛋白质和能量含量不仅利于蛋白和非蛋白能源物质的合理利用,促进鱼体生长,提高生产率,而且可以减轻对水体的污染,利于水产养殖产业的健康发展。对翘嘴鲌(*Culter alburnus*)幼鱼(宋林等,2013)、黑鲷(*Sparus macrocephalus*)幼鱼(彭士明等,2005)等的研究表明,脂肪节约蛋白质的效应在鱼类生长摄食、机体营养组成、免疫功能等方面均有显著体现(杨建梅等,2006)。

石斑鱼作为一种较为多样化的肉食性鱼类,广泛分布于热带及温带海洋区域,其营养丰富、肉质细嫩(王际英等,2015)。目前,市场上养殖规模较广的有点带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)、赤点石斑鱼(*E. akaara*)、青石斑鱼(*E. awoara*)和斜带石斑鱼(*E. coioides*)等。云纹龙胆石斑鱼作为鞍带石斑鱼(*E. lanceolatus*♂)和云纹石斑鱼(*E. moara*♀)的杂交种,具有生长性能好、抗逆性高的优点,现已在福建、山东等地推广养殖。目前,尚未见云纹龙胆石斑鱼饲料蛋白质和能量的研究报道。因此,本研究以云纹龙胆石斑鱼幼鱼为研究对象,探讨饲料中不同蛋白质和能量含量对其生长、体组成及消化酶活力的影响,以期配合饲料的生产提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 饲料配方

本实验以鱼粉、大豆浓缩蛋白为主要蛋白源,通过添加鱼油构建能量梯度,采用3×3双因子设计,配制成粗蛋白(Crude protein, CP)含量为46%、50%、54%,能量(Gross energy, GE)含量为20.00、20.50、21.00 kJ/g的9组饲料,其蛋能比分别为26.87、26.22、25.52、24.89、24.26、23.61、23.19、22.60和22.04 mg/kJ,编为D1、D2、D3、D4、D5、D6、D7、D8和D9组。饲料原料经粉碎过80目筛,按配比称重,逐级放大混匀后,加入新鲜鱼油及蒸馏水,经螺旋挤压机加工成直径为4.00 mm的颗粒饲料,阴凉处风干,置于4℃冰箱中保存备用。饲料配方及营养组成见表1。

### 1.2 饲养管理

养殖实验在山东省海洋资源与环境研究院东营实验基地循环水养殖系统中进行,实验用鱼购自山东莱州明波水产有限公司。正式实验开始前,选取同一批次、大小均匀、健康无害的云纹龙胆石斑鱼幼鱼放养于水深50 cm的蓝色圆柱形养殖桶(Φ90 cm×H80 cm)中,使其适应养殖环境,期间投喂由9种饲料等比混

合而成的饲料。14 d后,选取体重为(46.23±0.51) g的幼鱼810条,随机分为27桶,每桶30尾鱼,每种饲料随机投喂3桶。每天定时饱食投喂2次(08:30和16:30),投喂40 min后,将残饵由系统自带的排水口排出,计数残饵颗粒,计算残饵量。实验周期为56 d。养殖过程中,水温控制在(25±0.5)℃,pH 7.8~8.2,盐度27~29,DO>5 mg/L,氨氮和亚硝酸氮<0.1 mg/L。

### 1.3 样品采集与分析

实验前随机取5尾鱼作为初始样品。养殖实验结束后,禁食24 h,MS-222(100 mg/kg)麻醉后,称取总重并记录鱼体个数,计算增重量、增重率、饲料系数及存活率。每桶随机取12尾鱼,测定其体重及体长,其中5尾作全鱼样品,其余7尾分离内脏、肝脏、肠道及胃并称量,计算肝体比、脏体比及肥满度。采集背肌、胃肠道等样品,-20℃保存备用。

饲料及样品基本营养成分分析参照以下方法:水分测定采用105℃烘干恒重法(GB/T 6435-2006);粗蛋白测定采用杜马斯燃烧定氮法(Leco FP528,美国);粗脂肪测定采用索氏抽提法(GB/T 6433-2006);粗灰分测定采用马弗炉550℃失重法(GB/T 6438-2007);能量测定采用燃烧法(PARR 6100,美国)。胃蛋白酶、肠道胰蛋白酶、肠道脂肪酶和肠道淀粉酶活力均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定,具体方法参见试剂盒说明书。

胃蛋白酶活力单位定义:每毫升胃液37℃每分钟分解蛋白生成1 μg氨基酸相当于1个酶活力单位。胰蛋白酶活力单位定义:在pH=8.0、37℃条件下,每毫克蛋白中含有的胰蛋白酶每分钟使吸光度变化0.003即为1个酶活力单位。脂肪酶活力单位定义:在28℃条件下,每克组织蛋白在本反应体系中与底物反应1 min,每消耗1 μmol底物为1个酶活力单位。淀粉酶活力单位定义:每毫克蛋白在28℃与底物作用30 min,水解10 mg淀粉定义为1个淀粉酶活力单位。

### 1.4 计算公式

$$\text{增重量(Weight gain, WG/g)}=W_t-W_0$$

$$\text{增重率(Weight gain rate, WGR/\%)}=(\bar{W}_t-\bar{W}_0)/\bar{W}_0\times 100;$$

$$\text{特定生长率(Specific growth rate, SGR, \% /d)}=(\ln \bar{W}_t-\ln \bar{W}_0)/d\times 100;$$

$$\text{饲料系数(Feed conversion ratio, FCR)}=F/(W_t-W_0);$$

$$\text{蛋白质沉积率(Protein deposition rate, PDR/\%)}=(W_t\times CP_t-W_0\times CP_0)/(W_0\times CP_0)\times 100;$$

表 1 饲料配方及营养组成(风干基础)(%)

Tab.1 Formulation and nutrient composition of experimental diets (air-dry basis)(%)

原料 Ingredients	组别 Groups								
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
鱼粉 Fish meal	54.50	54.50	54.50	48.50	48.50	48.50	42.50	42.50	42.50
大豆浓缩蛋白 Soy protein concentrate	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
乌贼内脏粉 Squid visceral meal powder	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
鱼油 Fish oil	3.30	5.30	7.30	3.90	5.90	7.90	4.50	6.50	8.50
$\alpha$ -淀粉 $\alpha$ -starch	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
氯化胆碱 Choline chloride	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
维生素预混料 Vitamins mixture <sup>1</sup>	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
矿物质预混料 Minerals mixture <sup>2</sup>	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
三氧化二钇 Yttrium(III)-oxide	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
磷酸二氢钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
抗氧化剂 Antioxidant	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
羧甲基纤维素 CMC	4.10	2.10	0.10	9.50	7.50	5.50	14.90	12.90	10.90
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养组成 Nutrient composition									
粗蛋白 Crude protein (%)	53.56	53.90	53.67	49.73	49.68	49.52	46.22	46.21	46.02
粗脂肪 Crude fat (%)	7.92	9.52	12.11	8.10	9.99	11.95	7.86	9.99	12.45
粗灰分 Crude ash (%)	13.12	12.9	13.21	13.46	13.15	12.91	13.11	13.25	12.86
总能 Gross Energy (kJ/g)	19.93	20.56	21.03	19.98	20.48	20.97	19.93	20.45	20.88
蛋能比 Protein/Energy ratio (mg/kJ)	26.87	26.22	25.52	24.89	24.26	23.61	23.19	22.60	22.04

注: 1. 维生素预混料(mg/kg 饲料): 维生素 A, 38.0(IU); 维生素 D3, 13.2(IU);  $\alpha$ -生育酚, 210.0(IU); 硫胺素, 115.0; 核黄素, 380.0; 盐酸吡哆醇, 88.0; 泛酸, 368.0; 烟酸, 1030.0; 生物素, 10.0; 叶酸, 20.0; 维生素 B<sub>12</sub>, 1.3; 肌醇 4000.0; 抗坏血酸, 500.0

2. 矿物质预混料(mg/kg 饲料): MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 3568.0; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, 25568.0; KCl, 3020.5; KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 8.3; CoCl<sub>2</sub>, 28.0; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 353.0; 乳酸钙, 15968.0; CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 9.0; KI, 7.0; MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O, 63.1; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>, 1.5; C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>Fe·5H<sub>2</sub>O, 1533.0; NaCl, 100.0; NaF, 4.0

Note: 1. Vitamins mixture (mg/kg diet): Retinol acetate, 38.0; Cholecalciferol, 13.2; alpha-Tocopherol, 210.0; Thiamin, 115.0; Riboflavin, 380.0; pyridoxine HCl, 88.0; Pantothenic acid, 368.0; Niacin acid, 1030.0; Biotin, 10.0; Folic acid, 20.0; Vitamin B<sub>12</sub>, 1.3; Inositol, 4000.0; Ascorbic acid, 500.0

2. Minerals mixture (mg/kg diet): MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 3568.0; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, 25568.0; KCl, 3020.5; KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 8.3; CoCl<sub>2</sub>, 28.0; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 353.0; Ca-lactate, 15968.0; CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 9.0; KI, 7.0; MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O, 63.1; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>, 1.5; C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>Fe·5H<sub>2</sub>O, 1533.0; NaCl, 100.0; NaF, 4.0

蛋白质效率(Protein efficiency ratio, PER/%)=( $W_t - W_0$ )/( $F \times CP_f$ ) $\times 100$ ;

能量保留率(Energy retention rate, ERR/%)=( $W_t \times E_t - W_0 \times E_0$ )/( $F \times E_f$ ) $\times 100$ ;

肝体比(Hepatosomatic index, HSI/%)=肝脏重/体重 $\times 100$ ;

脏体比(Viscerosomatic index, VSI/%)=内脏重/体重 $\times 100$ ;

肥满度(Condition factor, CF)=体重/体长<sup>3</sup> $\times 100$

式中,  $\bar{W}_0$  为实验初鱼体均重(g);  $\bar{W}_t$  为实验终鱼体均重(g);  $W_0$  为实验初鱼体总重(g);  $W_t$  为实验终鱼体总重(g);  $CP_0$  为实验初鱼体粗蛋白含量(%);  $CP_t$

为实验终鱼体粗蛋白含量(%);  $CP_f$  为饲料粗蛋白含量(%);  $E_0$  为实验初鱼体总能(kJ/g);  $E_t$  为实验终鱼体总能(kJ/g);  $E_f$  为单位饲料总能(kJ/g);  $F$  为鱼摄食饲料干重(g);  $d$  为养殖天数。

## 1.5 数据分析

实验数据采用 SPSS 19.0 软件分析, 以饲料蛋白质和能量含量为影响因素, 进行双因素方差分析(Two-way ANOVA), 交互作用不显著时, 分析蛋白质和能量的主效应。将蛋白质及能量视为一个因素, 对数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 差异显著时, 采用 Duncan's 多重比较, 显著水平设定为  $P <$

0.05)。实验结果以平均值±标准误(Mean±SE)表示。

## 2 结果

### 2.1 不同蛋白质和能量含量饲料对云纹龙胆石斑鱼幼鱼生长性能的影响

由表2可知,蛋白质和能量只在增重中表现出显著的交互作用( $P<0.05$ ),在能量含量为21.00 kJ/g、粗蛋白含量为50%和54%时,云纹龙胆石斑鱼幼鱼增重量最高。由主效应分析可知,提高饲料粗蛋白含量能显著提高云纹龙胆石斑鱼幼鱼的增重率和特定生长率( $P<0.05$ ),并显著降低饲料系数( $P<0.05$ );提高饲料能量含量可显著提高增重率和特定生长率( $P<0.05$ ),对饲料系数无显著影响( $P>0.05$ )。单因素方差分析表明,D6组实验鱼增重率、特定生长率显著高于其他各组

( $P<0.05$ ),而饲料系数显著低于其他各组( $P<0.05$ );D7、D8和D9组各生长指标显著低于其他各组( $P<0.05$ )。

### 2.2 不同蛋白质和能量含量饲料对云纹龙胆石斑鱼幼鱼蛋白质利用、能量保留率及形体指标的影响

如表3、表4所示,蛋白质和能量只在蛋白质沉积率和肝体比中表现出显著的交互作用( $P<0.05$ ),在饲料粗蛋白含量为50%、能量含量为20.50 kJ/g和21.00 kJ/g时,蛋白质沉积率高于其他组;在饲料粗蛋白含量为46%、能量含量为21.00 kJ/g时,肝体比最高。由主效应分析可知,饲料粗蛋白含量升高时,蛋白质效率先升后降( $P<0.05$ ),能量保留率和肥满度均显著升高( $P<0.05$ ),脏体比显著降低( $P<0.05$ );能量含量升高时,蛋白质效率和能量保留率显著升高( $P<0.05$ ),而脏体比和肥满度无显著变化( $P>0.05$ )。

表2 不同蛋白质和能量含量饲料对云纹龙胆石斑鱼幼鱼生长性能的影响

Tab.2 Effects of different protein and energy levels on the growth performance of *E. lanceolatus* ♂ × *E. moara* ♀

项目 Items	粗蛋白 CP(%)	总能量 GE(kJ/g)	初体均重 IBW(g)	终体均重 FBW(g)	存活率 SR(%)	增重量 WG(g)	增重率 WGR(%)	饲料系数 FCR
D1	54	20.0	47.07±0.43	138.24±0.59	100±0.00	2735.33±28.45 <sup>b</sup>	193.74±3.70 <sup>b</sup>	0.77±0.02 <sup>b</sup>
D2	54	20.5	46.92±0.13	138.83±1.72	100±0.00	2757.33±52.77 <sup>b</sup>	195.88±3.94 <sup>b</sup>	0.75±0.04 <sup>b</sup>
D3	54	21.0	47.22±0.44	144.16±3.00	100±0.00	2907.97±101.79 <sup>a</sup>	205.31±9.00 <sup>ab</sup>	0.78±0.04 <sup>b</sup>
D4	50	20.0	46.97±0.09	138.65±2.20	100±0.00	2750.30±63.94 <sup>b</sup>	195.16±4.27 <sup>b</sup>	0.77±0.01 <sup>b</sup>
D5	50	20.5	46.63±0.46	141.66±1.60	100±0.00	2850.93±59.01 <sup>b</sup>	203.84±5.98 <sup>ab</sup>	0.78±0.02 <sup>b</sup>
D6	50	21.0	47.06±0.06	146.14±1.29	100±0.00	2972.63±39.08 <sup>a</sup>	210.58±2.86 <sup>a</sup>	0.74±0.00 <sup>c</sup>
D7	46	20.0	47.22±0.39	133.35±3.36	100±0.00	2583.77±91.68 <sup>c</sup>	182.37±5.40 <sup>c</sup>	0.87±0.03 <sup>a</sup>
D8	46	20.5	47.16±0.41	130.67±2.48	100±0.00	2505.47±80.87 <sup>c</sup>	177.12±6.75 <sup>c</sup>	0.88±0.02 <sup>a</sup>
D9	46	21.0	46.77±0.12	131.29±3.50	100±0.00	2535.50±106.47 <sup>c</sup>	180.70±7.78 <sup>a</sup>	0.88±0.04 <sup>c</sup>
主效应 Main effects								
粗蛋白 CP(%)								
54						2800.21 <sup>A</sup>	198.31 <sup>A</sup>	0.76 <sup>B</sup>
50						2857.96 <sup>A</sup>	203.19 <sup>A</sup>	0.77 <sup>B</sup>
46						2541.58 <sup>B</sup>	180.06 <sup>B</sup>	0.87 <sup>A</sup>
总能量 GE(kJ/g)								
20.0						2689.80 <sup>B</sup>	190.43 <sup>B</sup>	0.81
20.5						2704.58 <sup>B</sup>	192.28 <sup>B</sup>	0.80
21.0						2805.37 <sup>A</sup>	198.86 <sup>A</sup>	0.79
方差分析 ANOVA (P-value)								
粗蛋白 CP(%)						0	0	0
总能量 GE(kJ/g)						0.008	0.017	0.112
交互作用 Interaction						0.047	0.136	0.504

注:同列数值后不同上标小写、大写英文字母表示差异显著( $P<0.05$ ),同列未标注字母表示无显著差异( $P>0.05$ );下同

Note: Values with different superscripts lowercase letters, capital letters in the same column are significantly different ( $P<0.05$ ), values with no letter or the same letter superscripts are not significantly different ( $P>0.05$ ), the same applies below

表 3 不同蛋白质和能量含量饲料对云纹龙胆石斑鱼幼鱼蛋白质利用、能量保留率的影响

Tab.3 Effects of different protein and energy levels on protein utilization, energy retention rate of *E. lanceolatus*♂×*E. moara*♀

项目 Items	粗蛋白 CP(%)	总能 GE(kJ/g)	蛋白质沉积率 PDR(%)	蛋白质效率 PER(%)	能量保留率 ERR(%)
D1	54	20.0	19.59±0.48 <sup>b</sup>	229.42±5.97 <sup>c</sup>	15.54±0.19 <sup>c</sup>
D2	54	20.5	19.92±0.62 <sup>b</sup>	231.42±3.19 <sup>c</sup>	17.50±0.45 <sup>ab</sup>
D3	54	21.0	19.89±1.58 <sup>b</sup>	257.90±17.68 <sup>ab</sup>	18.46±1.07 <sup>a</sup>
D4	50	20.0	19.84±0.45 <sup>b</sup>	248.22±5.20 <sup>bc</sup>	16.55±0.59 <sup>bc</sup>
D5	50	20.5	21.92±0.57 <sup>a</sup>	259.22±10.42 <sup>ab</sup>	17.92±0.50 <sup>a</sup>
D6	50	21.0	22.02±0.46 <sup>a</sup>	274.11±12.84 <sup>a</sup>	18.21±0.98 <sup>a</sup>
D7	46	20.0	20.15±0.38 <sup>a</sup>	252.94±8.75 <sup>b</sup>	16.03±0.58 <sup>c</sup>
D8	46	20.5	20.30±0.72 <sup>b</sup>	243.66±8.35 <sup>bc</sup>	15.89±0.40 <sup>c</sup>
D9	46	21.0	20.74±1.14 <sup>b</sup>	251.05±12.73 <sup>b</sup>	16.75±0.49 <sup>bc</sup>
主效应 Main effects					
粗蛋白 CP(%)					
54			19.80 <sup>B</sup>	239.58 <sup>B</sup>	17.50 <sup>A</sup>
50			21.26 <sup>A</sup>	260.52 <sup>A</sup>	17.23 <sup>A</sup>
46			20.40 <sup>B</sup>	249.22 <sup>B</sup>	16.23 <sup>B</sup>
总能 GE(kJ/g)					
20.0			19.86 <sup>B</sup>	243.53 <sup>B</sup>	16.04 <sup>B</sup>
20.5			20.72 <sup>A</sup>	244.77 <sup>B</sup>	17.20 <sup>A</sup>
21.0			20.89 <sup>A</sup>	261.02 <sup>A</sup>	17.71 <sup>A</sup>
方差分析 ANOVA (P)					
粗蛋白 CP(%)			0.001	0.002	0.004
总能 GE(kJ/g)			0	0.003	0.031
交互作用 Interaction			0.018	0.106	0.191

表 4 不同蛋白质和能量含量饲料对云纹龙胆石斑鱼幼鱼形体指标的影响

Tab.4 Effects of different protein and energy levels on the body index of *E. lanceolatus*♂×*E. moara*♀

项目 Items	粗蛋白 CP(%)	总能 GE(kJ/g)	肝体比 HSI(%)	脏体比 VSI(%)	肥满度 CF
D1	54	20.0	2.54±0.39 <sup>b</sup>	8.20±0.65 <sup>ab</sup>	3.54±1.20 <sup>a</sup>
D2	54	20.5	2.39±0.31 <sup>bc</sup>	7.76±0.51 <sup>bc</sup>	3.34±0.35 <sup>ab</sup>
D3	54	21.0	2.47±0.28 <sup>bc</sup>	7.71±1.43 <sup>bc</sup>	3.27±0.24 <sup>ab</sup>
D4	50	20.0	2.24±0.27 <sup>bc</sup>	7.64±0.59 <sup>bc</sup>	3.12±0.85 <sup>ab</sup>
D5	50	20.5	2.17±0.29 <sup>c</sup>	7.60±0.87 <sup>bc</sup>	3.40±0.41 <sup>ab</sup>
D6	50	21.0	2.23±0.33 <sup>bc</sup>	6.87±0.94 <sup>c</sup>	3.31±0.32 <sup>ab</sup>
D7	46	20.0	2.46±0.28 <sup>bc</sup>	8.01±1.47 <sup>abc</sup>	2.84±0.26 <sup>b</sup>
D8	46	20.5	2.51±0.20 <sup>bc</sup>	8.24±1.26 <sup>ab</sup>	2.96±0.26 <sup>ab</sup>
D9	46	21.0	2.98±0.41 <sup>a</sup>	8.91±1.36 <sup>a</sup>	3.00±0.30 <sup>ab</sup>
主效应 Main effects					
粗蛋白 CP(%)					
54			2.47 <sup>B</sup>	7.89 <sup>AB</sup>	3.39 <sup>A</sup>
50			2.21 <sup>C</sup>	7.37 <sup>B</sup>	3.28 <sup>A</sup>
46			2.65 <sup>A</sup>	8.38 <sup>A</sup>	2.93 <sup>B</sup>
总能 GE(kJ/g)					
20.0			2.41	7.95	3.17
20.5			2.36	7.87	3.24
21.0			2.56	7.83	3.19
方差分析 ANOVA (P)					
粗蛋白 CP(%)			0	0.004	0.011
总能 GE(kJ/g)			0.054	0.914	0.906
交互作用 Interaction			0.04	0.133	0.641

单因素方差分析表明, D6 组蛋白质沉积率和蛋白质效率显著高于其他组( $P<0.05$ ); D9 组肝体比、脏体比显著高于其他组( $P<0.05$ )。

### 2.3 不同蛋白质和能量含量饲料对云纹龙胆石斑鱼幼鱼全鱼和肌肉成分的影响

由表 5 可知, 蛋白质和能量在云纹龙胆石斑鱼幼鱼全鱼粗脂肪中表现出显著的交互作用( $P<0.05$ )。由主效应分析可知, 当饲料粗蛋白含量升高时, 全鱼粗蛋白含量显著升高( $P<0.05$ ), 水分和粗灰分含量无显著变化( $P>0.05$ ); 饲料能量含量升高时, 水分含量显著降低( $P<0.05$ ), 粗蛋白和粗灰分含量无显著变化( $P>0.05$ )。单因素方差分析表明, D7、D8 和 D9 组粗蛋白含量显著低于其他组( $P<0.05$ ); D1、D2 和 D3 粗脂肪含量显著低于其他组( $P<0.05$ )。粗脂肪含量随饲料蛋白能比的降低呈显著升高趋势( $P<0.05$ )。

由表 6 可知, 蛋白质和能量在云纹龙胆石斑鱼幼鱼的肌肉成分中均无显著交互作用( $P>0.05$ )。由主效

应分析可知, 当饲料粗蛋白含量升高时, 肌肉水分和粗灰分含量显著降低( $P<0.05$ ), 粗蛋白含量显著升高( $P<0.05$ ), 粗脂肪含量先升后降( $P<0.05$ ); 饲料能量含量升高时, 水分和粗灰分含量显著降低( $P<0.05$ ), 粗蛋白含量无显著变化( $P>0.05$ ), 粗脂肪含量显著升高( $P<0.05$ )。

### 2.4 不同蛋白质和能量含量饲料对云纹龙胆石斑鱼幼鱼消化酶活力的影响

如表 7 所示, 蛋白质和能量在云纹龙胆石斑鱼幼鱼肠道胰蛋白酶、肠道脂肪酶和肠道淀粉酶活力中均表现出显著的交互作用( $P<0.05$ ), 饲料粗蛋白含量为 50%、能量含量为 21.00 kJ/g 时, 胰蛋白酶活力最高; 在能量含量为 21.00 kJ/g 下的所有蛋白质组, 其脂肪酶活力显著高于其他组( $P<0.05$ ); 淀粉酶活力无显著规律。由主效应分析可知, 饲料粗蛋白含量升高时胃蛋白酶活力显著升高( $P<0.05$ ); 能量变化对其无显著影响( $P>0.05$ )。单因素方差分析表明, D6 组胰蛋白酶

表 5 不同蛋白质和能量含量饲料对云纹龙胆石斑鱼幼鱼全鱼成分的影响

Tab.5 Effects of different protein and energy levels on the whole fish composition of *E. lanceolatus*♂×*E. moara*♀

项目 Items	粗蛋白 CP (%)	总能 GE (kJ/g)	水分 Moisture(%)	粗蛋白 Crude protein(%)	粗脂肪 Crude lipid(%)	粗灰分 Crude ash(%)
D1	54	20.0	71.21±3.15 <sup>a</sup>	62.43±0.42 <sup>b</sup>	21.14±0.64 <sup>c</sup>	14.85±0.56
D2	54	20.5	70.87±0.34 <sup>ab</sup>	62.88±0.43 <sup>ab</sup>	21.77±0.38 <sup>c</sup>	15.14±0.62
D3	54	21.0	71.41±0.40 <sup>ab</sup>	63.70±0.18 <sup>a</sup>	21.47±0.33 <sup>c</sup>	15.52±0.86
D4	50	20.0	69.59±0.56 <sup>a</sup>	61.91±0.91 <sup>b</sup>	22.77±0.28 <sup>b</sup>	15.03±0.54
D5	50	20.5	69.85±1.16 <sup>ab</sup>	62.17±1.03 <sup>b</sup>	22.42±0.69 <sup>b</sup>	15.54±0.59
D6	50	21.0	69.41±0.95 <sup>b</sup>	61.71±0.20 <sup>b</sup>	22.74±0.62 <sup>ab</sup>	15.27±0.21
D7	46	20.0	69.35±1.11 <sup>a</sup>	59.89±0.64 <sup>c</sup>	23.09±0.55 <sup>ab</sup>	15.35±0.57
D8	46	20.5	68.32±0.45 <sup>ab</sup>	59.59±0.90 <sup>c</sup>	24.76±0.61 <sup>a</sup>	15.48±0.73
D9	46	21.0	69.28±0.36 <sup>ab</sup>	60.32±0.90 <sup>c</sup>	23.54±0.60 <sup>a</sup>	14.88±0.50
主效应 Main effects						
粗蛋白 CP(%)						
54			70.05	63.00 <sup>A</sup>	21.46 <sup>C</sup>	15.14
50			69.68	61.93 <sup>B</sup>	22.64 <sup>B</sup>	15.28
46			70.03	59.93 <sup>C</sup>	23.80 <sup>A</sup>	15.24
总能 GE(kJ/g)						
20.0			71.16 <sup>A</sup>	61.41	22.33	15.08
20.5			69.62 <sup>B</sup>	61.55	22.58	15.39
21.0			68.99 <sup>B</sup>	61.91	22.98	15.23
方差分析 ANOVA (P)						
粗蛋白 CP(%)			0.782	0	0	0.067
总能 GE(kJ/g)			0.005	0.308	0.311	0.503
交互作用 Interaction			0.874	0.325	0	0.308

表 6 不同蛋白质和能量含量饲料对云纹龙胆石斑鱼幼鱼肌肉成分的影响

Tab.6 Effects of different protein and energy levels on the muscle composition of *E. lanceolatus*♂×*E. moara*♀

项目 Items	粗蛋白 CP(%)	总能 GE(kJ/g)	水分 Moisture (%)	粗蛋白 Crude protein (%)	粗脂肪 Crude lipid (%)	粗灰分 Crude ash (%)
D1	54	20.0	76.32±0.20	84.91±0.36	6.30±0.48	5.63±0.11
D2	54	20.5	76.61±0.37	85.24±0.28	6.88±0.24	5.44±0.23
D3	54	21.0	77.11±0.24	85.50±0.57	6.24±0.63	5.46±0.54
D4	50	20.0	75.69±0.20	84.60±0.30	7.66±0.43	5.28±0.11
D5	50	20.5	76.41±0.13	85.44±0.39	7.83±0.47	5.38±0.10
D6	50	21.0	76.78±0.36	85.86±0.39	6.92±0.32	5.54±0.29
D7	46	20.0	75.60±0.31	85.51±0.47	8.43±0.17	5.21±0.11
D8	46	20.5	75.99±0.29	85.07±0.12	9.02±0.31	5.40±0.13
D9	46	21.0	76.34±0.23	84.76±0.57	7.65±0.40	5.43±0.13
主效应 Main effects						
粗蛋白 CP(%)						
54			75.87 <sup>C</sup>	86.78 <sup>A</sup>	7.46 <sup>B</sup>	5.38 <sup>B</sup>
50			76.34 <sup>B</sup>	86.26 <sup>A</sup>	7.91 <sup>A</sup>	5.41 <sup>B</sup>
46			76.74 <sup>A</sup>	84.92 <sup>B</sup>	6.94 <sup>C</sup>	5.56 <sup>A</sup>
总能 GE(kJ/g)						
20.0			76.68 <sup>A</sup>	86.75	6.47 <sup>C</sup>	5.59 <sup>A</sup>
20.5			76.29 <sup>B</sup>	85.12	7.47 <sup>B</sup>	5.39 <sup>B</sup>
21.0			75.98 <sup>C</sup>	86.09	8.37 <sup>A</sup>	5.37 <sup>B</sup>
方差分析 ANOVA (P)						
粗蛋白 CP(%)			0	0.025	0	0.001
总能 GE(kJ/g)			0	0.06	0	0
交互作用 Interaction			0.644	0.435	0.09	0.06

表 7 不同蛋白质和能量含量饲料对云纹龙胆石斑鱼幼鱼消化酶活力的影响

Tab.7 Effects of dietary protein and energy levels on the activity of digestive enzymes of *E. lanceolatus*♂×*E. moara*♀

项目 Items	粗蛋白 CP(%)	总能 GE (kJ/g)	胃蛋白酶 Pepsin (U/mg prot)	胰蛋白酶 Trypsin (U/mg prot)	脂肪酶 Lipase (U/mg prot)	淀粉酶 Amylase (U/mg prot)
D1	54	20.0	213.90±16.21 <sup>a</sup>	4025.67±410.60 <sup>c</sup>	132.82±6.34 <sup>c</sup>	0.65±0.07 <sup>a</sup>
D2	54	20.5	198.67±15.89 <sup>a</sup>	4068.12±49.63 <sup>c</sup>	128.38±8.45 <sup>c</sup>	0.63±0.11 <sup>a</sup>
D3	54	21.0	196.08±3.50 <sup>a</sup>	4060.66±61.28 <sup>c</sup>	222.68±10.63 <sup>a</sup>	0.44±0.00 <sup>b</sup>
D4	50	20.0	209.10±12.91 <sup>a</sup>	4197.31±170.94 <sup>c</sup>	105.72±12.96 <sup>c</sup>	0.67±0.05 <sup>a</sup>
D5	50	20.5	213.33±11.55 <sup>a</sup>	4621.34±132.08 <sup>c</sup>	173.46±11.83 <sup>b</sup>	0.47±0.02 <sup>b</sup>
D6	50	21.0	209.10±4.37 <sup>a</sup>	6038.60±321.80 <sup>a</sup>	226.88±15.08 <sup>a</sup>	0.51±0.02 <sup>b</sup>
D7	46	20.0	174.43±9.20 <sup>b</sup>	3605.64±150.17 <sup>b</sup>	119.48±16.97 <sup>c</sup>	0.57±0.02 <sup>ab</sup>
D8	46	20.5	167.00±8.19 <sup>b</sup>	3242.02±74.93 <sup>b</sup>	160.80±27.24 <sup>b</sup>	0.47±0.03 <sup>b</sup>
D9	46	21.0	195.26±15.87 <sup>a</sup>	3026.21±138.48 <sup>b</sup>	199.72±19.54 <sup>a</sup>	0.57±0.02 <sup>ab</sup>
主效应 Main effects						
粗蛋白 CP(%)						
54			202.88 <sup>A</sup>	4051.48 <sup>B</sup>	161.29	0.56
50			210.51 <sup>A</sup>	4689.53 <sup>A</sup>	168.69	0.54
46			178.90 <sup>B</sup>	3256.07 <sup>C</sup>	160.00	0.53
总能 GE(kJ/g)						
20.0			199.14	3834.84 <sup>B</sup>	119.34 <sup>C</sup>	0.62 <sup>A</sup>
20.5			193.00	3854.94 <sup>B</sup>	154.21 <sup>B</sup>	0.51 <sup>B</sup>
21.0			200.15	4307.31 <sup>A</sup>	216.43 <sup>A</sup>	0.50 <sup>B</sup>
方差分析 ANOVA (P)						
粗蛋白 CP(%)			0	0	0.093	0.183
总能 GE(kJ/g)			0.398	0	0	0
交互作用 Interaction			0.052	0	0	0

活力显著高于其他组( $P<0.05$ ); D3、D6 和 D9 组脂肪酶活力显著高于其他组( $P<0.05$ )。胰蛋白酶活力随饲料蛋白能比的降低呈现先升后降的趋势( $P<0.05$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 饲料蛋白质和能量含量对云纹龙胆石斑鱼幼鱼生长的影响

本研究通过对一定生长阶段云纹龙胆石斑鱼幼鱼生长、体组成及消化酶活力等的研究,获得了其饲料中的适宜蛋白质和能量含量,确定了设定范围内(22.04~26.87 mg/kJ)云纹龙胆石斑鱼幼鱼的适宜蛋白能比。由实验结果可知,增重量受蛋白质和能量交互影响显著,本质上是蛋白能比对其生长产生的影响。蛋白能比作为影响鱼类摄食效率的重要因素之一,适宜程度受鱼体种类、大小及生长阶段的影响(蒋湘辉等, 2010),蛋白能比过高,容易造成蛋白质能源的浪费,鱼体摄入能量不足,影响其新陈代谢,生长减缓;蛋白能比过低,基础代谢水平降低,生长所需物质来源不足,生长减缓。在 Rahimnejad 等(2015)的研究结果中,珍珠龙石斑鱼(*E. lanceolatus*♂×*E. fuscoguttatus*♀)幼鱼适宜蛋白能比为 23.90 mg/kJ。在宋林等(2013)的研究结果中,翘嘴鲌幼鱼适宜蛋白能比为 27.15 mg/kJ。

本研究中,随着饲料粗蛋白含量的升高(46%升至 50%),实验鱼增重量、增重率、特定生长率均有显著提高,饲料系数显著降低( $P<0.05$ ),而继续提高饲料中蛋白质含量(50%升至 54%),鱼体生长和饲料系数则不再有显著变化,这与 Deng 等(2011)、丁立云等(2010)、向泉等(2012)及张静等(2016)的研究结果相似。蛋白质作为机体重要组成成分,其含量水平往往对鱼体生长产生重要影响(Tuan *et al.*, 2007),石斑鱼对蛋白质的需求为 40%~55%(Luo *et al.*, 2004; Shapawi *et al.*, 2014; 林建斌等, 2008; 邱金海, 2009)。饲料中添加适宜蛋白质有利于鱼体消化吸收,而蛋白质含量不足或过高都将影响鱼体对其的正常利用(Shiau *et al.*, 1996; Teng *et al.*, 1978; 蒋湘辉等, 2016)。本研究中,蛋白质效率、蛋白质沉积率随饲料蛋白质含量的升高(46%升至 54%)呈先升后降的趋势,原因可能是当蛋白质含量不足时,鱼体摄入蛋白将首先用于维持体重,使得增重量相对减少;蛋白质含量过多,饲料中非蛋白能量来源不足,部分饲料蛋白质将转化为能量供鱼体利用。由本研究结果可知,当饲料粗蛋白含量为 50%时,云纹龙胆石斑鱼幼鱼的蛋白质利用程度最高,这与先前所报道的斜带石斑鱼(Luo *et al.*, 2004)、点带石斑鱼(Chen *et al.*, 1994)和褐点石斑鱼

(*E. fuscoguttatus*) (Shapawi *et al.*, 2014)研究结果类似,但低于驼背鲈(*Chromileptes altivelis*)(Usman *et al.*, 2005)和拿骚石斑鱼(*E. striatus*) (Ellis *et al.*, 1996)的研究结果,原因可能是由于实验鱼体种类、大小、实验设计及养殖环境不同等造成的。

能量是维持一切生命活动的源泉(崔奕波, 1989)。鱼类从饲料中摄取能量,经体内消化吸收等一系列代谢活动后,大部分能量将首先用于维持正常的生命体征,只有 30%左右的能量用于生长(余连渭, 2003)。由表 2 可知,当饲料能量含量逐渐上升时,其增重量、增重率和特定生长率均稳定提升,而饲料系数逐渐下降,说明本研究所设计能量含量(20.00~21.00 kJ/g)在云纹龙胆石斑鱼幼鱼耐受范围之内。研究表明,适宜能量范围内,鱼类的生长速度和饲料能量存在正相关性(Ali *et al.*, 2005; Shiau *et al.*, 2001)。蛋白质效率、蛋白质沉积率随饲料能量含量的升高有一定升高趋势,这表明适当提高饲料中能量含量,不仅不会影响云纹龙胆石斑鱼幼鱼的生长速度,同时还可以提高其对蛋白质的利用率和保留率,起到了能量对蛋白质的节约效应(彭士明等, 2005)。能量保留率随饲料能量含量升高而升高,说明鱼体内非蛋白物质能量供应充足,这有利于减少鱼体对蛋白质分解供能的需求,同样的结果在陈佳毅等(2008)对梭鲈鱼(*Lucioperca lucioperca*)的研究中亦有发现。当饲料能量逐渐上升时,肝体比略有增加,而脏体比差异不显著,说明本实验所设计能量梯度对脏器相对质量影响较小。实验结果显示,当饲料中能量含量为 21.00 kJ/g 时,云纹龙胆石斑鱼幼鱼生长较好,与 Rahimnejad 等(2015)对珍珠龙胆石斑鱼最适能量需求量的结果(20.90 kJ/g)类似,高于刘永坚等(2002)红姑鱼(*Sciaenops ocellatus*)的结果(14.79 kJ/g),原因可能是由于实验鱼体种类、摄食习惯及养殖环境等不同造成的。

#### 3.2 饲料蛋白质和能量含量对云纹龙胆石斑鱼幼鱼体成分的影响

由研究结果可知,全鱼粗脂肪含量受蛋白质和能量的交互作用影响显著,其含量随饲料蛋白能比的降低而升高,这表明饲料中过量的能量被鱼体转化为脂肪并沉积。蛋白质和脂肪在鱼体内互相转化,鱼体摄入适量脂肪,保证其对能量的需求,避免或减少蛋白质作为供能物质的分解,有利于机体的氮平衡和增加氮的储量。当蛋白质和能量含量升高时,全鱼粗蛋白和粗脂肪含量升高,这在 Jiang 等(2015)对珍珠龙胆石斑鱼的研究结果中亦有发现。

饲料中适宜蛋白质含量利于肌肉成分的改善,当



蛋白质含量为50%时,粗脂肪含量较高,水分含量较低,这对肉质评价将起到一定积极作用。摄食水平的合理性可影响鱼体组成,饲料中脂肪被鱼体吸收后会在肠、肠系膜等处沉积,经消化系统的作用可影响肝脏中的脂肪含量(周兴华等,2007),而肝脏作为鱼体内重要的消化器官,其功能的正常与否往往决定着鱼体的健康程度,因此,保持适宜的摄食水平将有利于鱼体更好生长(黄庆达等,2013)。饲料能量含量对鱼体水分影响较大(Du *et al.*, 2005),提高饲料中能量含量,帮助鱼体减缓对脂肪分解供能的需求,使得肌肉中保持一定的脂肪贮存量,一定程度上可提高鱼体对环境的耐受力(成永旭等,1995)。

### 3.3 饲料蛋白质和能量含量对云石斑鱼消化酶活力的影响

本研究中蛋白质和能量在胰蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活力中均表现出显著的交互作用,且胰蛋白酶活力随饲料蛋能比降低表现出先升后降趋势,说明饲料中适宜的蛋能比可在一定程度上刺激消化酶的分泌,提高鱼体对各营养成分的分解利用率,促进鱼体消化吸收。

蛋白酶复杂的调节机制可限制饲料中高蛋白的分解效率,当饲料中蛋白质含量逐渐上升时,云纹龙胆石斑鱼幼鱼胃蛋白酶和胰蛋白酶活力显著增强,这可能是由于饲料中蛋白质含量增加时,底物水平升高,进而促进了酶的活力(Giri *et al.*, 2003),类似结果见于李贵锋等(2012)对建鲤幼鱼(*Cyprinus carpio* var. Jian)的研究;当蛋白质含量继续升高时,胃蛋白酶活力有所下降但不显著,胰蛋白酶活力显著降低,表明饲料中蛋白质含量一旦超出某种界限,云纹龙胆石斑鱼幼鱼对蛋白质的消化能力不仅不会增强,还有可能减弱。胰蛋白酶活力随饲料能量含量升高而显著升高,当饲料粗蛋白含量为50%,能量含量为21.00 kJ/g,蛋能比为23.61 mg/kJ时,其活力最强,原因可能是饲料的成分能够显著影响鱼体内环境,适宜摄食水平可显著改善鱼体生长状况,胰蛋白酶作为特异性最强的蛋白酶对内环境变化较为敏感(张美红等,2006),可对摄食体系的变化作出有效应答。胰蛋白酶活力较胃蛋白酶活力高数倍,类似结果见于陈壮等(2014)对鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)的研究,原因可能是本实验中胰蛋白酶测定样品取自肠道前中部,胃蛋白酶测定样品取自胃部,而肠道作为鱼体消化主要场所,其功能结构更易于酶的催化作用,因而2种蛋白酶活力差距较大。

饲料蛋白质含量对鱼体脂肪酶影响较小,但当能

量含量逐渐升高时,脂肪酶活力显著增强,原因可能是本研究通过调节鱼油构建能量梯度,其成分中大量的脂肪使得底物面积改变,进而对脂肪酶活力产生一定影响。

本研究中淀粉酶活力较低,说明云纹龙胆石斑鱼幼鱼对碳水化合物的消化和代谢能力较差,这在黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)的研究成果中亦有发现(余连渭,2003)。

## 4 结论

饲料适宜蛋白质和能量含量不仅可以显著改善鱼体生长状况,而且可以起到节约蛋白质、提高生产率的作用,云纹龙胆石斑鱼幼鱼配合饲料中最佳蛋白质含量为50%,能量含量为21.00 kJ/g,蛋能比为23.61 mg/kJ。

## 参 考 文 献

- Ali MZ, Jauncey K. Approaches to optimizing dietary protein to energy ratio for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Aquaculture Nutrition*, 2005, 11(2): 95-101
- Chen HY, Tsai JC. Optimal dietary protein level for the growth of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus*, fed semipurified diets. *Aquaculture*, 1994, 119(2-3): 265-271
- Chen Z, Liang MQ, Zheng KK, *et al.* Impact of dietary protein level on growth performance, body composition and protease activity of juvenile *Lateolabrax japonicus*. *Progress in Fishery Sciences*, 2014, 35(2): 51-59 [陈壮, 梁萌青, 郑珂珂, 等. 饲料蛋白水平对鲈鱼生长、体组成及蛋白酶活力的影响. *渔业科学进展*, 2014, 35(2): 51-59]
- Cheng YX, Wang LH, Chen JM. Effects of different adipose sources in feed on growth and muscle and liver fat content of grass carp. *Fisheries Science & Technology Information*, 1995(4): 171-172 [成永旭, 王联合, 陈居明. 饲料中不同脂肪源对草鱼生长及其肌肉和肝脏脂肪含量的影响. *水产科技情报*, 1995(4): 171-172]
- Cui YB. Bioenergetics of fishes: Theory and methods. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1989, 13(4): 369-383 [崔奕波. 鱼类生物能量学的理论与方法. *水生生物学报*, 1989, 13(4): 369-383]
- Deng DF, Ju ZY, Dominy W, *et al.* Optimal dietary protein levels for juvenile Pacific threadfin (*Polydactylus sexfilis*) fed diets with two levels of lipid. *Aquaculture*, 2011, 316(1): 25-30
- Ding LY, Zhang LM, Wang JY, *et al.* Effects of dietary protein level on growth performance, body composition and plasma biochemistry indices of juvenile starry flounder, *Platichthys stellatus*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17(6): 1285-1292 [丁立云, 张利民, 王际英, 等. 饲料蛋白水平对星斑川鲷幼鱼生长、体组成及血浆生化指标的影响. *中国水产科学*, 2010, 17(6): 1285-1292]
- Du ZY, Liu YJ, Tian LX, *et al.* Effect of dietary lipid level on growth, feed utilization and body composition by juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Aquaculture Nutrition*, 2005, 11(2): 139-146

- Ellis S, Viala G, Watanabe WO. Growth and feed utilization of hatchery-reared juvenile Nassau grouper fed four practical diets. *Progressive Fish-Culturist*, 1996, 58(3): 167–172
- Giri SS, Sahoo SK, Sahu AK, *et al.* Effect of dietary protein level on growth, survival, feed utilization and body composition of hybrid *Clarias* catfish (*Clarias batrachus*×*Clarias gariepinus*). *Animal Feed Science & Technology*, 2003, 104(1–4): 169–178
- Huang QD, Zhang YR, Wang W, *et al.* Chemical composition in juvenile *Ctenopharyngodon idellus* at different body length. *Journal of Southwest University (Natural Science)*, 2013, 35(2): 41–45 [黄庆达, 张玉蓉, 王文, 等. 不同体长草鱼幼鱼鱼体化学组成的研究. *西南大学学报(自然科学版)*, 2013, 35(2): 41–45]
- Jiang ST, Wu XY, Li WF, *et al.* Effects of dietary protein and lipid levels on growth, feed utilization, body and plasma biochemical compositions of hybrid grouper (*Epinephelus lanceolatus* ♂×*Epinephelus fuscoguttatus*♀) juveniles. *Aquaculture*, 2015, 446: 148–155
- Jiang XH, Liu G, Jin GH, *et al.* Effects of dietary protein and lipid levels on growth and body composition of *Ctenopharyngodon idellus*. *Chinese Journal Fisheries*, 2010, 23(1): 24–27 [蒋湘辉, 刘刚, 金广海, 等. 饲料蛋白质和能量水平对草鱼生长和鱼体组成的影响. *水产学杂志*, 2010, 23(1): 24–27]
- Jiang XH, Luo XN, Jin GH, *et al.* Effects of different protein and lipid level diets on growth, body composition and immunity of juvenile *Phoxinus lagowskii*. *Acta Zoonutrimenta Sinica*, 2016, 28(3): 864–871 [蒋湘辉, 骆小年, 金广海, 等. 不同蛋白质和脂肪水平饲料对拉氏幼鱼生长、体成分和免疫力的影响. *动物营养学报*, 2016, 28(3): 864–871]
- Jobling M. *Fish bioenergetics*. Great Britain: Edmondsbury Press, 1994
- Lee SM, Kim KD. Effect of various levels of lipid exchanged with dextrin at different protein level in diet on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture Nutrition*, 2005, 11(6): 435–442
- Li GF, Jiang GZ, Liu WB, *et al.* Effects of dietary protein and energy levels on growth performance, body composition and digestive enzyme activities of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Journal of Shanghai Ocean University*, 2012, 21(2): 225–232 [李贵锋, 蒋广震, 刘文斌, 等. 不同蛋白质和能量水平对建鲤幼鱼生长性能、体组成和消化酶活性的影响. *上海海洋大学学报*, 2012, 21(2): 225–232]
- Lin JB, Li JQ, Zhu QG. Effects of different protein levels and different energy-protein ratios in the diet on growth of juvenile grouper (*Epinephelus coioides*). *Journal of Shanghai Ocean University*, 2008, 17(1): 88–92 [林建斌, 李金秋, 朱庆国. 不同蛋白水平和不同能量蛋白比饲料对点带石斑鱼生长的影响. *上海海洋大学学报*, 2008, 17(1): 88–92]
- Liu YJ, Liu DH, Tian LX, *et al.* Effect of dietary protein and lipid levels on growth and body composition of juvenile *Sciaenops ocellatus*. *Journal of Fisheries of China*, 2002, 26(3): 242–246 [刘永坚, 刘栋辉, 田丽霞, 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. *水产学报*, 2002, 26(3): 242–246]
- Luo Z, Liu YJ, Mai KS, *et al.* Optimal dietary protein requirement of grouper *Epinephelus coioides* juveniles fed isoenergetic diets in floating net cages. *Aquaculture Nutrition*, 2004, 10(4): 247–252
- Peng SM, Chen LQ, Ye JY, *et al.* Effects of dietary protein to energy ratios on growth and body composition of juvenile black seabream, *Sparus macrocephalus*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2005, 12(4): 465–470 [彭士明, 陈立侨, 叶金云, 等. 饵料蛋白能量比对黑鲷幼鱼生长和体成分的影响. *中国水产科学*, 2005, 12(4): 465–470]
- Qiu JH. Effects of the dietary protein level and energy-protein ratio on the growth of the juvenile *Centropristis striata*. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2009, 44(4): 50–57 [邱金海. 饲料蛋白水平和能蛋白对美洲黑石斑幼鱼生长的影响. *甘肃农业大学学报*, 2009, 44(4): 50–57]
- Rahimnejad S, Bang IC, Park JY, *et al.* Effects of dietary protein and lipid levels on growth performance, feed utilization and body composition of juvenile hybrid grouper, *Epinephelus fuscoguttatus*×*E. lanceolatus*. *Aquaculture*, 2015, 446: 283–289
- Shapawi R, Ebi I, Yong A, *et al.* Optimizing the growth performance of brown-marbled grouper, *Epinephelus fuscoguttatus* (Forsk.) by varying the proportion of dietary protein and lipid levels. *Animal Feed Science & Technology*, 2014, 191(5): 98–105
- Shiau SY, Lan CW. Optimum dietary protein level and protein to energy ratio for growth of grouper (*Epinephelus malabaricus*). *Aquaculture*, 1996, 145(1–4): 259–266
- Shiau SY, Lin YH. Carbohydrate utilization and its protein-sparing effect in diets for grouper (*Epinephelus malabaricus*). *Animal Science (Penicuik, Scotland)*, 2001, 73(2): 299–304
- Song L, Fan QX, Hu PP, *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*, 2013, 25(7): 1480–1487 [宋林, 樊启学, 胡培培, 等. 饲料蛋白能比对翘嘴鲌幼鱼生长性能、肠道和肝胰脏消化酶活性的影响. *动物营养学报*, 2013, 25(7): 1480–1487]
- Teng SK, Chua TE, Lim PE. Preliminary observation on the dietary protein requirement of estuary grouper, *Epinephelus salmoides*, Maxwell, cultured in floating net-cages. *Aquaculture*, 1978, 15(3): 257–271
- Tuan LA, Williams KC. Optimum dietary protein and lipid specifications for juvenile malabar grouper (*Epinephelus malabaricus*). *Aquaculture*, 2007, 267(1–4): 129–138
- Usman, Rachmansyah, Laining A, *et al.* Optimum dietary protein and lipid specifications for grow-out of humpback grouper *Cromileptes altivelis* (Valenciennes). *Aquaculture Research*, 2005, 36(13): 1285–1292
- Wang JY, Zhang DR, Ma JJ, *et al.* Nutritional components analysis and nutritive value evaluation of *Epinephelus fuscoguttatus*×*E. lanceolatus* muscles. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2015(4): 61–69 [王际英, 张德瑞, 马晶晶, 等. 珍珠龙胆石斑鱼肌肉营养成分分析与品质评价. *海洋湖沼通报*, 2015(4): 61–69]
- Xiang X, Zhou XH, Chen J, *et al.* Effects of dietary protein and animal protein levels on growth, body composition and digestive enzyme activities of juvenile prenan's schizothoracin (*Schizothorax prenanti*). *Journal of The Chinese Cereals and Oils Association*, 2012, 27(5): 74–80 [向泉, 周兴华, 陈建, 等. 饲料蛋白水平及鱼粉蛋白含量对齐口裂腹鱼生长、体组成及消化酶活性的影响. *中国粮油学报*, 2012, 27(5):

- 74–80]
- Yang JM, Wang AL, Huo X, *et al.* Advances in research on utilization of fat-saving proteins in fish. *Journal of Aquatic Ecology*, 2006, 26(1): 74–76 [杨建梅, 王安利, 霍湘, 等. 鱼类利用脂肪节约蛋白的研究进展. *水生态学杂志*, 2006, 26(1): 74–76]
- Zhang J, Gao TT, Li Y, *et al.* Effects of the protein level on the growth, ammonia-nitrogen excretion, and amino acid accumulation in the muscle of industrially-cultured juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Progress in Fishery Sciences*, 2016, 37(6): 34–41 [张静, 高婷婷, 李勇, 等. 蛋白营养对工业养殖大菱鲆(*Scophthalmus maximus* L.)幼鱼生长、氨氮排泄及肌肉氨基酸的效应. *渔业科学进展*, 2016, 37(6): 34–41]
- Zhang MH, Hu CJ, Li YW. Research progress of fish trypsin in China and abroad. *Feed Industry*, 2006(2): 29–30 [张美红, 胡重江, 李英文. 国内外关于鱼类胰蛋白酶的研究进展. *饲料工业*, 2006(2): 29–30]
- Zhou XH, Zheng SG, Wu Q, *et al.* The optimum nutrient requirements and energy-protein ratio in formulated feed in juvenile *Schizothorax prenanti*. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2007, 22(1): 37–41 [周兴华, 郑曙明, 吴青, 等. 齐口裂腹鱼幼鱼饲料中营养素适宜含量和最适能量蛋白比的研究. *大连海洋大学学报*, 2007, 22(1): 37–41]

(编辑 冯小花)

## Effects of Dietary Protein and Energy Levels on Growth, Body Composition and Digestive Enzymes Activities of Juvenile Hybrid Grouper, *Epinephelus lanceolatus* ♂ × *E. moara* ♀

GONG Xupeng<sup>1,2</sup>, LI Baoshan<sup>2</sup>, ZHANG Limin<sup>2</sup>, ZHANG Yan<sup>1,2</sup>, WANG Jiying<sup>2①</sup>

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 2. Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Shandong Key Laboratory of Marine Ecological Restoration, Yantai 264006)

**Abstract** In order to investigate the optimal dietary protein and energy levels of a new juvenile hybrid grouper (*Epinephelus lanceolatus* ♂ × *E. moara* ♀), nine diets were formulated containing three dietary protein levels (46%, 50% and 54% crude protein) and three dietary energy levels (20.00 kJ/g, 20.50 kJ/g and 21.00 kJ/g gross energy), the dietary protein-energy ratio was in the range of 22.04 to 26.87 mg/kJ. Juvenile grouper averaging (46.23±0.51) g were fed the test diets for 56 days. The results indicated that the interaction between protein and energy had a significant effect on the weight gain (WG) of grouper ( $P<0.05$ ), the weight gain rate (WGR) and specific growth rate (SGR) increased with increasing of dietary protein and energy levels ( $P<0.05$ ). Protein deposition rate (PDR) and hepatosomatic index (HSI) were significantly affected by the interaction between protein and energy ( $P<0.05$ ). The energy retention rate (ERR) and condition factor (CF) increased with increasing of dietary protein levels ( $P<0.05$ ), while the protein efficiency ratio (PER) increased first and decreased afterwards ( $P<0.05$ ). The PER and ERR increased with increasing of dietary energy levels ( $P<0.05$ ). PDR and PER of D6 group were significantly higher than other groups ( $P<0.05$ ). The interaction of protein and energy had no significant effects on moisture, crude protein and crude ash of whole fish and muscle ( $P>0.05$ ). The crude protein of whole fish and muscle increased with increasing of dietary protein levels ( $P>0.05$ ). Moisture decreased with increasing of dietary energy levels ( $P<0.05$ ). Crude fat of whole fish increased with decreasing of dietary protein-energy ratio ( $P<0.05$ ). The interaction of protein and energy had significant effect on the activities of trypsin, lipase and amylase ( $P<0.05$ ). The pepsin activity increased with increasing of dietary protein levels ( $P<0.05$ ), and dietary energy levels had no significant effect on it ( $P>0.05$ ). The trypsin activity of D6 group was significantly higher than other groups ( $P<0.05$ ), which increased first and then decreased with decreasing of dietary protein-energy ratio ( $P<0.05$ ). The lipase activity of fish fed diets containing 21.00 kJ/g energy was significantly higher than other groups ( $P<0.05$ ). According to these results, a diet containing 50% protein and 21.00 kJ/g energy was recommended for efficient growth of juvenile hybrid grouper.

**Key words** *Epinephelus lanceolatus* ♂ × *E. moara* ♀; Protein; Energy; Protein-energy ratio; Body composition; Digestive enzyme

① Corresponding author: WANG Jiying, E-mail: ytwjy@126.com